

**Composition de Physique B, Filière PC  
(XELC)**

La composition de physique B comportait cette année deux parties totalement indépendantes sur des thématiques bien distinctes, faisant toutes les deux la part belle à l'analyse d'observations expérimentales et aux ordres de grandeur. Cette composition réduit les calculs au strict minimum, respectant ainsi l'esprit du nouveau programme de physique des classes préparatoires en section PC.

La première partie, mobilisant des connaissances de mécanique du point de première année, émergeait dans le domaine de la physique du sport récemment remis au goût du jour par l'équipe Interfaces de l'Ecole Polytechnique, dirigée par Christophe Clanet et David Quéré. Ce problème avait pour but de rendre compte de la trajectoire « triangulaire » d'un volant de Badminton, en prenant soin de comparer résultats expérimentaux et modélisation par le biais d'une approche guidée, comprenant de nombreuses applications numériques. La mise en équation de la trajectoire du volant dominée par le frottement de l'air environnant, permettait d'estimer les durées des différentes phases du mouvement du volant ainsi que la portée du projectile en fonction d'un petit nombre de paramètres : l'angle et vitesse initiale avec lequel le volant est lancé, ainsi que la vitesse de chute libre de ce dernier.

La deuxième partie du sujet avait pour objectif d'estimer une borne supérieure de la masse du photon, permettant ainsi de tester le savoir-faire des candidats dans d'autres domaines du programme : l'électromagnétisme de première et deuxième année, et la physique des ondes. Cette partie offrait la possibilité de comparer quantitativement deux méthodes expérimentales pour estimer cette borne supérieure traditionnellement considérée comme nulle par les élèves de classe préparatoire.

Cette composition très complète a permis de classer efficacement les candidats de la section PC. La répartition des notes des candidats français est la suivante :

$0 \leq N < 4$	84	6,91 %
$4 \leq N < 8$	484	39,80 %
$8 \leq N < 12$	401	32,98 %
$12 \leq N < 16$	185	15,21 %
$16 \leq N \leq 20$	62	5,10 %
Total	1216	100 %
Nombre de copies : 1216		
Note moyenne : 8,79		
Écart-type : 3,80		

Si les deux parties ont été abordées de façon homogène par les candidats, la deuxième partie a été beaucoup moins bien traitée. Les notes s'étalent de 0.2 à 20 et nous félicitons très chaleureusement les candidats ayant réussi à boucler l'intégralité du sujet dans le temps imparti, faisant preuve d'efficacité et d'une excellente maîtrise du programme.

Comme tous les ans, un certain nombre d'erreurs sont communes à bon nombre de copies et auraient pu être évitées. Nous ne détaillons ci-dessous que les points qui nous semblent essentiels dans le cadre du nouveau programme.

- Le cours doit être parfaitement maîtrisé et les définitions au programme doivent être connues. Ainsi, le nombre de Reynolds  $Re$ , l'allure du coefficient de traînée  $C_x(Re)$ , la vitesse de groupe, la relation de Planck-Einstein, etc. sont autant de notions pour lesquelles il ne devrait pas y avoir d'erreur dans les copies. Dans de nombreuses copies, des points précieux sont « bêtement » perdus.
- S'il est en général préférable de fournir des réponses concises aux questions de l'énoncé, celles-ci doivent être néanmoins complètes. Ainsi lorsque l'énoncé demande de vérifier une formule, ou de justifier certains cas limites d'une expression, il est essentiel de prouver aux correcteurs que la question est comprise. Le résultat doit donc être détaillé explicitement. De même, un soin tout particulier doit être accordé aux symétries et aux invariances dont la description est souvent équivoque et incomplète : quelle variable est concernée ? Est-ce un axe, un plan de symétrie ? Quel point contient-il ? Là aussi, une phrase expéditive telle que "Par symétrie, on a..." ne rapporte pas de point parce qu'elle ne peut convaincre le correcteur.
- La dimension physique d'une variable est une information cruciale. Nous sommes étonnés de trouver un nombre encore très important de copies, y compris des copies figurant parmi les meilleures, dans lesquelles des quantités de dimensions clairement distinctes sont comparées : une force et une vitesse, une accélération et un scalaire, etc. Nous recommandons vivement aux candidats d'être attentifs aux dimensions des objets qu'ils manipulent et de prendre soin de mettre en avant des quantités adimensionnées pour faire ressortir rapidement les paramètres physiques pertinents du problème qu'ils étudient, par exemple dans l'esprit de ce qui était demandé à la question I.7 de la composition.

