

RAPPORT DE L'ÉPREUVE ÉCRITE : BIOLOGIE, ÉPREUVE DE SYNTHÈSE

Les interactions protéines — ligands

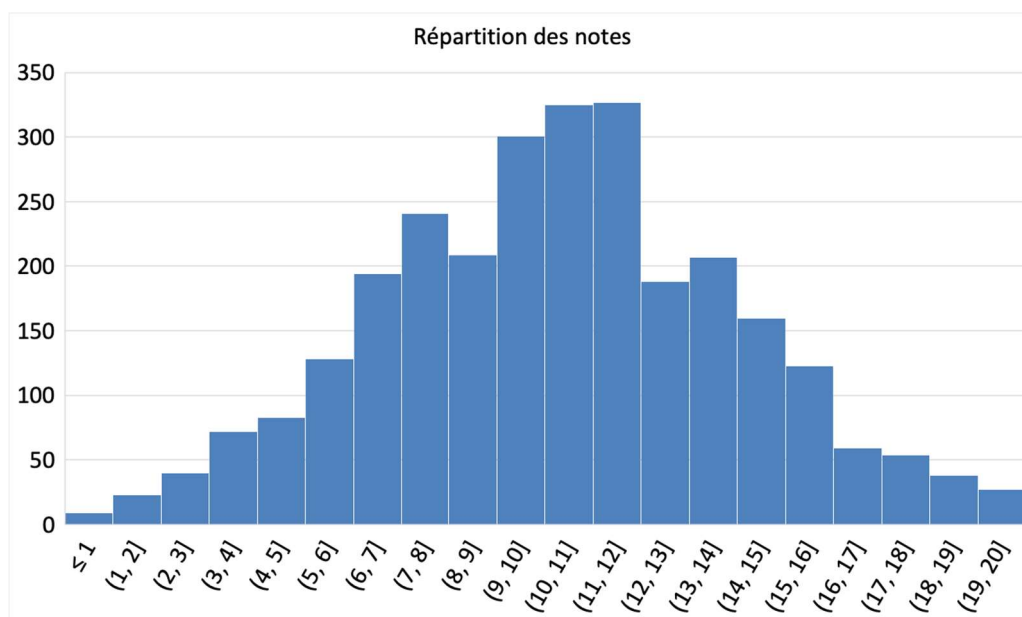
Le terme d'interaction est à prendre au sens le plus large : réciproque ou non, incluant tout échange, transfert ou effet.

1. Présentation du sujet

L'épreuve de synthèse de biologie, d'une durée de 3 heures, demande aux candidats de traiter le sujet proposé en dégagant une problématique à laquelle ils répondent en utilisant des connaissances pertinentes parmi celles construites au cours de leurs années de formation. Le jury attend donc non seulement une *maîtrise notionnelle fine*, mais également une *capacité de réflexion, de tri, de hiérarchisation et d'organisation logique de ces connaissances*, ainsi que des *compétences communicationnelles*.

Cette année, le sujet était : « **Les interactions protéines — ligands** ». Le sujet couvrait des notions des programmes de 1^{re} et 2^e années, avec des liens avec la biochimie de 1^{re} année, pouvant être illustrées au travers de nombreux exemples des deux années. S'appuyant sur une formulation courte et classique, le sujet ne nécessitait pas d'interprétation particulière, si ce n'est concernant les limites données au terme « ligand ». Au premier abord très biochimique, ce sujet nécessitait une approche globale en termes d'échelles et de fonctions. Il convenait d'avoir une vision synthétique pour organiser son raisonnement, de façon à traiter l'ensemble des attendus sans tomber dans l'effet catalogue consistant à simplement énumérer différents exemples. Ce sujet permettait à tous les candidats de s'exprimer tout en exigeant une solide maîtrise des notions et un bon recul scientifique pour parvenir à traiter le sujet de manière complète, pertinente et équilibrée. Ce sujet a permis de bien classer les candidats comme le montre la répartition des notes ci-dessous.

2. Statistiques générales de l'épreuve



Nombre de copies	2808
En dessous de la moyenne	1393
Au-dessus de la moyenne	1415
Minimum	0.3/20
Moyenne	10.31/20
Maximum	20 / 20
Écart type	3,73
Quartile inférieur	7.7/20
Médiane	10.4/20
Quartile supérieur	12.8/20
Écart interquartile	5,1

La réussite de l'épreuve de synthèse repose sur la *maîtrise d'un certain nombre de compétences liées au raisonnement scientifique, à l'esprit de synthèse et à la bonne communication* autour des notions. L'évaluation de ces compétences représente environ un tiers de la note globale ; leur maîtrise s'avère donc déterminante.

3. Compétences rédactionnelles

La maîtrise de ces compétences s'est avérée globalement plus homogène que celle des notions scientifiques. La majorité des candidats a présenté des compositions bien construites permettant l'obtention de l'essentiel des points sur ces items. Le jury note des problèmes de gestion du temps qui se traduisent par des déséquilibres marqués entre les différentes parties ou des fins de devoir rédigées dans la précipitation.

– Introduction

L'introduction permet aux candidats :

- de *présenter le sujet* en montrant qu'ils en ont *cerné les notions clés, il est attendu des définitions des termes du sujet ainsi que de ses éventuelles limites* ;
- d'*énoncer une problématique claire et explicite*, en ne se contentant pas d'une simple réécriture interrogative du sujet ;
- d'*annoncer le plan* qui permet de répondre à la problématique.

Cette année, le sujet proposé nécessitait de définir les termes « **protéines** » et « **ligands** », tout en explicitant leurs possibles « **interactions** ». Si les termes « interactions » et « protéines » étaient généralement correctement compris et définis, la notion de ligand a posé problème à certains candidats. Un ligand peut être défini comme une molécule se fixant de manière spécifique à une protéine, avec une certaine affinité, *via* des liaisons faibles. Cette définition nécessitait de faire appel entre autres, aux notions d'enzymologie, de signalisation cellulaire, d'échanges transmembranaires. Certains candidats ont choisi d'étudier les ligands au sens large, incluant les interactions protéines-protéines (réversibles ou durables) au sein des édifices supramoléculaires, évoquant par exemple les jonctions cellulaires ou les moteurs moléculaires. Ces notions ont été valorisées par le jury.

Si le hors sujet n'est pas pénalisé en tant que tel, les candidats ayant eu du mal à délimiter correctement le sujet se sont eux-mêmes pénalisés, n'ayant pas eu le temps d'en traiter tous les aspects. Quelques copies ont ainsi développé la synthèse des protéines en première partie, ce qui était hors sujet, si ce n'est au regard des interactions protéines-ligands intervenant dans ce processus, ou dans l'acquisition des différentes structures par la suite.

Certains candidats ont fait l'effort de commencer leur introduction par une accroche, parfois tout à fait pertinente (ex : CRISPR-Cas9). À l'inverse, d'autres ont eu recours à des accroches trop fantaisistes ou superficielles, qui n'apportaient pas de réelle valeur à l'introduction. Par ailleurs, le jury

regrette qu'un certain nombre de copies présentent en introduction un discours confus caractérisé par une accumulation de termes et d'expressions scientifiques sans articulation logique apparente. Des phrases excessivement longues rendent le propos difficile à suivre et ne permettent pas d'identifier clairement l'idée que le candidat souhaite développer. Il convient par ailleurs d'éviter les formulations vagues ou les généralités dépourvues de réelle portée scientifique, telles que les références au « bon fonctionnement des organismes » ou à la « vitalité du vivant », qui n'apportent pas d'information pertinente. Enfin, quelques introductions trop longues explicitaient des notions qui devaient être traitées dans le corps du développement (par exemple la réversibilité des interactions au niveau d'un site spécifique).

Après avoir délimité le sujet, les candidats doivent *amener la problématique de la manière la plus fluide possible*, nécessitant ainsi d'*avoir réfléchi au préalable à toutes les notions relatives au sujet, sur l'ensemble des programmes de 1^{re} et 2^e année*. De ce fait, il est conseillé de *rédiger l'introduction au brouillon après avoir réfléchi à un plan détaillé*. Certaines problématiques montrent une réflexion approfondie sur le sujet et se distinguent par leur perspicacité. En revanche, reformuler le sujet sous une forme interrogative ne consiste pas en une problématisation de ce dernier, et n'est donc pas satisfaisant.

L'annonce de plan a souvent suivi une logique « par fonctions ». S'ils mettent bien en évidence l'importance des interactions protéines-ligands dans le fonctionnement de l'organisme, ces plans ne permettent généralement pas de suffisamment développer les modalités moléculaires des interactions protéines-ligands.

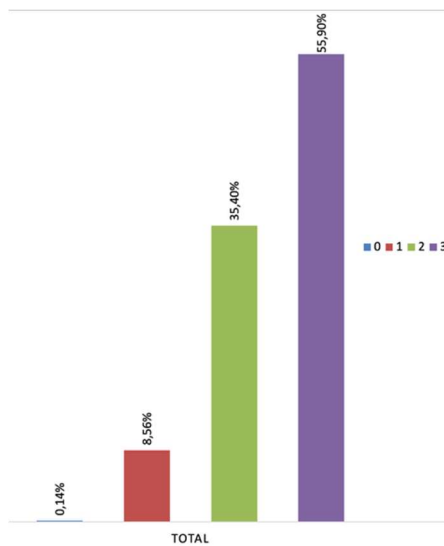
De manière générale, les candidats ont davantage soigné l'introduction que la conclusion. De rares copies ne respectent pas la structure de l'introduction, en omettant la problématique ou en n'annonçant pas le plan. Dans de très rares cas, la copie n'était constituée que d'une introduction, ce qui ne permet pas de répondre aux attentes de l'épreuve.

- **Conseils aux candidats :** l'introduction (et *a fortiori* le contenu de la synthèse) doit être préparée au brouillon en recensant les notions par différentes méthodes complémentaires : un remue-ménages (brainstorming, idées venant à l'esprit), un balayage du programme (noter les items des programmes de BCPST 1 et 2 en lien avec le sujet) puis un balayage des thématiques en s'interrogeant sur les grands domaines de la biologie (biochimie, génétique, physiologie, etc.), les échelles concernées (molécule, cellule, organisme, écosystème...), les groupes concernés ainsi que les fonctions impliquées.

Ce travail de recensement des notions s'effectue par un questionnaire comprenant les interrogations suivantes : qui ? (molécules, cellules, êtres vivants...), quoi ? (structures, processus, fonctions, etc.), où ? (compartiment cellulaire, cellule, tissu, organe, milieu de vie...), quand ? (durée, échelles de temps, limite dans le temps, période ou rythme, etc.), comment ? (modalités, mécanismes, étapes...), quelles causes ? (origine ou déterminisme, contrôle) et quelles conséquences ? (importances biologiques).

Au cours de ce questionnaire, il est également important d'implémenter, lorsque ceci est pertinent, des arguments (observation, expérience, lois, modélisation, etc.). La dimension démonstrative est au cœur des sciences expérimentales.

Le graphique ci-contre présente la répartition des évaluations concernant l'introduction. 0 pour non présent, 1 pour insuffisant, 2 pour satisfaisant et 3 pour très satisfaisant.



– Traitement de la problématique

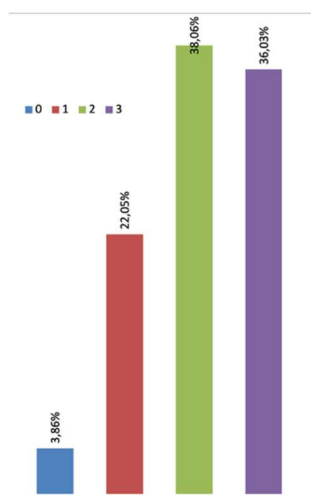
Les concepts et notions scientifiques traités dans le développement doivent être en accord à la fois avec le sujet, et avec la problématique, annoncée en introduction. Il est attendu que toutes *les grandes idées soient abordées* et que le candidat les *argumente quand il le juge pertinent*. Il n'est pas attendu que l'argumentation soit systématique, mais qu'elle soit présente un nombre de fois significatif dans le devoir. Le candidat doit ainsi montrer qu'il sait appuyer ses présentations sur quelques arguments bien choisis.

Un nombre remarquable de candidats ont bien su délimiter correctement le sujet, avec des problématiques pertinentes. Le jury remarque que les problématiques trop complexes, parfois en lien avec un désir d'originalité, amènent à des difficultés dans le développement. Une problématique du type « *Quelles modalités régissent les interactions protéines-ligands, quelles en sont les conséquences aux différentes échelles de l'organisme et comment ces interactions sont-elles contrôlées ?* » était par exemple suffisante.

Par la suite, le jury rappelle l'importance de toujours se référer à cette problématique dans la réponse au sujet. De façon générale, les candidats ont tendance à détailler des notions attendues sans pour autant établir un lien direct avec le sujet. Ainsi, de nombreux candidats terminent leurs paragraphes avec des conclusions telles que « les interactions protéines-ligands sont donc essentielles à... » à la suite d'une récitation de cours plus que d'une réelle mobilisation de connaissances. Il arrive également que des exemples tout à fait mobilisables dans ce sujet soient présentés, mais sans désignation explicite ni étude effective des interactions protéines-ligands mises en jeu, ce qui n'est alors pas valorisé. Le jury regrette ainsi que les connaissances soient trop souvent exposées sans être remises dans le contexte de la problématique. Pour cette session, une simple phrase précisant l'interaction mise en jeu dans la notion étudiée était souvent suffisante pour faire référence au sujet en début de paragraphe. De même, l'identification claire des interactions sur les schémas était un bon réflexe et a été valorisée.

- **Conseils aux candidats :** pour problématiser, il est conseillé de relier les structures et les processus étudiés à leurs fonctions. Un problème débute généralement par « comment » ou « quel ». Ensuite, les paragraphes et schémas doivent être produits de façon à répondre à la problématique en y faisant clairement référence.

Le graphique ci-dessous présente la répartition des évaluations concernant le traitement de la problématique. 0 pour non présent, 1 pour insuffisant, 2 pour satisfaisant et 3 pour très satisfaisant.



– Plan

L'épreuve de synthèse évalue la capacité des candidats à *présenter leurs connaissances de manière logique et organisée* selon un plan détaillé. Une progression claire est attendue et doit être

explicitée grâce à des *titres précis et pertinents, accompagnés de transitions logiques entre les différentes notions* abordées.

Si de rares copies n'annoncent aucun plan, une majorité d'entre elles a présenté des plans clairs et bien rédigés. Les titres des parties, dans le développement, étaient également bien construits et soignés. Toutefois, quelques copies présentent une disharmonie entre les annonces de plan dans l'introduction et les titres des parties du corps de la synthèse. Il est recommandé d'éviter les titres confus ou trop longs, voire qui reprennent intégralement une phrase proposée ensuite dans le paragraphe associé. De très rares copies n'ont pas de plan apparent, rendant le développement des idées difficile à suivre. Le jury a sanctionné ces copies.

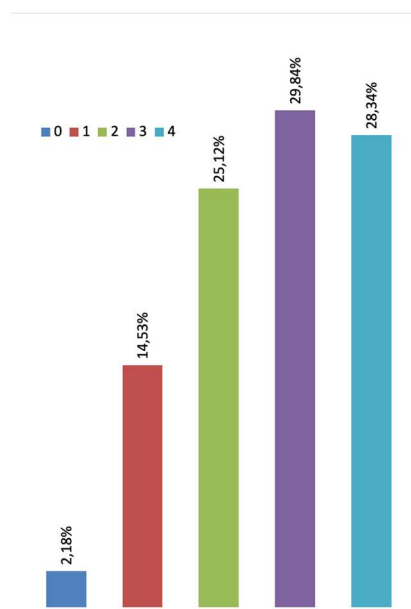
Un certain nombre de candidats a étudié en première partie les protéines, leur biosynthèse, leur structure, mais sans mettre en exergue les interactions protéines-ligands impliquées dans ces processus, perdant ainsi beaucoup de temps. Afin d'éviter tout hors sujet, il convient de rappeler que le sujet doit être traité dans chacune des parties de la synthèse.

Enfin, de nombreux plans sont centrés sur les fonctions et l'importance des interactions protéines-ligands au sein de l'organisme en omettant toutes notions biochimiques en jeu dans les interactions protéines-ligands.

- **Conseils aux candidats :** le plan doit mettre en lumière le raisonnement permettant de répondre au problème posé en amont. Plusieurs types de plans peuvent être choisis, parmi lesquels le plan classique (fondé sur la démarche scientifique avec mise en évidence, mécanismes et conséquences), le plan par fonctions, le plan comparatif, le plan par échelles, le plan chronologique ou encore le plan écologique (spécifique aux sujets traitant d'un milieu de vie ou écosystème). Il peut parfois être approprié d'utiliser différents types de plan.

Le jury accepte tous les plans logiques, ainsi il était possible de traiter d'abord des modalités des interactions protéines-ligands, avant d'aborder les grandes fonctions dans lesquelles interviennent ces interactions, ainsi que les contrôles associés.

Le graphique suivant présente la répartition des évaluations concernant le plan. 0 pour non présent, 1 pour insuffisant à 4 pour très satisfaisant.



– Construction des paragraphes

Toutes les *sous-parties doivent être articulées en paragraphes élaborés autour d'une idée clé*. Un paragraphe correctement construit comporte une *description précise de la notion abordée* et se doit d'apporter un *élément de réponse à la problématique*. Ceci peut éventuellement reposer sur une argumentation appuyée par des données scientifiques (observation, expérience, lois, modélisation, etc.) et/ou un exemple concis. Le paragraphe prend la forme d'un texte qui peut être *accompagné d'un*

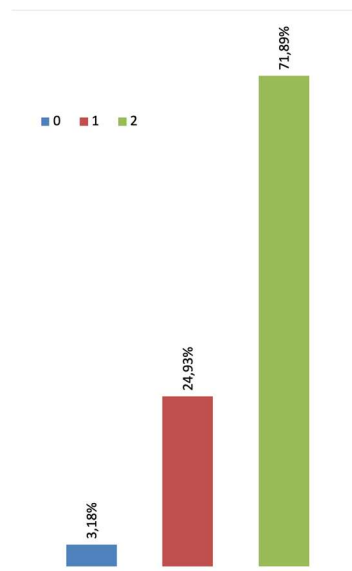
schéma fonctionnel s'il apporte des informations complémentaires ou s'il permet une meilleure compréhension des mécanismes présentés. La bonne construction d'un paragraphe permet de guider le jury dans les raisonnements scientifiques adoptés, et ainsi éviter une simple récitation de cours.

Le jury souligne l'importance de construire un paragraphe autour d'une idée clé et non autour d'un exemple ou d'un argument isolé, relié à une idée présentée dans un autre paragraphe. Il est recommandé de faire *des liens utiles avec des mécanismes biologiques explicitement détaillés* et non de se contenter d'une simple description de l'exemple. On rappelle aussi que si le candidat souhaite donner un argument, un *seul exemple est généralement suffisant pour étayer une notion*. Certains candidats perdent ainsi du temps à développer plusieurs exemples se rapportant à une même notion, ce qui ne permet pas de gagner de points supplémentaires et souligne un certain manque d'esprit de synthèse. Enfin, certains candidats ne font pas suffisamment de schémas dans leur développement, ou présentent des schémas incomplets qui n'apportent aucune valeur ajoutée au texte. *Le schéma est un moyen de communication qui accompagne l'explication*.

Cette année, le jury a souvent observé une dégradation de la qualité des paragraphes au fur et à mesure de l'avancement dans la copie. Pour certaines, les schémas n'ont pas pu être réalisés bien que le candidat ait laissé la place ; pour d'autres, au contraire, il s'agissait de schémas présentés en fin de copie et sans aucune explication. Il est difficile alors de pleinement valoriser ce travail qui a mobilisé du temps pendant l'épreuve. Un schéma doit être suffisamment explicatif, précis, relié au sujet, et accompagné de quelques phrases délimitant le contexte, pour se voir attribuer l'entièreté des points sur une notion donnée. Par ailleurs, il ne suffit pas d'évoquer une notion pour que les points soient attribués : certains candidats inscrivent un ensemble de mots clés faisant référence à des notions du sujet sans développement, ce qui ne peut être valorisé.

- **Conseils aux candidats :** présenter un ensemble homogène de notions dans un même paragraphe et ne pas hésiter à diviser les sous-parties si nécessaire. Bien penser aux transitions et aux connecteurs logiques entre les idées pour rendre fluide la lecture et ainsi montrer la pertinence du raisonnement répondant à la problématique.

Le graphique suivant présente la répartition des évaluations concernant la construction des paragraphes. 0 pour insuffisant à 2 pour très satisfaisant.



– Conclusion

La conclusion a pour objectif de rappeler de manière concise en quoi le développement argumenté a permis de répondre à la problématique. Pour cela, il est attendu un *rappel synthétique*, et *articulé de manière cohérente, de différents points clés en lien avec le sujet*. Le bilan doit être aussi complété par une *ouverture pertinente, toujours en lien avec le sujet*.

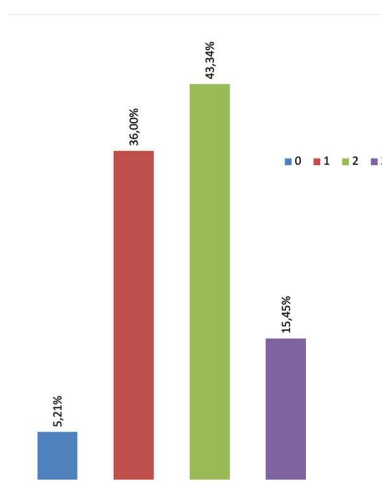
Certains candidats ont réalisé une conclusion à l'avance et l'ont retranscrite à la fin de l'épreuve. Cette stratégie est plutôt efficace, en veillant toutefois à ce que la conclusion ne soit pas une redite de l'introduction. Cependant, la majorité des candidats s'est contentée d'une conclusion trop

courte, résumant chaque paragraphe sans répondre à la problématique posée, voire d'un bilan superficiel qui ne répondait pas à la problématique du sujet. Par ailleurs, la conclusion ne s'apparente pas à une redite des titres de chacune des grandes parties et n'est pas non plus un prolongement de la dernière partie. Les conclusions rédigées en fin d'épreuve et sans doute dans une certaine précipitation amène des candidats à des redites ou à des ouvertures étonnantes en proposant par exemple d'étudier les modalités des interactions protéines-ligands.

Ces défauts rédactionnels sont aggravés par une mauvaise gestion du temps de certains candidats.

- **Conseils aux candidats :** pour synthétiser les paragraphes sans les réécrire, penser au fil conducteur qui a servi à amener ces derniers, avant même leur contenu, pour prendre du recul vis-à-vis du sujet. Quant à l'ouverture, elle doit s'appuyer sur un fait, une idée, parfois un détail traité dans le sujet pour mener à un sujet connexe. Par exemple, certaines ouvertures proposaient pour ce sujet des perspectives intéressantes sur l'utilisation des interactions protéines-ligands dans diverses techniques de laboratoire, ou sur le rôle central des interactions protéines-ligands dans le développement de certaines maladies.
Le jury conseille de veiller à garder du temps pour rédiger une conclusion permettant de mettre en avant une réflexion personnelle sur le sujet.

Le graphique suivant présente la répartition des évaluations concernant la conclusion. 0 pour non présent, 1 pour insuffisant, 2 pour satisfaisant et 3 pour très satisfaisant.



– Argumentation scientifique

Certains candidats ont exposé des expériences et observations pertinentes et les ont exploitées astucieusement. On rappelle ici que l'argumentation n'a pas à être systématique, mais qu'elle est attendue un nombre de fois significatif quand le candidat le juge utile et possible en fonction de ses connaissances et de ce qui est développé. Les notions étayées peuvent ainsi reposer sur des expériences historiques, des observations issues de séances de travaux pratiques, de résultats expérimentaux, de chiffres précis, d'exemples illustrés. Les SVT s'appuient sur des faits observables et vérifiables, et cela doit transparaître au cours de la synthèse qui ne doit pas se contenter d'être un simple inventaire de connaissances théoriques, sans lien avec la façon dont ces connaissances sont étayées.

Le jury attendait au moins une argumentation adossée à un concept pour atteindre le niveau « satisfaisant » et deux pour remplir le niveau « complet ». *Il ne s'agit donc pas d'argumenter de façon systématique*, mais de le faire *quand cela paraît pertinent*. Une argumentation peut, le cas échéant, s'articuler avec un recul critique.

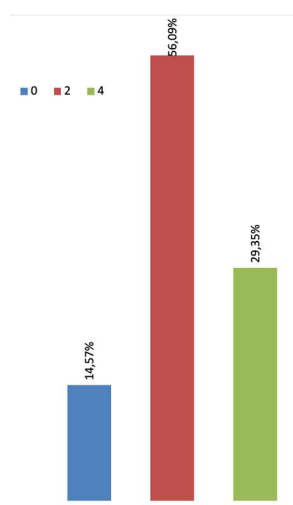
Si le jury note cette année des efforts de la part des candidats dans l'utilisation d'une argumentation scientifique pour appuyer leurs propos, celle-ci est encore totalement absente sur de nombreuses copies ou n'est pas recevable. Certains candidats se limitent à des formulations vagues, telles que « des expériences ont montré que... » sans développer une véritable argumentation scientifique. Il ne suffit pas de citer un argument, il convient de le mettre en relation avec ce qu'il

montre, éventuellement de décrire le protocole si cela est utile, de donner les résultats obtenus, en lien avec le sujet. Il est par ailleurs vivement déconseillé d'inventer des expériences sans s'interroger sur leur faisabilité. De même, citer une expérience historique sans explication ni développement n'est pas valorisé. Certains arguments mettent aussi en évidence une mauvaise compréhension des techniques de laboratoire par les candidats (chromatographie d'affinité, retard sur gel...).

Ainsi, les candidats valorisés proposent une réelle *argumentation des notions abordées à partir d'expériences, de liens de causalité ou de corrélation, de mises en relation entre données empiriques et modèles théoriques*. Paradoxalement, quelques copies font mention de nombreux arguments scientifiques pertinents qui finalement occupent un temps précieux pour le développement d'autres aspects. Ainsi, il est important de rappeler encore que le jury ne demande pas d'argumenter chaque notion, mais de le faire 2 à 3 fois lorsque ceci s'y prête le mieux. Par ailleurs, la présentation des arguments par un code couleur a pu être appréciée.

- **Conseils aux candidats :** identifier les notions qui peuvent être étayées et donc argumentées en exploitant des expériences pratiquées ou étudiées durant les deux années de formation, par des observations réalisées, des modélisations. Choisir, parmi les concepts exposés, ceux qui sont à argumenter. Cela n'est pas à conduire systématiquement, le jury recherche un petit nombre de notions étayées de façon pertinente. Dans le cadre de ce sujet, l'expérience d'Anfinsen a été présentée par de nombreux candidats, et certains ont su l'exploiter à bon escient. Pour d'autres, la distinction entre ponts disulfures et liaisons faibles n'est pas toujours maîtrisée, et le principe permettant de déterminer l'importance relative de ces deux types de liaisons dans la structure protéique est rarement compris.

Le graphique suivant présente la répartition des évaluations concernant l'argumentation scientifique. 0 pour non présent, 2 pour suffisant, et 4 pour satisfaisant. Cette année, le pourcentage de candidats qui argumentent de manière suffisante et satisfaisante atteint 85 %.



– Communication rédigée

La capacité des candidats à communiquer des informations par écrit est évaluée lors de l'épreuve de synthèse. Cette compétence passe par l'*utilisation de termes scientifiques précis*, par une *expression claire* ainsi qu'une *maîtrise de l'orthographe, de la grammaire et de la syntaxe*. Le jury apprécie toujours le soin apporté pour mettre en valeur les titres et certains mots-clés (avec parcimonie bien sûr).

La communication repose en partie sur une *rigoureuse maîtrise du vocabulaire scientifique*. Quelques confusions de formulation ont fréquemment émaillé les copies. De plus, le jury note un manque de soin porté à la rédaction et en particulier à l'orthographe : il est important que les candidats maîtrisent le vocabulaire scientifique, d'autant plus lorsque celui-ci est un terme du sujet. Le jury regrette ainsi les trop nombreux « interaction », « interrraction » ou encore « liguand ». Le jury relève également de nombreuses fautes d'accord et de conjugaison, voire l'oubli de mots entiers, ce qui rend

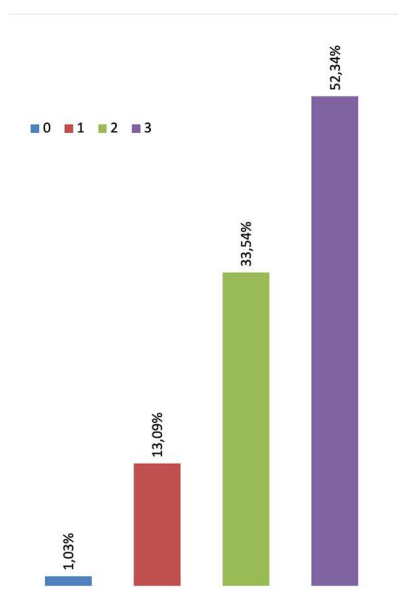
la lecture difficile et parfois incompréhensible. Une expression écrite peu soignée pénalise ainsi le candidat dont le travail ne peut être apprécié à sa juste valeur.

Le jury note aussi de nombreuses tournures de phrase finalistes. Il est rappelé que ces dernières (« les protéines doivent... », « les ligands ont besoin de... », etc.) sont à bannir d'un exposé scientifique rigoureux. De même, l'utilisation de « pour » est très récurrente ; le jury préconise l'écriture de « permet de » comme alternative scientifiquement correcte. Par ailleurs, le jury recommande l'utilisation de tournures de phrases simples et concises, conjuguées au présent, détaillant factuellement les notions scientifiques. L'utilisation du futur proche est ainsi à proscrire (« La protéine va lier/va pouvoir lier... »). Enfin, l'emploi d'expressions très vagues et finalement non informatives telles que « le bon fonctionnement des cellules/organismes », « importance majeure », ou « a une influence sur », n'apporte rien au discours et n'est donc pas valorisable.

Il est important de rappeler que *l'utilisation abusive d'abréviations et de sigles non explicités contribue à une dégradation de la qualité rédactionnelle*. Cela est sans doute à mettre en lien avec des difficultés de gestion du temps.

- **Conseils aux candidats :** en complément des consignes générales transmises, le jury rappelle l'importance de ne **pas utiliser de stylo ou crayon fin**, générant des tracés qui ressortent mal lors de la numérisation de la copie.

Le graphique suivant présente la répartition des évaluations concernant la communication rédigée. 0 pour insuffisant, à 3 pour très satisfaisant.



– Communication graphique

Lors d'une épreuve de synthèse, les *schémas doivent contribuer à expliciter des aspects complexes de manière claire, rapide et précise*, et permettre ainsi de gagner du temps dans le traitement du sujet. Un schéma utile *apporte des idées et des informations ne pouvant pas être retranscrites aussi efficacement par du texte*, et doit toujours être accompagné d'un titre, de légendes, d'une orientation et/ou d'une échelle. Le jury rappelle que les schémas se doivent d'être fonctionnels, rattachés à une idée/un exemple précis, suffisamment détaillé et qu'ils soient **en relation avec le sujet**. Par exemple, le jury regrette que de nombreuses copies se trompent d'échelle de représentation (présenter le fonctionnement de l'entérocyte sans insister sur GLUT ou SGLT ; représenter les échanges de dioxygène à l'échelle poumon/sang/hématie sans détailler la fixation sur l'hémoglobine...). De plus, le jury attend que les schémas soient explicites, autrement dit que les codes employés (signification des flèches, des couleurs, des symboles utilisés, etc.) soient bien précisés pour faciliter leur lecture. Les légendes sont à expliciter, même s'il s'agit de conventions qui semblent évidentes. Il en est de même pour les abréviations.

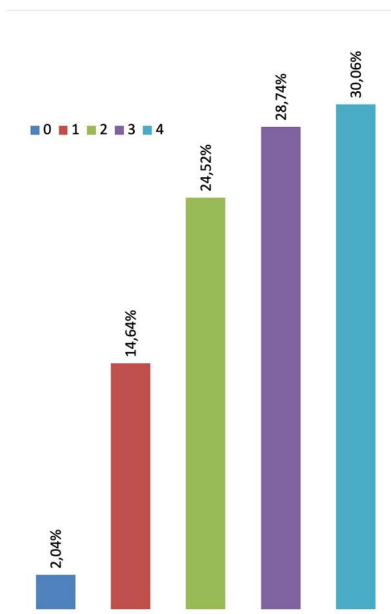
Un schéma inspiré directement du cours, et non adapté au sujet, est rarement suffisant et pertinent.

Certaines copies numérotent les figures, et y font référence plusieurs fois au cours du développement. Le jury apprécie cette organisation, qui peut représenter un gain de temps non négligeable pour le candidat en faisant apparaître plusieurs notions clés sur un même schéma.

Si le support graphique permet d'illustrer certaines notions de manière satisfaisante, le jury attire l'attention des candidats sur le fait qu'une partie du développement ne peut en aucun cas se résumer à un schéma sans aucune explication textuelle. Face à un schéma, le jury n'a pas à chercher les informations et supposer que le candidat ait compris l'ensemble des notions reliées à celui-ci. De ce fait, des explications restent nécessaires pour apporter un contexte et comprendre ce que le candidat souhaite illustrer. À l'inverse, le jury note cette année que seules de rares copies ne présentant aucune illustration.

- **Conseils aux candidats :** pour éviter tout désagrément à la suite de la numérisation des copies, il est rappelé que les **schémas doivent comporter des traits clairement distinguables et des couleurs variées (en évitant les couleurs trop claires) pour bien les différencier**, surtout lorsque la légende est d'importance capitale.

Le graphique suivant présente la répartition des évaluations concernant la communication graphique. 0 pour insuffisant, à 4 pour très satisfaisant



– Utilisation du formulaire

La mise à disposition du formulaire représentait une nouveauté pour l'épreuve de synthèse de cette session. Le jury regrette que celui-ci n'ait été que très peu utilisé, et rarement de façon pertinente. Certains candidats s'en sont servi en début de rédaction, afin de présenter les caractéristiques des radicaux de certains acides aminés, sans qu'aucun lien avec les interactions protéines-ligands ne soit mis en évidence, ce qui n'a pas pu être valorisé. Le jury rappelle à nouveau que toute notion abordée dans la rédaction doit se référer au sujet et être développée au regard de celui-ci. D'autre part, des formules d'acides aminés ont été utilisées pour détailler des exemples fantaisistes et inventés de liaisons entre protéines et ligands. Pour les prochaines sessions, le jury recommande une utilisation raisonnée du formulaire, au service de l'argumentation et en lien direct avec la problématique traitée.

4. Points d'attention sur le sujet et commentaires

Le jury rappelle que les notions évaluées se limitent strictement au programme des classes de BCPST 1 et 2. Parmi les grands concepts, les points suivants étaient attendus :

- **Importance de la structure tridimensionnelle de la protéine dans l'aménagement d'un site d'interaction**

Le jury attendait que les candidats relient la structure tridimensionnelle des protéines à la formation d'un site d'interaction avec le ligand. Les meilleures copies ont montré que les propriétés physico-chimiques de la liaison peptidique et des chaînes latérales des acides aminés permettent l'acquisition d'une structure secondaire, tertiaire voire quaternaire, et que cette organisation spatiale rapproche des résidus, parfois éloignés dans la structure primaire, afin de constituer un site de liaison.

De nombreux candidats ont cité des expériences de dénaturation/renaturation (expérience d'Anfinsen sur le repliement des protéines) pour montrer l'importance de la conformation tridimensionnelle d'une protéine dans la reconnaissance d'un ligand.

Toutefois ce point a été rarement développé par les candidats de façon satisfaisante. De nombreuses copies décrivent les niveaux de structure des protéines sans faire de lien avec le sujet.

Des confusions fréquentes ont été relevées sur les niveaux de structure (hélices α et feuillets β associés à la structure tertiaire, structure secondaire assimilée à la succession des acides aminés, etc.), ainsi que sur la nature de la liaison peptidique, voire d'une orientation 5'→3' des protéines. Des confusions sont également relevées où les candidats confondent structure quaternaire et interaction obligatoire avec un ligand.

Enfin, l'interaction protéine-ligand est souvent réduite au site actif enzymatique.

- **Interaction réversible au niveau d'un site spécifique**

Les notions d'affinité et de spécificité ont fréquemment été citées sans explication, parfois confondues ou utilisées comme des synonymes. Un lien clair entre affinité, spécificité et conformation tridimensionnelle du site ainsi que la nature et les propriétés des acides aminés du site était attendu.

Les candidats connaissent généralement des exemples très précis (par exemple l'hexokinase) permettant de détailler une complémentarité stéréochimique et physico-chimique entre le ligand et le site d'interaction (enzyme, transporteur, hémoglobine ou autre).

La mise en évidence expérimentale d'interactions protéines-ligands au niveau d'un site spécifique a régulièrement été illustrée par l'exploitation de courbes de saturation ou de cinétiques saturables. Cependant, ces courbes de saturation sont parfois mal maîtrisées, avec par exemple le temps porté en abscisse.

Les interactions faibles impliquées dans les interactions protéines-ligands (liaisons hydrogène, interactions ioniques, interactions de van der Waals, effet hydrophobe) ont souvent été oubliées. De nombreuses confusions persistent entre liaisons faibles et fortes ; certains candidats considèrent les ponts disulfures comme des interactions faibles. Le jury rappelle que ces interactions impliquent majoritairement les chaînes latérales des acides aminés constituant le site de liaison ; les interactions protéines-ligands sont régulièrement attribuées aux fonctions CO/NH de la liaison peptidique plutôt qu'aux radicaux des acides aminés.

