

Banque BCPST Inter-ENS/ENPC - Session 2020

Rapport du jury sur l'épreuve d'admission de physique

Écoles concernées : ENS Paris, ENS de Lyon, ENS Paris-Saclay, ENPC

Membres du jury : M. Castelnovo, T. Morel, A. Raoux, C. Winisdoerffer

Coefficients (en % du total d'admission) :

- ENS Paris : 15 %
- ENS Lyon : Option Bio 11,8 % — Option ST 13,7 %
- ENS Paris-Saclay : 10,2 %
- ENPC : 17,5 %

Informations statistiques sur l'épreuve

- Nombre de candidats inscrits : 815
- Nombre de candidats présents : 624
- Moyenne de l'épreuve : 8,52
- Écart-type : 3,58
- Notes supérieures ou égales à 14 : 7,85 %
- Note minimale : 1,50
- Note maximale : 20

Présentation du sujet

Le sujet de physique de la session 2020 du concours BCPST était intitulé « À propos de la nage des bactéries ». Il était composé de trois parties indépendantes, dans lesquelles la difficulté des questions allait de façon croissante. Ces parties ont permis de tester les connaissances et compétences des candidats sur de nombreuses thématiques du programme, dont les phénomènes de diffusion, la mécanique des fluides et la mécanique du point. La troisième partie proposait également une approche probabiliste, en accord avec l'apparition récente des probabilités en CPGE.

La première partie étudiait le mécanisme diffusif de récupération des nutriments, et l'influence des flagelles sur le mélange du milieu nutritif et l'apport en nutriments. Les applications numériques permettaient de montrer que les flagelles ont un rôle négligeable dans la fonction d'apport des nutriments. La seconde partie, la plus longue et la plus technique, étudiait la dynamique de la nage des bactéries, d'abord passive via la sédimentation, puis active grâce à la propulsion des flagelles. Enfin, la dernière partie étudiait les mécanismes physico-chimiques de collecte de nutriments, ainsi que l'intérêt d'un mouvement de *run and tumble* (« course et culbute ») pour optimiser cette collecte.

Erreurs d'énoncé

Sur la Fig. 5 présentant les coordonnées sphériques, les vecteurs unitaires \vec{e}_θ et \vec{e}_φ étaient mal placés. De plus, une erreur s'est glissée à l'équation (24) : à la place de $\frac{\Delta c_T}{c} = \sqrt{\frac{2}{k^2 T}}$ il fallait lire $\frac{\Delta c_T}{c} = \sqrt{\frac{2}{k^2 T p}}$. La version publiée du sujet met en évidence les deux corrections.

Remarques et commentaires du jury

Au regard de l'ensemble des copies des candidats, le jury a cette année été surpris du niveau en physique des candidats. Non seulement très peu de candidats ont réellement compris l'enjeu du sujet, mais une très grande majorité a montré des lacunes importantes à la fois dans les connaissances thématiques et transversales attendues d'un élève de BCPST. Si une maîtrise inégale des domaines de la physique n'est pas imputable aux candidats, le jury a remarqué une incompréhension et une méconnaissance des outils élémentaires de la physique, comme la notion de dimension, l'utilisation des vecteurs et des projections selon des axes fixes, la notion de comparaison entre deux grandeurs de même dimension, etc. Ci-dessous sont détaillés des points précis permettant aux futurs candidats d'aborder l'épreuve de physique bien préparés.

Notions de cours et exemples classiques

Les questions de cours ont été globalement bien traitées, la loi de Fick et la définition du nombre de Reynolds sont bien connues. Cependant, une large majorité des candidats a vite éprouvé des difficultés sur des situations d'application directe du cours, que ce soit pour la diffusion libre en géométrie sphérique ou l'application de la seconde loi de Newton en présence de la poussée d'Archimède. Il est choquant que des notions qui ont manifestement déjà été vues précédemment par les candidats soient si mal traitées dans les copies. Le jury rappelle qu'un nombre conséquent de points est attribué dans chaque sujet aux questions de cours et à des applications directes.

Dimensions et analyse dimensionnelle

Plusieurs questions (dont les 1 et 22) demandaient explicitement au candidat une étude de dimensions de grandeurs ou d'unités. Si la distinction entre unité et dimension ne semble pas acquise pour la grande majorité des candidats (les candidats répondaient quasi-systématiquement « $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ » pour la dimension de λ), ces questions ont été dans l'ensemble bien traitées, preuve que les candidats maîtrisent l'analyse dimensionnelle. De plus, ils et elles n'hésitent pas à proposer des formules par analyse dimensionnelle lorsqu'une dérivation formelle leur échappe.

Cependant, en dehors des questions dédiées explicitement aux dimensions, les candidats n'ont pas le réflexe de tester l'homogénéité de leurs autres résultats finaux. Une vérification systématique permettrait pourtant de repérer rapidement des erreurs grossières, pour ainsi récupérer un grand nombre de points. Le jury fait preuve de plus de clémence si l'oubli concerne un préfacteur sans dimension plutôt qu'une grandeur dimensionnée.

L'homogénéité doit être vérifiée dans les équations, mais également dans les inéquations. De nombreux candidats comparent sans sourciller $\vec{v} \cdot \text{grad} \vec{v}$ avec η , ou encore v avec η pour justifier que la convection est plus faible que la diffusion. De même, on voit souvent des comparaisons entre v et le laplacien Δv , ou $c(z)$ avec $\partial_z c$, preuve que les candidats n'ont pas assimilé la différence d'homogénéité entre une fonction et sa dérivée.

Enfin, en discutant de la valeur d'une grandeur physique, trop de candidats discutent d'une valeur de façon absolue et déconnectée. Les justifications absolues telles que « l'eau n'est pas assez visqueuse », « l'écoulement est très lent », ou encore « le rayon doit être ni trop grand, ni trop petit » ne rapportent jamais de points, et doivent absolument être bannies. Pour commenter une valeur, les candidats doivent systématiquement la comparer à une autre valeur typique. Un temps « très court » de l'ordre de 10^{-7} s est petit devant le temps de vie d'une étoile, mais très grand devant la durée d'une impulsion laser femtoseconde. Les candidats prendront garde à ne jamais commenter dans l'absolu, mais toujours relativement à une autre grandeur.

Vecteurs et orientations

Les notations vectorielles sont systématiquement malmenées par les candidats, qu'il s'agisse des candidats les plus performants ou les moins aguerris. Le jury rappelle qu'un vecteur n'est jamais homogène à un scalaire, et au même titre, il n'est pas possible d'additionner scalaire et vecteur. Cette négligence des candidats face aux équations vectorielles est un fléau qui les sanctionne directement (l'équation n'est pas homogène), mais aussi indirectement : si on remplace $\vec{g} \rightarrow g$, on perd le signe de la projection $\vec{g} = -g\vec{e}_z$ et toute la suite en pâtit. Il est attendu des candidats aux concours de CPGE qu'ils et elles fassent preuve de rigueur mathématique sur ce point.

La question 17 a étonnamment posé des problèmes à de nombreux candidats. Si l'expression de la poussée d'Archimède est globalement acquise, c'est dans la projection du vecteur vitesse que des points ont été perdus. Lorsqu'on cherche la composante d'un vecteur inconnu, il est toujours plus sûr d'utiliser la base proposée dans l'énoncé pour la projection (ici $\vec{v} = v_z\vec{e}_z$) quitte à avoir des quantités algébriques (en l'occurrence $v_z < 0$). Les candidats ayant choisi de poser $\vec{v} = -v\vec{e}_z$ ont très souvent fait des erreurs de signes par la suite.

Pour les premières questions du sujet (3 à 11), l'énoncé a fait le choix d'une convention différente de celle habituellement utilisée : le flux était choisi entrant dans la bactérie. Ce choix est motivé par la volonté de manipuler une grandeur positive. Bien que cette information était écrite en gras dans l'énoncé, il semble que l'écrasante majorité des candidats n'ait pas lu cette information, et ait ainsi obtenu un résultat aberrant avec $c(r) > c_\infty$ (alors que la bactérie consomme des nutriments) lors de la résolution de la question 5, bloquant alors toutes les questions suivantes. Nous invitons les candidats à lire attentivement l'énoncé, et ne pas hésiter à revenir dessus si un résultat manifestement faux est obtenu. Si une bactérie consomme des nutriments, leur concentration à proximité de la bactérie est très probablement plus faible qu'à l'infini.

Outils mathématiques

Le jury a apprécié que certaines méthodes mathématiques apparaissent maîtrisées par les candidats, comme la résolution d'une équation différentielle d'ordre 1 avec second membre, ou l'intégration d'une équation aux variables séparables. La partie III a été en moyenne bien réussie, les candidats sachant manipuler espérances et calculs de probabilités.

Il est surprenant que si certains candidats arrivent à dériver un vecteur à la question 33, presque aucun ne sait normaliser un vecteur.

Plus regrettable, l'opérateur gradient n'est pas compris de la majorité des candidats. Seuls de très rares candidats ont réussi à écrire $\rho\vec{g} = \text{grad}(-\rho gz)$ à la question 14, alors même que certains connaissaient la démonstration très technique (et non demandée) de la relation de la statique des fluides.

Le jury tient à rappeler à de nombreux candidats que la surface d'une sphère de rayon R vaut $4\pi R^2$, et son volume intérieur $\frac{4}{3}\pi R^3$. Ces formules élémentaires sont indispensables en géométrie sphérique et ne sont pas rappelées en début d'énoncé.

Applications numériques

Les questions d'application numérique, surtout pour une épreuve sans calculatrice peuvent rapporter de précieux points. Par essence, il n'est pas demandé le résultat « exact », et le candidat a toute liberté pour faire des approximations gardant le résultat final dans une marge de 10% d'erreur. Le jury rappelle qu'un résultat final doit toujours se présenter sous forme d'écriture scientifique. On bannira par exemple les résultats sous forme de fractions comme $\frac{23}{47} \cdot 10^5$ au profit d'une approximation $\frac{23}{47} \cdot 10^5 \approx \frac{23}{46} \cdot 10^5 = 5 \cdot 10^4$.

Les candidats veilleront à ne pas aller trop vite lors de simplifications. Une fraction substantielle des candidats ont plusieurs fois simplifié $\frac{10^3}{10^{-3}} = 1$, ratant ainsi la question et potentiellement les suivantes.

Schémas

Le jury a été stupéfait par certains candidats prenant pour représentation *exacte* la figure 4. On attend des candidats de BCPST qu'ils fassent la différence entre un « schéma » et un « dessin d'observation ». Ainsi, à la question 27 il n'était pas question de compter explicitement le nombre de tours fait par l'hélice d'un flagelle *schématisé* sur la figure 4, mais d'utiliser les grandeurs introduites : ℓ_f et Λ .

Schématiser une situation est essentiel à la bonne compréhension du problème posé. Les copies ayant obtenu le plus de points ont toujours fait des schémas : comprendre les orientations des vecteurs, faire un bilan des forces, repérer des angles, etc. Nous conseillons vivement aux futurs candidats de prendre cette habitude.

Enfin, lorsqu'un schéma est explicitement demandé, il est attendu un soin particulier pour sa réalisation. À la question 35, était par exemple attendu un schéma présentant l'écoulement de part et d'autre de la bille, ainsi qu'une orientation du champ de vitesse.