En conclusion, nous sommes heureux de constater l'amélioration de plusieurs points que nous discutons dans les précédents rapports d'épreuve. Le soin apporté à la rédaction des copies progresse et les résultats sont mieux mis en avant. Les applications numériques sont assorties de leurs unités, et les discussions physiques tendent à s'étoffer. C'est bien. Nous encourageons les futurs candidats à poursuivre dans cette voie, et nous espérons que le rapport détaillé ci-dessous les poussera à mieux cerner les attentes de cette épreuve et à fournir des copies encore meilleures.

## Partie I

**Q1** : Assez peu d'erreurs sur cette question proche du cours. Les candidats n'ayant pas dessiné l'allure de la trajectoire n'ont pas été gratifiés de l'ensemble des points.

**Q2** : Les cas particuliers discutés par les candidats devaient être pertinents pour recevoir les points associés à cette question. Le cas d'une vitesse initiale nulle ( $U_0=0$ ) ou encore constater l'imparité en  $\theta_0$  de l'expression  $L(\theta_0)$  ne rapportait pas de point.

**Q3** : Peu de candidats prennent la peine de démontrer explicitement le fait que  $L(\theta_0)$  présente un maximum en  $\theta_0 = \pi/4$ . Ce point devrait pourtant passer avant toute considération sur la classe  $C^\infty$  des fonctions sinus et cosinus...

**Q4** : Cette question a donné lieu à de très nombreuses erreurs, des contre sens et plusieurs perles. La dépendance du coefficient de traînée  $C_x$  avec le nombre Reynolds  $Re$  n'est connue que d'une petite moitié des candidats et il est très fréquent de voir des fonctions  $C_x(Re)$  croissantes, en forme de cloche, avec plusieurs maxima, etc. présentant une certaine « crise de la traînée » pouvant se produire sur une vaste gamme de nombres de Reynolds. Lorsque l'allure de  $C_x(Re)$  est correcte, les ordres de grandeurs de  $Re$  ne sont pas toujours les bons, quant aux régimes laminaire et turbulents, ils sont souvent échangés. La dimension de  $C_x$  a en revanche été déterminée correctement par la majorité des candidats.

**Q5** : Nous sommes très satisfaits de constater que la définition du nombre de Reynolds est connue de la plupart des candidats. La seule erreur encore fréquente consiste à confondre viscosité cinématique et viscosité dynamique. Par ailleurs, il était nécessaire de faire les deux applications numériques demandées pour avoir la totalité des points à cette question. Là encore, quelques perles de vocabulaire telles que la définition de la « limite des grands nombres de Reynolds » comme le « régime lacunaire » viennent fleurir cette question.

**Q6** : Question sans difficulté réussie dans la majeure partie des copies. Des erreurs de calcul récurrentes conduisent à une vitesse  $U_\infty$  imaginaire pure sans que cela n'appelle de remarque de la part des candidats concernés. On constate aussi quelques confusions entre force et force volumique, et plusieurs candidats expriment étonnamment  $U_\infty$  comme une fonction de  $U$ . Enfin, de façon encore plus surprenante, l'équation du mouvement du volant prend la forme de l'équation de Navier-Stokes dans plusieurs copies.

**Q7** : L'objet de cette question était d'obtenir une forme adimensionnée compacte et transparente de l'équation du mouvement. De très nombreux candidats continuent de manipuler les différents paramètres du problème : surface du volant, masse volumique de l'air, etc. pour aboutir à des expressions complexes, sans introduire la vitesse stationnaire  $U_\infty$  définie à la question précédente. Même si l'expression finale de l'équation du mouvement est juste, nous avons tenu rigueur aux candidats n'ayant pas introduit le rapport  $U/U_\infty$  et/ou simplifier au mieux l'expression de l'équation du mouvement.

**Q8** : