

# **COMMENTAIRES SUR LES EPREUVES DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE**

## ***EPREUVES ECRITES***

**INTRODUCTION**

**PAGE 2**

**EPREUVE ECRITE DE BIOLOGIE A**

**PAGE 5**

**EPREUVE ECRITE DE BIOLOGIE B**

**PAGE 11**

## **INTRODUCTION**

### ***L'évaluation des épreuves du concours en Sciences de la Vie et de la Terre : vers une prise en compte plus explicite des compétences***

Comme en 2011 et dans la logique d'une évolution générale dans laquelle s'inscrivent les grandes écoles et les différents concours, la prise en compte des « compétences » dans la notation des épreuves se fait de façon plus explicite.

Les définitions des différentes épreuves telles qu'elles sont rédigées dans la notice du concours sont d'ailleurs tout à fait claires sur ce point. L'analyse des modalités de ces épreuves, des pratiques des jurys et des rapports des concours montre que ces objectifs étaient totalement respectés lors des précédentes sessions. Par contre, hormis la grille d'évaluation des TIPE construite depuis plus de cinq ans selon cette logique, l'évaluation de compétences n'apparaissait pas toujours de façon explicite dans les barèmes. Cette année, une réflexion menée de façon simultanée pour toutes les épreuves par chacun des jurys, a conduit à revoir les items pris en compte en valorisant la spécificité de chaque épreuve. Bien sûr, on peut constater des recouvrements partiels, mais il est clair que ces épreuves sont complémentaires, chacune apportant sa pierre à l'évaluation globale des candidats par une combinaison originale de compétences à observer.

### **Evaluer les connaissances**

**Les connaissances** sont bien entendu prises en compte dans chaque épreuve ; mais elles sont utilisées d'une façon différente selon que l'épreuve repose surtout sur une restitution (épreuve écrite A de synthèse, épreuve orale de biologie), sur leur mobilisation associée à l'étude de documents (épreuve écrite B, épreuve orale de géologie), ou même sur leur appropriation sans référence à un programme dans le cadre des TIPE. Il s'agit bien là de logiques complémentaires.

### **Evaluer des savoir-faire**

**Des « savoir-faire » spécifiques** sont aussi systématiquement testés, dans des champs très diversifiés qu'il s'agisse d'épreuves écrites ou orales, à dominante conceptuelle ou concrète.

**L'organisation de la pensée**, sa concrétisation par la structuration à différents niveaux d'un exposé écrit ou oral (l'aptitude à construire un plan avec introduction, conclusion, enchaînements, l'aptitude à construire une « unité paragraphique » bien titrée, argumentée, ciblée sur une idée ou un concept) sont au centre de l'évaluation des épreuves de synthèse.

**La maîtrise de la démarche ou du raisonnement scientifique** se manifeste sous des formes différentes selon les épreuves :

- **dans les épreuves plutôt fondées sur la restitution**, on ne peut évidemment pas attendre du candidat qu'il ait mémorisé suffisamment de détails sur telle ou telle expérience (protocole, condition, présentation précise de résultats !) pour effectuer un raisonnement du même ordre que celui mis en œuvre, par exemple, à partir de documents ou du travail personnel réalisé en TIPE ; par contre, savoir présenter de façon concise la relation entre une idée et le fait ou l'expérience qui permet de la construire reste une condition indispensable pour garder l'exposé hors du champ idéologique et maintenir ainsi, en permanence, une référence de principe au réel. C'est la pratique attendue d'un ingénieur auquel on demande un exposé de synthèse,

condensé, centré sur les idées, mais concrètement argumenté et convaincant par son ancrage dans la réalité ;

- **pour les épreuves amenant à recourir à des documents**, on teste l'aptitude d'un candidat à les analyser, les critiquer, les rapporter à ses propres connaissances pour construire ou proposer une interprétation raisonnable, « parcimonieuse » et honnête ; il n'est pas possible d'attendre un processus totalement rigoureux, car on sait bien que les articles de livres ou de revues scientifiques laissent toujours une part d'ombre sur les protocoles, les conditions d'obtention des résultats, les barres d'erreur... La situation est proche de celle d'un ingénieur qui, lisant une série d'articles pour actualiser ses connaissances, y réfléchit, fait évoluer ses représentations tout en « bouchant parfois les trous » et en s'interrogeant avec un peu de frustration sur ce qu'il « aurait aimé trouver » comme information mais que l'on ne lui fournit pas ;
- **pour les TIPE**, on est cette fois véritablement dans une démarche scientifique produite par les candidats eux-mêmes, avec une connaissance critique au premier degré des raisonnements suivis, des expériences, montages, observations réalisés ; les étudiants se sont trouvés confrontés, au cours de l'année de préparation, à des situations analogues à celles que rencontre un ingénieur impliqué dans une recherche.

**Ces trois approches, qui toutes relèvent de l'attitude scientifique mais sous des angles différents**, ont été mesurées en respectant les possibilités et les limites offertes par chacune des épreuves.

**Des gestes techniques**, sont également observés. D'ordre « intellectuel », ils correspondent à l'écrit ou lors d'épreuves orales, à l'analyse de courbes, de graphiques, d'images, ou d'ordre plus pratique, ils s'appliquent à la réalisation de montages, à la dissection, à l'utilisation d'instruments d'observations etc.

Pour les épreuves de travaux pratiques en particulier, la grille a été revue de façon à ce qu'elle permette de noter de façon unique et équitable tous les gestes techniques de même type. Ainsi, pour une dissection, la qualité de la séparation des organes, la façon dont les relations anatomiques sont montrées, sont appliquées de façon équitable, quel que soit l'objet disséqué. On note aussi la manière dont l'organisation des annotations est représentative du plan d'organisation ou/et d'une logique fonctionnelle, en s'affranchissant de la référence à toute liste type exhaustive d'attentes. C'est la capacité du candidat qu'on note et non pas « la dissection de l'appareil digestif de la souris » matérialisée par un catalogue de références obligatoires. Il est plus facile et certainement plus juste de noter ainsi des sujets dont on sait qu'ils peuvent être plus ou moins riches ou difficiles et diffèrent selon les candidats puisque telle est la règle de toute épreuve orale. L'équité ne peut qu'en être mieux assurée. Cela devrait libérer les candidats, censés prendre pour référence ces objectifs simples, clairement annoncés, plutôt que de s'interroger sur les « attentes du jury » en s'inquiétant de tel ou tel détail.

Le même état d'esprit prévaut également pour l'épreuve de géologie en ce qui concerne la « production » demandée dans un des deux exercices (schéma structural, schéma pétrographique, etc.) ; le respect attendu d'un certain nombre de codes conventionnels est limité à quelques points (une échelle, un titre...), mais l'essentiel de la notation implique l'initiative du candidat et les critères autorisent des modalités de réalisations différentes.

### **Evaluer l'aptitude à communiquer**

Dans toutes ces épreuves, le candidat est amené à **communiquer**.

**La communication verbale** est bien sûr toujours évaluée, mais dans des contextes finalement très différents. A l'écrit, la façon d'argumenter n'est pas la même selon que l'on travaille sur

une synthèse ou que l'on analyse des documents. La qualité de l'expression orale est également évaluée dans le contexte d'exposé synthétique improvisé sur la base du canevas écrit au tableau (oral de biologie), d'argumentation sur documents (oral de géologie) ou sur le travail personnel que constitue le TIPE.

**La communication sous forme graphique** constitue également un savoir-faire fondamental auquel on recourt en sciences de la vie comme en sciences de la Terre. L'aptitude à construire un schéma s'évalue aussi dans des conditions différentes : schéma « fermé » lié à un paragraphe pour l'écrit, schéma destiné à une utilisation « ouverte » à l'oral et pouvant être utilisé à plusieurs moments d'un exposé, schéma construit à partir de données mémorisées et adaptées dans le cadre des exposés (écrit A, oral), ou permettant de construire une représentation partielle ou synthétique à partir de documents, objets... dans le cadre des épreuves de travaux pratiques, de géologie ou de TIPE.

**L'attitude** du candidat, son allant, son ouverture d'esprit, son aptitude au dialogue (savoir écouter, répondre explicitement aux questions posées ...) peuvent également être prises en compte, en particulier à l'oral (oral de biologie, de géologie et TIPE).

Pour chaque épreuve, les éléments clés de l'évaluation seront précisés dans le rapport et chacun constatera qu'il ne s'agit pas d'une « révolution », mais bien de la formalisation un peu plus aboutie des pratiques usuelles de l'évaluation. La grille de TIPE, construite sur cette logique bien avant que le texte définissant annuellement l'épreuve ne l'ait actée, n'a pas été modifiée.

L'évaluation des compétences doit aussi permettre de mieux prendre en compte la diversité des candidats lorsqu'il s'agit de classer une population hétérogène d'environ trois mille individus. Par exemple à l'écrit, donner le maximum des points attribués à la structuration des paragraphes, l'aptitude à analyser une courbe, à mettre en relation des informations (épreuve B), à réaliser un schéma adapté au sujet et au propos qu'il permet d'appuyer... **dès lors que cette capacité a été démontrée un certain nombre de fois mais sans exiger un « sans faute »** sur la durée de l'épreuve, permet de **valoriser des candidats un peu moins rapides mais dont le savoir-faire donnera de bons résultats dès lors qu'on leur laissera un peu plus de temps** que dans une épreuve de concours. Ceci ne correspond-il pas finalement à ce que les écoles attendent de la formation en classe préparatoire et que le concours permet de repérer et de noter ? Il est bien évident que cela ne peut en aucun cas conduire à inciter les candidats à ne soigner qu'une fraction de leur prestation... la différence se fera toujours pour les meilleurs qui sauront aller au bout. Mais au moins peut-on espérer ainsi donner un avantage à ceux qui savent montrer leur maîtrise de telle ou telle compétence par rapport à ceux qui ne l'ont pas acquise.

Cette évolution vise donc simplement à rendre les repères plus clairs et plus simples. Donner plus de place aux capacités des candidats, exprimées comme telles, c'est aussi chercher à libérer plus résolument la préparation des épreuves de toute exigence formelle pour permettre de ne l'orienter que par ses objectifs et non pour s'adapter à des modalités ou des « rituels ».

**On réaffirme ainsi que, bien au-delà de la préparation de candidats à des épreuves des concours, le cœur du travail d'une CPGE réside dans la formation de ses étudiants.**

**Gérard BONHOURS**

Inspecteur général de l'éducation nationale

Expert pour les SVT auprès des concours agro-véto A et B

## Épreuve Écrite de Biologie A

Concours	Nb cand.	Moyenne	Ecart type	Note la plus basse	Note la plus haute
A BIO	2905	10,93	4,09	0,5	20,0
A ENV	1837	11	4,03	0,5	20,0
A PC BIO	1184	10,91	4,2	0,5	20,0

L'épreuve de type A est une **épreuve de synthèse**. A ce titre, les candidats sont évalués sur leur capacité à mobiliser leurs connaissances, à les choisir et à les organiser pour répondre aux problématiques imposées par le sujet. Chaque candidat doit également démontrer son aptitude à structurer son raisonnement, à utiliser un langage scientifique et à communiquer clairement ses idées par écrit.

### A. Ce que l'on pouvait attendre

Il ne s'agit pas ici de présenter un plan type mais bien de dégager et de mettre en relation les idées essentielles relatives au sujet posé. Afin de traiter le sujet « multiplication et diversification des êtres vivants pluricellulaires au cours des phénomènes de reproduction », le candidat devait faire appel aux connaissances de première et de deuxième année de BCPST. Alors que la mortalité entraîne la disparition des êtres vivants, la reproduction en assure le renouvellement et, dans certaines circonstances, leur multiplication. On distingue deux types de reproduction : une **reproduction sexuée** caractérisée par l'intervention de deux sexes avec des gamètes « complémentaires » dont la fusion donne un zygote, une **reproduction asexuée**, limitée dans le programme à la multiplication végétative des Angiospermes. Fondamentalement, la reproduction est celle de l'espèce, donc de « l'identique ». Or, on constate une diversité des êtres vivants, diversité pouvant porter sur différents critères, du morphologique au moléculaire. La reproduction produit donc de la diversité.

Au cœur du sujet se situent ces deux questions :

- en quoi les phénomènes de reproduction peuvent-ils permettre une multiplication ?
- en quoi les phénomènes de reproduction peuvent-ils être source d'une diversification des êtres vivants ?

La mise en perspective attendue dans un sujet de synthèse impliquait que l'on dépasse la simple description des seuls mécanismes permettant d'expliquer la multiplication et la diversification des êtres vivants. Ainsi, une réflexion sur la participation relative de la reproduction sexuée et de la reproduction asexuée à la multiplication et à la diversification (points communs, différences, complémentarité...) était attendue. Ces points, plus synthétiques, ont été pris en compte dans la notation, quel que soit le moment où le candidat décidait de les traiter dans son développement.

L'analyse du sujet proposée dans ce rapport est organisée selon ces trois aspects (multiplication, diversification, liens synthétiques et idées transversales) sans bien sûr constituer une indication de plan.

Enfin, la limite du sujet (« êtres vivants pluricellulaires ») impliquait que les exemples soient choisis dans des domaines différents végétaux (Angiospermes, Filicophytes...) et animaux (Métazoaires). Cela pouvait amener à formuler des réflexions plus synthétiques.

Cette année encore, nous tenons à rappeler que l'épreuve porte exclusivement sur les programmes officiels de BCPST (publiés au journal officiel) : toute notion hors-programme,

même totalement en adéquation avec le sujet et présentée de manière excellente, ne saurait en aucun cas être valorisée.

## **1. Multiplication des êtres vivants pluricellulaires au cours des phénomènes de reproduction**

En ce qui concerne la reproduction asexuée, les candidats devaient présenter les modalités de multiplication végétative chez le végétal de façon à montrer en quoi elles permettent une multiplication. Cela n'impliquait évidemment pas d'utiliser un grand nombre d'exemples. En choisir deux pouvait largement suffire, à condition qu'ils soient correctement exploités. Aborder les mécanismes tissulaires et cellulaires (capacité de dédifférenciation des méristèmes, mitoses) à l'origine des phénomènes macroscopiques était également nécessaire afin d'expliquer en quoi ils sont des conditions à la constitution d'êtres vivants « complets » en grand nombre.

Pour la reproduction sexuée, un minimum d'analyse des cycles de développement était nécessaire à l'identification des phénomènes permettant la multiplication des individus. Fondamentalement, il s'agit d'expliquer ce qui permet d'obtenir un nombre de zygotes potentiellement supérieur à celui du nombre d'individus initial. Cela nécessitait de manipuler, dans le cadre du programme, différents phénomènes :

- méiose, gaméto-genèse, fécondation... et leur faible potentiel multiplicateur ;
- la place des mitoses, véritable facteur de multiplication des spores ou des gamètes femelles (Polypode vs. Angiospermes et animaux).

Les modalités de la gaméto-genèse ou de la formation des spores n'étaient certainement pas à développer pour elles-mêmes mais bien pour discuter de leur participation à la multiplication des individus. De façon synthétique, cela pouvait ouvrir sur des mises en perspectives diverses (relation entre multiplication et nombre de gamètes, de gonades ou de structures reproductrices impliqués, efficacité double des végétaux hermaphrodites par exemple, comparaison entre cycles, lien avec les saisons). Il va de soi que rien n'était attendu sur le devenir des zygotes dans l'après-fécondation, devenir non abordé dans les actuels programmes.

*Le jury note que certains candidats ont choisi de ne pas traiter de la multiplication permise par la reproduction asexuée car, selon eux, elle ne permet aucune diversification des êtres vivants ; cette façon restrictive d'interpréter le « et » du sujet est évidemment regrettable. Il est heureux qu'il ne se soit agi que de cas très rares. Alors que nombre de candidats a su présenter correctement les modalités macroscopiques de multiplication végétative en s'appuyant souvent sur deux exemples, très peu ont pensé à intégrer leurs bases cellulaires. De nombreux candidats ont perdu beaucoup de temps et d'efficacité en présentant dans le détail les phases de la mitose, parfois avec des erreurs ; surtout, ils n'ont pas su CHOISIR les faits en relation avec le sujet, ni expliciter le lien entre mitose et multiplication des êtres vivants (multiplication des gamètes ou des spores). La discussion sur l'origine de la multiplication des individus lors de la reproduction sexuée (associée à la méiose, à la fécondation et aux mitoses au sein d'une variété de formes et de nombre des structures reproductrices) a été très peu ou très mal exploitée par les candidats.*

## **2. Diversification des êtres vivants pluricellulaires au cours des phénomènes de reproduction**

Lors de la reproduction asexuée, la tendance générale est à la « non-diversification », à la formation d'un clone grâce à la conformité de la répllication qui prépare la mitose ainsi qu'aux modalités de répartition du matériel génétique. Cette problématique impliquait un minimum

d'analyse à l'échelle moléculaire et cellulaire, sur des points choisis. Cette stabilité permet d'assurer le maintien des produits de la diversification (et de contribuer, par exemple, à la stabilité des hétérozygotes). Une diversification se produit malgré cette conformité, à cause des erreurs de réplication, des changements spontanés de nucléotides au cours du cycle cellulaire qui conduisent éventuellement à des mutations en absence de réparation, ainsi qu'aux recombinaisons mitotiques même si elles demeurent des phénomènes chromosomiques relativement rares.

La reproduction sexuée produit une diversification importante, pour autant que les parents soient eux-mêmes divers. Les candidats devaient présenter en quoi les brassages intrachromosomiques et interchromosomiques permettent d'aboutir à la formation d'assemblages génétiquement diversifiés, portés soit par des gamètes, soit par des spores. Là aussi, on attendait des choix pertinents dans les phénomènes exposés et surtout, qu'ils soient bien exploités : savoir démontrer en quoi la méiose est source de diversité fait partie des exigibles fondamentaux... et ceci dès la classe de Terminale. La fécondation est également une étape de diversification en permettant la production de zygotes diploïdes par une réassociation aléatoire des gamètes. A ces aléas peuvent s'ajouter des dispositifs forçant la diversification, favorisant la fécondation croisée ou limitant l'autofécondation (système sporophytique et gamétophytique d'auto-incompatibilité chez les Angiospermes). On n'attendait ici ni étude exhaustive, ni érudition, mais simplement une mise en relation rigoureuse, sur un exemple, de la relation entre un mécanisme d'incompatibilité et ses conséquences en terme de diversification. Une réflexion un peu plus poussée était également attendue, par exemple sur la relation entre nombre de chromosomes de l'espèce et multiplicité des assemblages possibles, diversité initiale des allèles ou des parents, nombre d'assemblages réalisés au cours du cycle (ce qui amenait à rejoindre la question de la multiplication...).

*Sur cette problématique, de trop nombreux candidats se sont limités à la présentation théorique des mécanismes chromosomiques des brassages de la méiose ou d'un tableau de croisement. Très peu d'entre eux ont réellement pris le recul nécessaire pour expliquer en quoi ces mécanismes permettent une diversification (de gamètes ou de spores) entre deux générations d'une même espèce. Les candidats doivent s'astreindre à comprendre le sujet, à faire des choix, à rédiger des explications ou des argumentations explicitement liées aux problématiques du sujet.*

### **3. Liens synthétiques et idées transversales en lien avec la complémentarité multiplication/ diversification et reproductions asexuée/sexuée des êtres vivants pluricellulaires.**

Il était attendu, entre autres, que les candidats s'interrogent sur la complémentarité entre multiplication et diversification. Ainsi, alors que la multiplication permet la colonisation et l'extension de l'espèce dans son environnement tout en conservant la diversité précédemment acquise, la diversification permet une plus grande adaptabilité vis-à-vis du milieu. Multiplication et diversification contribuent donc de manière complémentaire à la pérennité de l'espèce.

On pouvait aussi attendre une réflexion sur la complémentarité entre reproduction sexuée et reproduction asexuée. Très schématiquement, la reproduction sexuée produit la diversité et la reproduction asexuée la maintient et la répand : il y a ainsi une complémentarité dans la multiplication, voire même une addition des multiplications. Toutes les espèces d'êtres vivants pluricellulaires n'associent pas les bénéfices de la complémentarité des deux reproductions : certaines espèces pratiquent uniquement de la reproduction asexuée, d'autres

uniquement de la reproduction sexuée. L'association des deux reproductions et leur place relative dans les cycles de développement permet toujours plus de multiplication, mais une diversification variable. On espérait aussi que les candidats placent sur au moins un cycle les moments de la multiplication et ceux de la diversification, qu'ils abordent même sans les détailler, les relations aux conditions extérieures (multiplication végétative favorisée dans des conditions favorables, diversité et adaptabilité, lien aux saisons...). Le jury a valorisé toute réflexion pertinente, argumentée et pris en compte d'une façon plutôt globalisée « l'aptitude à prendre du recul et à mettre en perspective ».

*Par-delà l'exposé des faits, ce sujet se prêtait particulièrement à l'expression d'une véritable réflexion de biologiste, non exclusive de la mémorisation des faits, mais caractéristique d'une culture utile à tout futur ingénieur. Trop peu nombreuses sont les copies où le jury a pu apprécier cette aptitude à utiliser et réinvestir des connaissances dans un cadre différent de la présentation habituelle des faits.*

## **B Organisation du sujet et compétences attendues**

### **✓ Problématisation et introduction**

La lecture très attentive du sujet est importante et doit permettre une réflexion autour des termes qu'il contient. Il ne s'agit pas de chercher ce que l'on va réciter mais de bien comprendre les attendus avant de se lancer dans la rédaction. Ce moment de réflexion est important et peut permettre d'éviter de nombreux hors sujets ainsi que des interprétations erronées. L'introduction doit permettre d'amener une problématisation en s'appuyant sur les définitions des mots clés du sujet. Il est essentiel, en introduction, de bien définir les différents termes du sujet afin d'en fixer les limites et de traiter ce qui est attendu. Cependant les définitions ne doivent pas être juxtaposées sans être utilisées, comme c'est le cas dans de nombreuses copies, mais participer à dégager les problématiques.

La définition de la diversification des êtres vivants était souvent bien abordée mais on peut noter que la multiplication des êtres vivants a souvent été confondue avec la reproduction (parfois uniquement sexuée) ou avec les divisions cellulaires. Certains candidats ont limité le sujet à la reproduction sexuée excluant alors de leur développement des notions importantes et attendues en relation avec la reproduction asexuée. Sauf exception, la limite imposée des êtres vivants pluricellulaires a été bien comprise.

La problématique proposée doit être construite avec rigueur et ne doit pas se limiter au sujet sous une forme interrogative, ce qui est trop souvent le cas. La démarche proposée par le candidat doit lui permettre de répondre à la problématique qu'il a formulée.

### **✓ Choix du plan et structuration de l'exposé**

Toutes les copies, sauf exception, comportent un plan apparent et généralement bien présenté. Le plan choisi doit être personnel et doit permettre de répondre à la problématique formulée dans l'introduction. Les titres, qui constituent le fil conducteur de l'exposé, doivent permettre de cerner que le candidat essaie de répondre à une problématique précise et ne se contente pas de réciter son cours. On peut regretter de nombreux titres sans relation avec la problématique tels que « la gamétogenèse », « la mitose », « la fécondation »... par exemple, ainsi que des titres passe-partout tels que « localisation », « conséquences » dont la formulation est beaucoup trop vague et ne cible pas ce sujet. On trouve parfois des titres, beaucoup trop longs, de plusieurs lignes et qui constituent de véritables résumés de la partie à venir.

Ce sujet imposait aux candidats un plan qui ne pouvait pas correspondre à un simple transfert de cours. Or, de nombreux candidats récitent des parties de leur cours ce qui ne leur permet pas de cibler le développement sur le sujet proposé. Certains candidats ont, par exemple, fait



le choix d'un plan en trois parties : la mitose, la méiose et la fécondation en les étudiant pour elles-mêmes et non dans l'optique du sujet. Beaucoup de candidats connaissent leur cours mais ont du mal à l'utiliser en adéquation avec le sujet proposé, pour construire une argumentation.

On peut noter que de nombreux plans comportent des hors sujets tels que la gamétogenèse, la fécondation humaine en détail, la réplication, l'épissage alternatif, les hormones LH et FSH et parfois même la cellule musculaire (car elle permet le rapprochement des partenaires)....

#### ✓ **Construction des paragraphes**

Chaque unité paragraphique doit faire l'objet d'un bilan et d'une transition. Dans la plupart des copies, les bilans partiels sont absents, de même que les transitions. L'aptitude à construire un bilan partiel permet de montrer le recul par rapport au sujet.

#### ✓ **Développement**

De nombreux candidats ont de bonnes connaissances mais ne doivent pas se contenter de les réciter sans les mettre en perspective. Un bloc de connaissance, tel que la division cellulaire par exemple, ne doit pas être récité sans discernement, ce qui est souvent le cas. Il est nécessaire de s'interroger sur le sens biologique des phénomènes exposés. D'autre part, il faut souvent faire des choix en relation avec ce que l'on étudie.

Certains candidats ont fait un plan réfléchi où apparaissent clairement dans les titres les notions de multiplication et de diversification, il est dommage que ces notions n'apparaissent plus dans le développement lui-même.

De trop nombreuses copies comportent du hors-programme (parthénogenèse chez les animaux, Hardy Weinberg, cliquet de Müller...). Ces notions ne sont jamais valorisées et font parfois perdre au candidat un temps précieux.

#### ✓ **Maîtrise de la communication graphique**

L'exposé doit s'appuyer sur des illustrations rigoureuses et cohérentes avec l'argumentation utilisant des conventions claires. Les candidats ont réalisé de nombreux schémas à propos des divisions cellulaires ou de la multiplication végétative. Ces schémas sont généralement soignés mais restent trop souvent illustratifs sans mise en relation avec la problématique.

On peut également regretter de nombreuses imprécisions qui nuisent à leur compréhension. Ainsi :

- Dans les schémas de méiose, les gènes ne sont pas toujours figurés sur les chromosomes afin d'expliquer les brassages, interchromosomique et intrachromosomique. Parfois, une seule paire de chromosomes est représentée afin d'expliquer le brassage interchromosomique.
- De nombreux schémas de *Sordaria* ont été réalisés mais ils sont très rarement correctement exploités. La disposition des spores seules ne permet pas de conclure à propos des brassages.
- D'autre part, la mitose est souvent schématisée dans son intégralité alors que la notion de reproduction conforme n'est pas envisagée. Certains schémas associés à la multiplication végétative présentaient une mitose dans une cellule haploïde.
- Les légendes et les titres sont souvent très imprécis.
- De nombreuses copies ne présentent pas de schéma correct pour expliquer les crossing-over mais on y trouve, en détail les jonctions de Holliday. Alors que le premier point est essentiel et constitue une connaissance de premier ordre, le second point est hors programme. Il est important que les connaissances soient triées et hiérarchisées afin de cibler ce qui est important dans le cadre de la problématique traitée. Il faut que les candidats perdent définitivement l'illusion que l'érudition et la mémorisation de faits (de détails...) puissent être la base de leur succès. C'est l'intelligence des faits et des modèles, leur compréhension, leur mise en perspective et l'aptitude à les confronter ou à les utiliser qui compte.

La diversification lors de la reproduction sexuée a généralement été envisagée. Cependant, les schémas de méiose présentent de très nombreuses erreurs et imprécisions. Dans de nombreuses copies, tous les stades sont représentés sans être correctement exploités dans l'optique de ce sujet. Des confusions subsistent encore pour certains, entre brassage interchromosomique et brassage intrachromosomique. La démonstration de la diversification favorisée par les phénomènes d'incompatibilité chez les Angiospermes a souvent été abordée mais, comme pour la multiplication végétative, les candidats ont du mal à ne pas relater tous les exemples qu'ils connaissent et à dégager des idées essentielles.

✓ **Rédaction et orthographe**

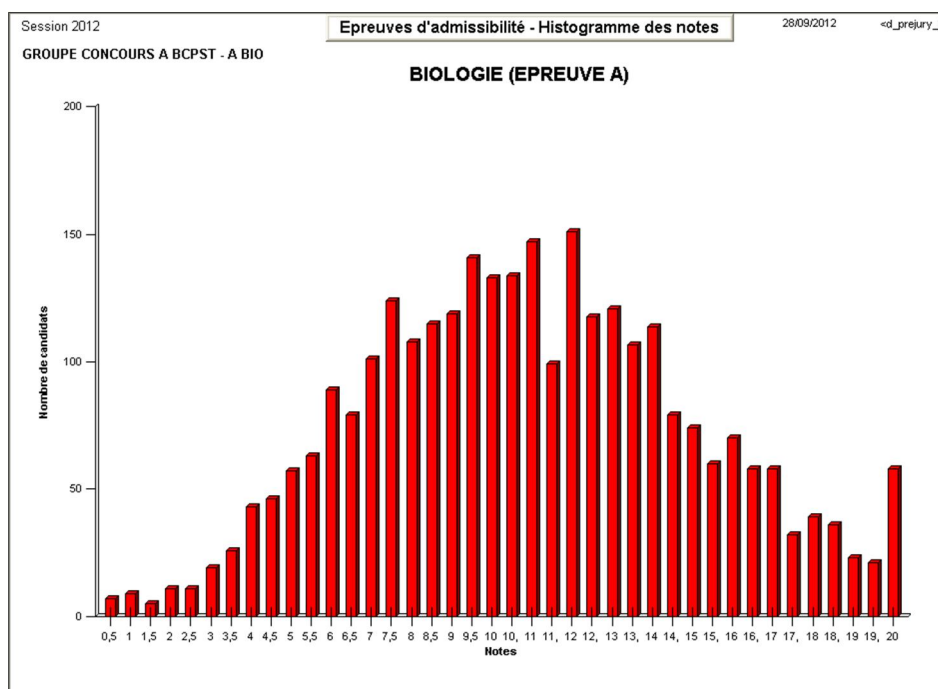
Un petit nombre de copies comporte de nombreuses fautes d'orthographe ce qui rend la lecture difficile. Les termes scientifiques doivent être connus afin d'éviter les orthographe fantaisistes.

✓ **Conclusion**

La rédaction d'une conclusion pertinente s'appuie sur une prise de recul de l'ensemble de l'exposé. Elle permet de faire le bilan des différentes réponses apportées à la problématique posée. Certaines conclusions traduisaient une véritable réflexion du candidat alors que d'autres sont bâclées et ne font que lister les différents points abordés.

**Correcteurs :** Mmes et MM Bouches-Noris N, Breuil-Broyer S, Brunet Ph, Chauvet-Bayles K, Collet-Economidès L, Cordier H, Dalaine S, Denoed J, Douchet R, Esnault Y, Furelaud G., Gazeau-Guillaud M., Guillerme D, License O, Mamecier C, Meslin B, Mola Paqueroles M, Pernoud A, Proust A, Rajchenbach M, Ricard V, Saintpierre F ®, Vah B, Vanhoutte F ®, Villeneuve C.

**Expert :** M. Bonhoure G.



## Épreuve Écrite de Biologie B

Concours	Nb cand.	Moyenne	Ecart type	Note la plus basse	Note la plus haute
A BIO	2906	11,23	3,8	1,0	20,0
A ENV	1839	11,24	3,73	1,0	20,0
A PC BIO	1185	11,14	3,8	1,0	20,0

A partir de l'exploitation des documents et de vos connaissances, étudiez quelques aspects fonctionnels des hémoglobines au sein des cellules et des organismes

\*\*\*

*Le sujet proposé cette année comportait trois thèmes indépendants, portant sur quelques aspects fonctionnels des hémoglobines au sein des cellules et des organismes. Il abordait des aspects du programme de biologie des deux années de classe préparatoire BCPST, le thème 1 étant plus en relation avec le programme de physiologie de deuxième année, tandis que les thèmes 2 et 3 faisaient davantage appel à des notions du programme de biologie moléculaire et cellulaire de première année.*

Il n'était demandé ni introduction ni conclusion générales. L'énoncé du sujet présentait les problématiques de chaque thème dans de courts paragraphes introductifs, aucune introduction partielle n'était donc attendue. En revanche, il était explicitement demandé une brève conclusion rédigée pour les thèmes 1 et 3 et un schéma-bilan à la fin du thème 2.

L'épreuve B sollicite la mise en œuvre des savoir-faire directement liés à la lecture de publications scientifiques. Selon le même principe que pour la session 2011, des points du barème ont été affectés à l'expression de compétences spécifiques à l'épreuve. La grille d'évaluation des compétences a légèrement évolué dans ses libellés ; sous cette forme, elle correspond de plus près aux attentes des écoles. Les compétences évaluées ont été ainsi réparties dans les 8 items suivants :

### **A - Mettre en œuvre une argumentation scientifique**

- A1) Intégrer des documents dans une argumentation : choix, traitement, modification...
- A2) Comparer des données : identification d'un montage référence / témoin, quantification, prise en compte des barres d'erreur

### **B - Intégrer une expérimentation dans une démarche**

- B1) Mettre en relation le principe d'une expérimentation avec son objectif
- B2) Mettre en relation les informations tirées de documents, transitions logiques

### **C - Construire un modèle et le confronter au réel**

- C1) Poser un problème, proposer des hypothèses, des modèles explicatifs
- C2) Critiquer et poser des limites

### **D - Communication écrite**

- D1) Qualité de l'expression (syntaxe, orthographe, précision, concision)
- D2) Soins et présentation

On rappelle qu'il n'est pas attendu la mise en œuvre de toutes les compétences à chaque document. La prise en compte se fait selon un système de seuils qui permet aux candidats d'obtenir le maximum des points après un certain nombre d'occurrences. Il ne s'agit pas d'un processus de « validation », qui relève de la compétence des écoles, mais bien d'un dispositif d'évaluation.

## **Observations générales sur les copies**

*Le jury rappelle aux candidats qu'il est important de lire et de prendre en compte les consignes présentes sur la première page du sujet, certains attendus pouvant légèrement différer d'une année à l'autre.*

*Il était indiqué dans le sujet qu'aucune introduction, ni générale, ni partielle n'était attendue. Des candidats ont donc perdu du temps en en rédigeant malgré tout ; certains, assez nombreux, ont introduit pour chaque thème en recopiant ou en paraphrasant inutilement les énoncés, exercice n'apportant aucune plus-value.*

En revanche, si aucune conclusion générale n'était demandée, il était attendu des conclusions pour les thèmes 1 et 3 et un schéma-bilan pour le thème 2. Ces bilans, rédigés ou schématiques, ont manqué dans certaines copies.

La gestion du temps pose problème à de nombreux candidats. Les documents du thème 1 ont été décrits et commentés de façon extrêmement détaillée - et pour autant pas forcément efficace - tandis que le thème 3 a été traité souvent trop rapidement, parfois de façon peu rédigée. Plus du tiers des candidats n'ont pas étudié tous les documents de ce dernier thème, voire même ne l'ont pas abordé du tout.

Le barème étant relativement équilibré entre les trois thèmes. Il est donc conseillé aux candidats de gérer leur temps de travail, de rechercher la concision dans leurs analyses et leurs argumentations en évitant de se perdre dans des développements inutilement longs. Fort heureusement, les « restitutions de connaissances » sur l'hémoglobine sont restées rares.

*De nombreuses copies montrent un effort de construction de la démarche avec l'explicitation des étapes du raisonnement, sous forme de paragraphes bien séparés, et parfois titrés (objectif, protocole, résultats, interprétation...). Ceci peut faciliter la lecture par les correcteurs, mais ce cadre doit rester souple pour éviter un découpage mécanique pas forcément adapté à tous les documents.*

- en ce qui concerne les protocoles, un commentaire n'est pertinent que si le candidat apporte une information supplémentaire, utile pour l'interprétation, tandis que le recopiage du protocole donné dans l'énoncé ne présente pas d'intérêt ;

- écrire « interprétation » ne vaut que si cela est vraiment suivi d'une interprétation, d'une véritable mise en relation avec un modèle, et non d'une simple paraphrase des résultats.

- les documents complexes, constitués de plusieurs sous-documents, nécessitent un bilan synthétique mettant en relation l'ensemble des interprétations qui en ont été dégagées.

## **Remarques relatives aux compétences évaluées**

- **A1**) Intégrer des documents dans une argumentation : choix, traitement, modification...

- La plupart des copies contiennent des documents découpés et collés mais ils ne sont pas toujours judicieusement exploités, ou lisiblement annotés. Le jury rappelle encore une fois que repasser en couleur des courbes ne constitue pas une annotation de documents et qu'il est parfaitement inutile de coller un document sans l'exploiter et sans y ajouter des indications pertinentes, facilitant son utilisation.

D'autre part, annoter un document ne dispense pas de dégager, en quelques courtes phrases rédigées, les faits importants.

- Le traitement ou la modification des données peuvent parfois être contre-productifs quand leur résultat est moins clair que le document d'origine. Ainsi le calcul d'équations de droites (doc 1.1-A) ou la transformation d'un histogramme en tableau de valeurs n'apportent rien à la construction du raisonnement.

Etonnamment, le calcul de pourcentages à partir d'effectifs a posé problème à de nombreux candidats (doc 3.1).

- **A2)** Comparer des données : identification d'un montage référence / témoin, quantification, prise en compte des barres d'erreur

- Les témoins ne sont pas toujours identifiés, et quand ils sont mentionnés, ils ne sont pas toujours utilisés comme référence dans des comparaisons.
- Les valeurs chiffrées sont parfois repérées avec peu de pertinence (ex : saturation maximale de l'hémoglobine dans le thème 1).

L'aspect quantitatif des électrophorogrammes (thème 2) a trop souvent été négligé.

Les barres d'échelles sont peu exploitées pour évaluer des dimensions (thème 3).

- Les barres d'erreur sont inégalement comprises et prises en compte. Ainsi, certains candidats ignorent que la barre d'erreur est centrée sur la moyenne et se prolonge donc au-dessus mais aussi en dessous de cette valeur. D'autres candidats concluent que les données sont non exploitables en cas de barres d'erreurs chevauchantes, ce qui équivaut à considérer que seuls les résultats indiquant une différence sont intéressants.

- **B1)** Mettre en relation le principe d'une expérimentation avec son objectif

Rares sont les candidats à présenter le principe ou l'intérêt des expériences réalisées. Certains ne font que paraphraser le titre du document en guise de principe. Le jury recommande de prendre précisément connaissance de l'ensemble du document avant de rédiger la présentation de son objectif.

D'autres candidats ne font que décrire le principe expérimental sans le relier au but ou à l'exploitation de l'expérience.

- **B2)** Mettre en relation les informations tirées de documents, transitions logiques

Trop peu de candidats relient explicitement les informations tirées des différents documents d'un même thème et les études des documents se succèdent sans transitions pertinentes. Certaines copies donnent même l'impression d'un oubli total du contenu des documents précédents. Pour d'autres candidats la mise en relation de documents semble justifier une absence d'interprétation puisque celle-ci se réduit alors à « cela confirme les résultats précédents ».

En revanche, les bonnes copies révèlent la cohérence du raisonnement du candidat.

- **C1)** Poser un problème, proposer des hypothèses, des modèles explicatifs

Cette compétence est inégalement acquise par les candidats puisqu'elle nécessite d'avoir préalablement compris et correctement exploité le document. Lorsque c'était le cas, les candidats ont souvent proposé des hypothèses explicatives.

- **C2)** Critiquer et poser des limites

Seuls certains documents (par exemple les documents 2.2-B ou 3.3-B) se prêtaient à la mise en œuvre de cette compétence. Moins de 5% des candidats ont critiqué ou posé une limite à l'exploitation d'un document.

- **D1)** Qualité de l'expression (syntaxe, orthographe, précision, concision)

- De trop nombreuses copies présentent une syntaxe ou une orthographe déficientes, à des degrés divers. Ces défauts dévalorisent les copies et dans certains cas nuisent même à leur compréhension.

Au respect des règles du français courant s'ajoute la nécessité de la maîtrise du vocabulaire scientifique, à la fois en ce qui concerne la précision des termes employés et le respect de leur orthographe. Le jury a pu ainsi lire que des hématies de forme normale, en disque biconcave,

étaient « sphériques », « creuses », « claires au centre » ou « ovoïdes », tandis que des hématies anormales étaient « faucilliformes », et même « reiniformes ».

On rappelle encore qu'on observe sur les gels d'électrophorèse des taches et non des tâches.

- Si la présentation des résultats doit être précise, elle doit aussi rester concise. Un choix pertinent de quelques valeurs quantifiées ou la mise en évidence de ressemblances, différences ou évolution suffisent le plus souvent à dégager les informations importantes.

Trop souvent les descriptions sont confuses et imprécises, les informations tirées des documents ne sont pas hiérarchisées. Des candidats se perdent dans leur interprétation et en viennent à se contredire.

#### - D2) Soins et présentation

La plupart des copies sont soignées et bien présentées. Un plan reprenant l'enchaînement logique des documents est apparent, avec leurs numéros indiqués, conformément aux consignes de l'énoncé. Le soulignement des titres en permet une meilleure visibilité.

Certains candidats doivent veiller à mieux aérer leurs copies en sautant des lignes entre les paragraphes et plus particulièrement, pour les candidats à petite écriture, à améliorer la lisibilité en évitant d'écrire sur toutes les lignes puisque les copies sont à petits carreaux.

### **Commentaires spécifiques sur les différentes parties du sujet**

#### **THEME 1 – Hémoglobine, température et adaptation aux environnements extrêmes**

*Ce thème 1 a posé problème à beaucoup de candidats, qui n'ont pas su relier les documents à la problématique.*

*L'introduction de cette partie précisait l'environnement extrême qui était étudié, à savoir le milieu arctique. Trop de candidats n'ont pas prêté attention à la problématique indiquée et ont longuement commenté les variations survenant pour une température externe croissante.*

*Le jury rappelle aux candidats que pour le biologiste, le verbe adapter n'est pas pronominal : les espèces ne s'adaptent pas, elles sont adaptées (ou non).*

#### **Document 1.1 : Variations de température et transport du dioxygène par le sang chez le renne**

##### **1.1-A : Variations de la température de la peau chez le renne**

L'objectif de ce document est d'analyser les variations de température de la peau (en surface de l'organisme) en fonction de la température du milieu extérieur, sachant que le renne est un animal homéotherme : il conserve sa température centrale constante, évaluée grâce à la température rectale.

L'analyse du graphique montre que la température de la peau diminue quand la température extérieure s'abaisse, avec des valeurs toujours inférieures à la température rectale (jusqu'à 19°C de moins, à -20°C). La température de l'abdomen reste toujours supérieure à la température de la patte (écart entre 6 et 2°C).

On conclut qu'il n'y a pas de maintien de la température de la peau contrairement à la température centrale et que les extrémités de l'animal, moins protégées et en contact avec le sol froid, se refroidissent plus que la zone viscérale.

*La prise en compte de la température rectale a suscité chez certains candidats d'improbables réflexions qui ont pu faire sourire le jury.*

*La majorité des candidats ont décrit ce document dans le sens des températures croissantes, ce qui est inadapté à la problématique, ont évoqué une relation linéaire entre température de*

la peau et température extérieure, alors qu'il s'agit d'une fonction affine, et, surtout, n'ont pas précisé qu'il s'agit d'une fonction croissante.

Ce document d'introduction aurait dû permettre de formuler des hypothèses ou des problèmes en lien avec l'intitulé du sujet sur l'hémoglobine. Cela n'a été que très rarement le cas.

Ainsi on aurait espéré une réflexion sur le fait que la limitation des pertes de chaleur au niveau de la peau met en jeu un moindre débit sanguin (vasoconstriction artériolaire ?) et que cela peut avoir des conséquences sur la perfusion sanguine et l'alimentation en O<sub>2</sub> des pattes.

### 1.1-B : Saturation en dioxygène du sang chez le renne et chez l'homme

L'objectif de ce document est d'analyser les conséquences de variations de températures sur le transport du dioxygène (comparaison sangs artériel/veineux). On pouvait attendre une justification des modèles animaux : renne/animal arctique ; homme/référence en considérant qu'il n'est pas naturellement adapté aux grands froids.

	Saturation du sang artériel à 37°C pour paO <sub>2</sub> = 95 mmHg	Saturation du sang veineux à 37°C pour pvO <sub>2</sub> = 25 mmHg	Saturation du sang veineux à 20°C pour pvO <sub>2</sub> = 25 mmHg	Différence artério-veineuse à 37°C	Différence artério-veineuse à 20°C
Renne	0,95	0,37	0,70	0,58	0,25
Homme	0,95	0,46	0,80	0,49	0,15

Pour chacune des deux espèces étudiées, on conclut que la saturation du sang artériel à 37°C est quasi-totale (donc pas de limitation du dioxygène arrivant aux tissus) et que la température influe sur la saturation du sang veineux : la saturation est plus élevée à faible température. En conséquence, la diminution de la température limite la désoxygénation du sang ce qui pourrait poser problème pour l'alimentation en dioxygène des organes périphériques.

D'autre part, la comparaison homme/renne montre une différence artério-veineuse supérieure chez le renne par rapport à l'homme d'où une plus grande libération de dioxygène chez le renne (1,6 fois plus), en particulier à faible température. Ceci peut correspondre à une adaptation du renne à la vie en milieu froid qui permet le maintien de l'alimentation en dioxygène des organes périphériques.

L'analyse des graphiques pouvait être simple et rapide avec la comparaison des saturations entre sang artériel et veineux aux pressions partielles en O<sub>2</sub> indiquées dans l'énoncé et le calcul des différences artério-veineuses mais un grand nombre de candidats ont relevé et comparé des valeurs non pertinentes correspondant à la p50, à la saturation maximale, aux points d'inflexions, voire même prises au hasard.

De trop nombreux candidats ont qualifié l'hémoglobine d'enzyme, confondent P<sub>50</sub> et K<sub>m</sub> et ont interprété les taux de saturation en vitesse de réaction.

Les interprétations ont été désordonnées, l'étude de l'effet des basses températures sur chaque espèce, d'une part et la comparaison des deux espèces, d'autre part, n'ont pas été séparées.

Certains candidats ont vu la saturation élevée à basse température comme une adaptation et ont considéré que ceci constitue une réserve de dioxygène.

Le lien avec la température basse des organes périphériques, montrée au document précédent, a été très rarement dégagé.

Remarquer que l'homme et le renne ne sont pas des espèces phylogénétiquement proches et que les différences observées pouvaient être imputées à d'autres facteurs que l'adaptation au milieu froid, constituait une critique intéressante du document, mais qui n'a été rencontrée qu'exceptionnellement dans les copies.

## Document 1.2 : Comparaison du comportement de l'hémoglobine de mammouth laineux et de l'éléphant d'Asie en fonction de la température

L'objectif de ce document est d'analyser le comportement de l'hémoglobine en fonction de la température afin de comprendre les modalités d'apport en dioxygène aux organes périphériques. L'utilisation de deux espèces phylogénétiquement proches minimise les différences liées à d'autres facteurs évolutifs et adaptatifs.

*Cette proximité phylogénétique des deux espèces a trop rarement été signalée par les candidats.*

L'analyse des graphiques permet de comparer les différentes situations à l'aide des  $P_{50}$  :

- Expériences sans effecteurs :

A 11°C, la courbe de la saturation de l'hémoglobine a une allure hyperbolique pour les deux espèces, à 37°C, l'allure sigmoïde est, un peu plus marquée pour l'éléphant d'Asie.

Sans 2,3-BPG	$P_{50}$ à 37°C	$P_{50}$ à 11°C
Mammouth	16 mm Hg	4 mm Hg
Eléphant	18 mm Hg	4 mm Hg

On en déduit qu'aux basses températures, l'hémoglobine est saturée pour de très faibles pressions partielles (ce n'est pas le cas à 37°C) ; la libération de dioxygène aux tissus exposés aux basses températures (les tissus périphériques comme ceux des membres) nécessite une très faible pression partielle, ce qui semble peu probable.

- Expériences avec effecteurs : ajout de 2,3-BPG

Avec 2,3-BPG	$P_{50}$ à 11°C
Mammouth	20 mm Hg
Eléphant	13 mm Hg

En présence de 2,3-BPG, le comportement de l'hémoglobine aux basses températures est fortement modifié : les courbes de saturation à 11°C sont sigmoïdes et la  $p_{50}$  est du même ordre que les  $p_{50}$  à 37°C sans effecteurs. En outre la  $p_{50}$  de l'hémoglobine de mammouth laineux est plus élevée que celle de l'éléphant d'Asie ce qui permet une libération de dioxygène plus importante aux faibles pressions partielles.

*Le document est complexe, c'est pourquoi l'énoncé décompose la description des mesures réalisées en deux paragraphes, bien distincts et numérotés 1) et 2), afin de suggérer aux candidats de faire une analyse structurée de la même façon. Malgré cette indication, de trop nombreuses descriptions des courbes ont été faites de façon non méthodique en mélangeant les facteurs testés ce qui a produit des descriptions laborieuses et confuses.*

*Si des candidats ont bien utilisé la comparaison des  $P_{50}$  pour mener leur analyse, de nombreux autres n'ont pas su choisir ce paramètre et, comme pour le document précédent, se sont évertués à comparer les taux de saturation maximale, montrant ainsi qu'ils n'avaient pas identifié le problème biologique.*

Une synthèse des interprétations était nécessaire à l'issue de l'étude de ce document complexe : Sans effecteurs, les hémoglobines d'éléphantidés ne libèrent pas (ou très peu) de dioxygène dans les tissus exposés aux basses températures. En présence de 2,3-BPG, les hémoglobines voient leur affinité pour le dioxygène modifiée et peuvent le libérer au niveau des tissus périphériques. L'hémoglobine de mammouth semble plus sensible à l'effet du 2,3-BPG ce qui pourrait se mettre en relation avec l'habitat « froid » de cette espèce.



Hypothèse : les différences de sensibilité des hémoglobines pourraient être dues à des différences de séquences affectant la fixation du 2,3-BPG, ou affectant les interactions entre sous-unités et donc la transition allostérique.

*Cette hypothèse explicative n'a été qu'exceptionnellement rencontrée dans les copies.*

### **Document 1.3 : Relation entre milieu de vie et enthalpie de désoxygénation de l'hémoglobine**

L'objectif de ce document est de comprendre à l'échelle moléculaire les effets du 2,3-BPG.

*Dans le cas de l'hémoglobine, l'enthalpie de réaction est positive, ce qui signifie qu'il y a un apport d'énergie nécessaire pour que la réaction se déroule.*

L'analyse des histogrammes montre que sans 2,3-BPG, les enthalpies sont identiques chez mammouth et l'éléphant (comme les p50, cf doc 1.2). Avec 2,3-BPG : les enthalpies de désoxygénation diminuent ; l'enthalpie chez le mammouth est 30 % plus faible que celle de l'éléphant.

On en déduit qu'à basse température, le 2,3-BPG abaisse l'énergie à apporter pour les transitions allostériques et donc la libération du dioxygène. Cette modification de comportement est plus marquée pour le mammouth ce qui expliquerait la facilitation de la décharge du dioxygène pour cette espèce en milieu froid.

*Trop de candidats ne connaissent pas la signification du terme endothermique et ont construit des raisonnements erronés. Beaucoup de candidats ont généralisé l'intérêt fonctionnel de la libération de chaleur à l'échelle de l'organisme et ont abouti alors à la conclusion curieuse que la désoxygénation de l'hémoglobine permet le maintien de la température du corps.*

### **Conclusion du thème 1**

La libération du dioxygène par l'hémoglobine est peu favorisée à basse température, or les organes périphériques des animaux vivant en milieu froid présentent des températures plus faibles que les organes centraux. On constate chez ces animaux (renne ou mammouth laineux) une augmentation de la p50 et une accentuation de la forme sigmoïde de la courbe de saturation de l'hémoglobine pour des températures faibles en comparaison avec des animaux de climats plus tempérés (homme, éléphant d'Asie). Cette modification de comportement de l'hémoglobine peut être liée à une plus grande sensibilité aux effecteurs (ex : 2,3-BPG pour les hémoglobines d'éléphantidés) qui abaisse l'enthalpie de désoxygénation et donc l'énergie nécessaire pour la libération du dioxygène au niveau des tissus.

*Si les conclusions quant à l'existence d'adaptations sous souvent présentes, elles ont rarement été correctement justifiées et ont pris parfois une tournure finaliste.*

## **THEME 2 : Acquisition et maintien de la structure fonctionnelle de l'hémoglobine**

### **2.1 - Analyse des hématies et de l'hémoglobine issues de souris sauvages (+/+) et mutées pour AHSP (-/-)**

#### **Document 2.1-A : Comparaison des hématies**

Ce document permet de d'identifier à l'échelle cellulaire les effets d'une perte de fonction du gène AHSP.

L'observation comparée de frottis sanguins de souris mutées (-/-) à des souris sauvages (+/+) permet de mettre en évidence chez les souris mutées, la présence d'hématies déformées dont certaines en fuseau avec des agrégats colorés au lieu d'être biconcaves et l'existence de

nombreux corps de Heinz, absents chez les souris sauvages. La protéine AHSP semble donc prévenir la formation d'agrégats constitués par des chaînes de globines dénaturées, elles-mêmes à l'origine de la déformation des hématies.

*Certains candidats ont bien analysé les photographies, les intégrant à leur copie judicieusement annotées, mais sans conclure sur le rôle possible de AHSP. Trop peu font explicitement référence au témoin pour en déduire le rôle de AHSP.*

### **Document 2.1-B : Comparaison de la stabilité des hémoglobines**

On cherche à vérifier l'hypothèse émise lors de l'analyse du précédent document, c'est à dire le rôle protecteur d'AHSP vis à vis de la dénaturation des globines.

L'analyse de ce document permet de quantifier l'augmentation de la précipitation des hémoglobines au cours du temps en absence de gène AHSP fonctionnel.

*Le lien entre précipitation et dénaturation des protéines devait être explicite. Nombreux sont les candidats à ne pas avoir pris en compte les barres d'erreurs chez le témoin, ne montrant pas de différence significative au cours du temps (précipitation de l'hémoglobine autour de 10%).*

Cette expérience semble confirmer le rôle protecteur de la protéine AHSP sur la dénaturation des hémoglobines. Une réflexion était possible sur le mode d'action de cette protéine. La notion de protéine chaperone pouvait être attendue.

## **2.2 – Relations fonctionnelles entre AHSP et les globines $\alpha$ et $\beta$**

### **Document 2.2-A : Etude de la dénaturation des globines**

On veut tester indépendamment l'effet protecteur de la protéine AHSP contre la dénaturation/précipitation des globines  $\alpha$  ou  $\beta$ . On provoque pour cela la dénaturation des globines en présence de concentration croissante en AHSP.

Les situations témoins (globine  $\alpha$  ou  $\beta$  mises en présence de ferrocyanure de potassium uniquement), montrent que sans AHSP, l'absorbance, c'est à dire la précipitation des globines, augmente après un temps de latence de 5 minutes, pour atteindre un plateau en 15 minutes. L'augmentation croissante de la quantité d'AHSP est corrélable à une réduction de la précipitation des globines  $\alpha$  uniquement et même une absence de précipitation pour un rapport AHSP/ $\alpha$  = 7,2.

On pouvait ainsi mettre en évidence l'effet spécifique de la protéine AHSP sur la protection des globines  $\alpha$ . Mais AHSP protège-t-elle de la dénaturation, ou empêche-t-elle la précipitation des chaînes dénaturées ? Le protocole ne permet pas de distinguer exactement l'étape concernée.

*L'analyse du document a été généralement bien menée par les candidats. Certains sont allés jusqu'à proposer l'hypothèse qu'AHSP empêcherait l'oxydation de l'hème par le ferrocyanure, mais seulement quelques copies ont évoqué la notion de protéine chaperone. Quelques candidats n'ont pas repéré l'action du ferrocyanure de potassium comme agent oxydant.*

### **Document 2.2-B : Etude des interactions entre la protéine AHSP et les globines.**

Le gel 1 permet d'analyser les interactions physiques entre la protéine AHSP et les globines. On augmente pour cela les concentrations de la protéine AHSP en présence de globine  $\alpha$  ou  $\beta$ .

On observe d'une part que les globines  $\alpha$  seules dans le milieu restent libres, contrairement aux globines  $\beta$  qui s'associent en tétramères (témoins, bandes 1 et 6). D'autre part, on constate qu'une augmentation de la concentration en AHSP provoque une diminution croissante de la quantité de globine- $\alpha$  libre, et parallèlement une augmentation croissante de

la quantité de complexe  $\alpha$ Gb-AHSP (bandes 2 à 5). En revanche, l'ajout d'AHSP dans le milieu ne modifie pas l'association des globines  $\beta$  en tétramère. Il semble donc que la protéine AHSP s'associe spécifiquement à la globine  $\alpha$ , ce qui expliquerait les effets protecteurs observés dans le document 2.2-A contre la dénaturation/précipitation, mais l'expérience ne nous permet pas de déterminer la stœchiométrie du complexe.

Le gel 2 permet de comprendre les relations et les transferts de globines entre les différents complexes formés. On étudie pour cela les variations des concentrations de la globine  $\beta$  en présence de globine  $\alpha$  et de protéine AHSP.

Les bandes 1 (témoin) et 2 mettent en évidence la formation du complexe globine  $\alpha$ - AHSP, tout comme dans le gel 1. Les bandes 1 à 6 montrent qu'une quantité croissante de globine  $\beta$  entraîne une diminution de la quantité de complexe globine  $\alpha$ - AHSP, et parallèlement, une augmentation de la formation d'hémoglobine A.

Il est alors possible de proposer un modèle explicatif de formation des complexes  $\alpha_2\beta_2$  : la globine  $\alpha$  se lie à la protéine AHSP avant d'être transférée à la globine  $\beta$  pour former le tétramère d'hémoglobine. On pouvait émettre l'hypothèse d'une affinité de la globine  $\alpha$  pour la globine  $\beta$  supérieure à son affinité pour la protéine AHSP.

*Si les candidats ont souvent précisé l'intérêt d'une électrophorèse en conditions non dénaturantes afin de conserver les interactions moléculaires, l'étude des deux gels a souvent manqué de rigueur scientifique. Il était en effet indispensable d'étudier très méthodiquement les résultats expérimentaux de chaque gel et de préciser chaque fois la référence au témoin. Beaucoup de candidats se sont contentés de conclusions triviales (ex :  $\alpha_2\beta_2$  ne se forme pas car il n'y a pas de globine- $\beta$ , ou encore l'hémoglobine possède deux sous-unités  $\alpha$  et deux sous-unités  $\beta$  !) sans mettre en relation les résultats expérimentaux.*

*Quelques candidats ont intégré et annoté très judicieusement les documents de manière qualitative et quantitative (ex : gradients moléculaires), permettant une présentation claire et pertinente et leur faisant gagner un temps précieux.*

### 2.3 – Néosynthèse de globine $\alpha$ et formation d'hémoglobine

L'objectif de l'expérience est d'étudier l'effet de la protéine AHSP sur les globines  $\alpha$  en cours de synthèse (alors que dans les précédents documents, les expériences étaient réalisées sur des protéines déjà traduites). On cherche donc à valider les résultats précédents mais dans des conditions proches des conditions naturelles.

L'électrophorèse en conditions dénaturantes permet de séparer les complexes protéiques éventuellement formés. Une seule bande est visible, c'est-à-dire les globines- $\alpha$  néosynthétisées ayant incorporé la méthionine radioactive. On peut voir que la quantité de globine- $\alpha$  est identique dans chaque lot (même en absence de protéine AHSP), ce qui met en évidence que la protéine AHSP n'intervient pas dans la néosynthèse de la globine- $\alpha$ .

L'électrophorèse en conditions non dénaturantes permet de conserver les complexes protéiques formés. La piste 1 constitue le témoin sans globine- $\alpha$ . Les pistes 2 à 5 montrent qu'une quantité croissante de AHSP entraîne une quantité croissante de tétramère  $\alpha_2\beta_2$  formés.

Il est donc possible de mettre en relation ces résultats avec les documents précédents et d'en conclure que la formation de l'hémoglobine A requiert la présence de la protéine AHSP qui, en s'associant à la globine- $\alpha$ , empêche probablement la dénaturation et donc la précipitation des chaînes de globine- $\alpha$ , ce qui les rendrait incapables de former le complexe  $\alpha_2\beta_2$ .

Très peu de candidats ont correctement analysé ce document. Les résultats en conditions dénaturantes n'ont souvent pas été compris ou interprétés. Des nombreux candidats ont conclu à tort que AHSP agissait comme facteur de transcription.

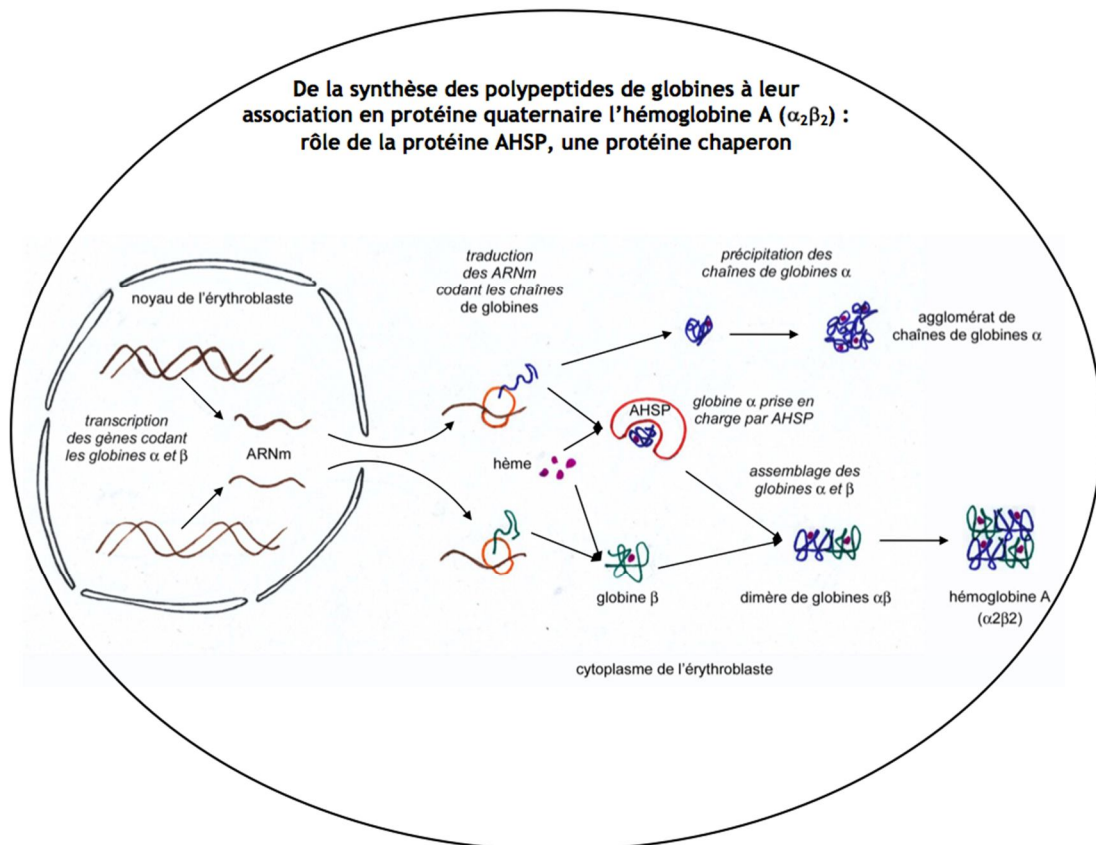
### Schéma-bilan du thème 2 :

Une attention particulière a été accordée à la qualité et au soin du schéma.

Trop nombreux encore sont les candidats oubliant le titre ou se contentant de « schéma bilan ».

Le jury attendait que soit présenté le rôle de la protéine AHSP depuis la synthèse des globines jusqu'à la formation de l'hémoglobine au sein des érythroblastes. Le détail des étapes de l'expression des gènes de globine (transcription et traduction) ainsi que la présentation des phénomènes moléculaires déduits des documents en absence de protéine AHSP (agglomérats de chaînes de globines- $\alpha$ ) n'étaient pas exigibles, mais ont été valorisés chaque fois qu'ils étaient présents et justes.

On retrouve dans certains schémas, l'erreur de présenter la transcription dans une hématie, pourtant dépourvue de noyau. De nombreux schémas présentaient des erreurs mais restaient cohérents avec une mauvaise interprétation des documents. Rares ont été les candidats n'ayant produit aucun schéma.



### THEME 3 : Hémoglobinopathies et infection par le parasite *Plasmodium falciparum*

*Ce thème a très souvent fait l'objet d'une étude plus rapide des documents, et inachevée. Plasmodium falciparum n'est ni une bactérie, ni un virus. Cette confusion s'est retrouvée dans de très nombreuses copies. L'introduction du thème 3 présentait pourtant explicitement le cycle de développement de ce parasite eucaryote unicellulaire. D'autre part, il n'a pas été rare de retrouver la drépanocytose (hémoglobine HbS et non HbC), alors qu'il s'agissait d'une hémoglobinose C. L'objectif du thème n'était cependant pas de tester les connaissances des candidats sur les hémopathies.*

#### 3.1- Génotype des individus et développement des symptômes par le parasite *Plasmodium falciparum*

*On cherche à déterminer la fréquence de développement du paludisme selon le génotype des individus. Le jury attendait les proportions relatives de chacun des génotypes, ainsi que ceux des individus atteints par le paludisme.*

On pouvait alors estimer, que parmi les individus atteints par le paludisme, 26% sont de génotype AA ; 18% de génotype AC, et moins de 2% de génotype CC.

Ce qui conduit à penser que la présence d'allèles  $\beta^C$  semble protéger les individus face au paludisme. Cette conclusion pouvait amener le candidat à poser certaines limites, puisqu'elle n'est valable que si l'on considère que les anophèles injectent de façon aléatoire le parasite quels que soient les génotypes des individus

*Les calculs de pourcentage se sont retrouvés dans de nombreuses copies, avec souvent quelques erreurs, mais dans des proportions relatives acceptables. Certains candidats ont transformé l'analyse du document en « problème génétique », cherchant à mettre en évidence l'allèle récessif, d'autres à distinguer individus « atteints » et « présence de symptômes », ce qui n'avait pas lieu d'être.*

*On retrouve encore trop souvent des imprécisions sur l'utilisation des termes gène et allèle. Quelques candidats ont identifié l'allèle  $\beta^C$  comme étant à l'origine du paludisme, ce qui a compromis les analyses de l'ensemble documentaire de cette troisième partie.*

#### 3.2 – Influence de *plasmodium falciparum* sur le phénotype des globules rouges.

##### Document 3.2-A : Evaluation de l'adhérence des globules rouges aux cellules endothéliales

On étudie les modifications de l'adhérence des globules rouges aux cellules endothéliales lorsqu'ils sont parasités en reconstituant *in vitro* un milieu circulant avec des cellules endothéliales.

*De très nombreux candidats n'ont pas compris la notion de référence, à savoir un taux d'adhérence des globules rouges AA parasités fixé par convention à 100%. Cela ne signifie pas que 100% des globules rouges AA parasités sont adhérents. Cette erreur a donc conduit les candidats à des erreurs quantitatives pour l'ensemble de leur analyse.*

Les hématies AA non parasitées constituent le témoin. Ces cellules ne sont pas adhérentes aux cellules endothéliales. On constate que l'adhérence des globules rouge AC parasités est réduite de 25% par rapport aux globules rouges AA parasités et quasi nulle pour les globules rouges CC parasités. On peut alors faire une corrélation entre la présence de l'allèle  $\beta^C$  et la diminution de l'adhérence aux cellules endothéliales.

Le jury attendait du candidat qu'il mette en relation cette analyse avec les données introductives du document. Les globules rouges CC parasités n'étant pas ou peu adhérents peuvent atteindre la rate où ils sont éliminés, ce qui expliquerait ainsi le très faible taux d'individus de génotype CC présentant des symptômes paludiques. Comment expliquer la

faible adhérence des globules rouges CC parasités ? Deux hypothèses peuvent se poser : 1) le parasite ne peut pas poursuivre son cycle de développement dans des globules rouges ayant une hémoglobine constituée de globine  $\beta^C$ , 2) le parasite ne peut pas modifier les propriétés d'adhérence des globules rouges ayant une hémoglobine avec de la globine  $\beta^C$ .

### **Document 3.2- B : Analyse en microscopie électronique des globules rouges parasités par *Plasmodium***

On veut comparer la morphologie des globules rouges en fonction de leur état parasitaire. On observe que les globules rouges parasités sont déformés, ils perdent leur forme biconcave, et leur membrane présente de nombreuses aspérités. Le parasite semble donc provoquer une modification importante de l'organisation morphologique des globules rouges, ces aspérités étant peut-être responsables de leur adhérence aux cellules endothéliales, mise en évidence dans le précédent document. Comment sont-elles constituées ? On peut supposer une modification de l'organisation des protéines membranaires, ou encore du cytosquelette induite par le parasite.

*Une mise en relation des documents ainsi que des hypothèses explicatives sur l'origine des aspérités observées étaient attendues, mais n'ont pas souvent été rencontrées dans les copies. Peu de candidats font le lien avec l'adhérence. Le blocage dans les capillaires du fait d'un diamètre supérieur de l'hématie n'est pas une explication satisfaisante, les résultats du document 3.2A ne mettaient pas en jeu ce paramètre.*

### **3.3 – Adhérence des globules rouges et expression de la protéine PfEMP1**

#### **Document 3.3-A : Rôle de la protéine PfEMP1**

On a identifié la protéine PfEMP1 comme présente à la surface des globules rouges parasités. On veut tester son implication dans l'adhérence des globules rouges. On utilise pour cela un peptide (rC1-2) constitué par un fragment de séquence de PfEMP1, peptide qui peut alors entrer en compétition avec PfEMP1 et masquer les sites d'interaction pour l'adhérence. La protéine témoin GST est non spécifique aux sites d'interactions qui restent libres, les globules rouges parasités sont adhérents, quelle que soit la concentration en GST. En revanche, en présence du peptide (rC1-2), l'adhérence est jusqu'à dix fois inférieure au témoin lorsqu'on augmente sa concentration dans le milieu. On en déduit que le peptide (rC1-2) a masqué les sites de fixation de PfEMP1 sur les cellules endothéliales ce qui confirme le rôle de PfEMP1 comme protéine d'adhérence des GRP.

*Le principe de l'expérience a rarement été compris, menant à la conclusion erronée que la protéine PfEMP1 inhibe l'adhérence, ce qui faussait les analyses documentaires suivantes.*

#### **Document 3.3-B : Analyse en microscopie confocale de la protéine PfEMP1**

On cherche à préciser la localisation et la répartition cellulaire de la protéine PfEMP1.

*Il pouvait être judicieux d'intégrer le document annoté dans l'analyse, montrant un gradient de densité de la protéine PfEMP1 localisé uniquement dans la membrane des globules rouges entre les trois génotypes.*

On peut alors faire une corrélation entre la densité membranaire de PfEMP1 et le niveau d'adhérence. On note cependant la présence de cette protéine dans le cas du génotype CC, leur densité n'étant probablement pas suffisante pour permettre une adhérence aux cellules endothéliales.

*Les photographies ont généralement été bien exploitées pour conclure à la position membranaire de la protéine PfEMP1, mais on relève très peu de commentaires sur les différences de densité.*

### 3.4 – Hémoglobine C et perturbation des relations entre le globule rouge et le parasite intracellulaire *Plasmodium falciparum*

#### Document 3.4-A : Analyse par tomographie d'électrons

L'objectif de cette tomographie est d'analyser les relations entre les structures vésiculaires monomembranaires du parasite, appelées fentes de Maurer, et la membrane plasmique du globule rouge.

*Il était souhaitable d'intégrer le document et de l'annoter précisément afin d'effectuer une comparaison rigoureuse et méthodique des différentes structures observables.*

L'observation comparée du globule rouge de génotype AA non parasité au globule rouge AA parasité met en évidence un réseau d'actine sous-membranaire très dense avec des microfilaments de petite taille chez les globules rouges AA non parasités. Ce réseau est beaucoup moins dense mais très développé (taille des microfilaments multipliée par 10) et relié à de nombreuses fentes de Maurer de toutes tailles chez le globule rouge AA parasité. On remarque d'autre part la présence de domaines membranaires contenant PfEMP1 en relation avec le réseau d'actine chez ce dernier.

Lorsqu'on compare le globule rouge CC au globule rouge AA non parasités on observe un réseau d'actine moins dense et des microfilaments plus longs chez le globule rouge CC.

On peut enfin comparer le globule rouge CC au globule rouge AA parasités. Le globule rouge CC présente un réseau vésiculaire de Maurer plus compact et moins étendu que le globule rouge AA, les vésicules n'étant pas reliées à la membrane plasmique par les microfilaments d'actine. Les domaines membranaires contenant PfEMP1 sont 3 fois moins étendus.

L'infection des globules rouges AA par *Plasmodium falciparum* serait donc à l'origine de la réorganisation du cytosquelette sous-membranaire d'actine. Ainsi, les fentes de Maurer contenant des lipides et des protéines (dont probablement PfEMP1) peuvent être conduites vers la membrane plasmique via ce réseau d'actine étendu. Dans le cas des globules rouges CC, l'infection par le parasite ne réorganise pas le réseau d'actine déjà moins dense, ce qui expliquerait la faible densité de protéines PfEMP1 à la surface des cellules, et donc, la faible adhérence aux cellules endothéliales.

*Les quelques candidats qui sont parvenus jusqu'à l'analyse de ce document l'ont souvent fait de manière partielle et peu méthodique. La taille des microfilaments est rarement estimée par rapport au témoin, les relations entre fentes de Maurer, réseau d'actine et domaines membranaires de PfEMP1 ne sont pas précisées.*

#### Document 3.4 –B : Analyse de la longueur des filaments du cytosquelette

Ce dernier document permettait de vérifier l'implication directe des molécules d'hémoglobine dans la dynamique du réseau d'actine des globules rouges, et de préciser une réduction de taille de 40% des microfilaments en présence d'hémoglobine C.

Le jury attendait une réflexion sur les propriétés de l'hémoglobine C qui semble défavoriser la polymérisation ou favoriser la dépolymérisation des filaments d'actine, à l'origine de la diminution du trafic vésiculaire du parasite au sein du globule et donc du niveau d'expression à la surface membranaire de la protéine PfEMP1.

*Les candidats ayant analysé ce document se contentent de relever la longueur des microfilaments obtenus sans quantifier le pourcentage d'écart entre les deux génotypes. Une réflexion de l'influence de l'hémoglobine C sur la polymérisation/dépolymérisation des microfilaments a très rarement été observée.*

#### Bilan du thème 3 :

La présence d'hémoglobine C perturbe la dynamique du réseau d'actine sous membranaire, ce qui réduit le trafic des vésicules intra-cytoplasmiques érythrocytaires et entraîne une diminution de la densité des protéines des protéines membranaires PfEMP1.

L'adhérence des globules rouges CC parasités à l'endothélium vasculaire n'est alors plus suffisante pour permettre leur séquestration dans les capillaires et éviter leur destruction par la rate. Ce taux d'élimination par la rate plus élevé permet de diminuer la parasitémie.

*Un schéma bilan était également possible pour présenter les relations de cause à effet.*

*La plupart des candidats arrivant jusqu'au bout du thème concluent à juste titre sur la relation entre cytosquelette, mise en place des fentes de Maurer, protéine PfEMP1 et adhérence, mais ne font pas le lien avec l'élimination ou non des globules rouges par la rate.*

*Certains candidats n'ayant pas eu le temps d'analyser l'ensemble des documents ont fait l'effort d'établir un bilan partiel, ce qui a été valorisé.*

**Correcteurs :** Mmes et MM André A., Bordi C. Bosio M., Boutin V., Chalard R., Chassaing O., Cordonnier A., D'Amore S., Dassonville K., De Quillac A., Detouillon E., Ducrocq-Le Bouteiller L., Favre D., Geray L., Jezequel E., Joly H., Krauss J., Louet F., Metz F. ®, Pergier C., Proch-Colson C., Régnier P.Y., Reverdy Y., Rouyer N. ®, Sachet J.M., Vergnaud A.

**Expert :** M. Bonhoure G.