La réversibilité des interactions protéines-ligands n'a été que rarement abordée. Ce point était nécessaire pour mettre en avant l'aspect dynamique des interactions protéines-ligands.

- **Allostérie**

La notion d'allostérie est bien présentée par un petit nombre de candidats. De nombreuses copies présentent l'hémoglobine comme une « enzyme allostérique », révélant une confusion entre enzyme et protéine allostérique. Le jury a également relevé de fréquentes confusions entre ajustement induit et allostérie : une modification locale de conformation lors de la fixation du ligand ne constitue pas un phénomène allostérique si elle n'affecte pas un autre site distant de la protéine.

Les meilleures copies ont su distinguer effets homotropes et hétéotropes et mobiliser des exemples variés de protéines allostériques telle que l'enzyme PFK1.

- **Applications des interactions protéine-ligand**

Ce sujet était l'occasion pour les candidats de proposer des liens concrets d'applications en biotechnologies des interactions protéine-ligand : purification par chromatographie d'affinité, immunomarquage, ... Cette notion a souvent été développée en introduction ou en ouverture, ce que le jury a valorisé.

- **L'interaction enzyme — substrat et la catalyse**

- Catalyse enzymatique et formation d'un complexe enzyme-substrat

Le jury attendait ici que la structure tridimensionnelle du site actif soit mise en relation avec la spécificité de substrat et de réaction. De trop rares copies ont mis en évidence le rôle des acides aminés dans la fixation du substrat et / ou dans la catalyse. Quelques candidats avaient un recul suffisant sur le fait que les enzymes ne sont pas impliquées uniquement dans le catabolisme.

- Facteurs modifiant l'interaction E-S et l'activité enzymatique

Les différents facteurs (quantité d'enzymes, conditions physico-chimiques, modifications covalentes) ont été très rarement abordés.

- **L'interaction enzyme — effecteur et le contrôle enzymatique**

Les effecteurs pouvaient être abordés à divers moments, car en lien avec plusieurs autres notions attendues. Des candidats ont choisi de traiter ce point avec des illustrations « rapides » mettant en évidence l'interaction entre l'effecteur et l'enzyme. Ces choix ont été valorisés, ils permettaient de traiter rapidement et efficacement cette notion.

Le jury relève toutefois de très nombreuses confusions sur les conséquences de la fixation d'inhibiteurs compétitifs et non compétitifs.

- **L'interaction récepteur — messenger chimique et la transduction**

La majorité des candidats a présenté un ligand et son récepteur. Toutefois le lien entre la nature protéique du récepteur et sa fonction est souvent manquant et la voie de transduction associée présente souvent des erreurs. Cette notion pouvait être abordée là encore à divers moments et permettait au candidat de mettre en avant l'exemple qu'il maîtrisait le mieux (transduction et intervention d'autres interactions protéines-ligands, récepteurs intracellulaires, neurotransmetteur...)

Le jury note qu'il y a parfois une confusion dans la nature des neurotransmetteurs ou des hormones.

- **L'interaction transporteur — soluté et les échanges transmembranaires**

Cette notion a été souvent oubliée ou traitée sommairement, le jury attendait un lien avec le potentiel électrochimique du ligand transporté. C'était aussi l'occasion de mettre en évidence la nature protéique du transporteur par son plateau de saturation. Le jury relève de très nombreuses confusions entre les différents transporteurs, notamment entre SGLT et Na⁺-K⁺ ATPase.

- **Les interactions acides nucléiques — protéines**

À l'inverse de la présence de hors sujet trop fréquent sur le fonctionnement général de la transcription et la traduction, les interactions spécifiques entre acides nucléiques et protéines ont été très rarement évoqués. Le jury souhaitait trouver un développement sur la spécificité ou non de ces interactions (séquences spécifiques...). Ce pouvait être aussi l'occasion pour les candidats de discuter de l'importance de ces interactions dans le contrôle de la transcription.

Le jury rappelle que la complémentarité des bases azotées (y compris codon/anticodon), importante lors de la réplication/transcription (/traduction) n'est pas une interaction protéine-ligand.

- **L'interaction hémoglobine — O₂**

Cette notion a été souvent traitée, et était l'occasion de présenter plusieurs idées attendues, notamment en termes de modalité moléculaire de l'interaction, d'allostéries, et de contrôles de l'interaction. Ces niveaux sont toutefois rarement tous bien traités, la courbe de saturation et le lien structure fonction (fixation ou relargage selon les conditions) sont rarement présents. Les candidats ayant pris la peine d'illustrer sans erreur l'influence des ligands et paramètres physico-chimiques ont été valorisés.

- **Importance biologique des interactions protéine — ligand et conséquences dans les grandes fonctions et à différentes échelles (développement...)**

Le lien avec les grandes fonctions a été souvent abordé, toutefois les plans par grandes fonctions permettaient rarement un traitement exhaustif du sujet (voir partie « Plan »). L'importance de ces interactions au cours du développement a été souvent oubliée.

- **Interactions protéines — protéines réversibles ou durables, dans des édifices supramoléculaires...**

D'autres types d'interactions ont été valorisées par le jury comme les rôles des interactions protéines-ligands dans les relations interspécifiques (dialogue moléculaire pluricellulaire — microorganisme) : par exemple dans les cas des symbioses (mycorhize, Fabacées/Rhizobium) ou du parasitisme (plasmodium). Toutefois les interactions ZP1/2/3 et les récepteurs associés ont souvent été présentés de façon confuse.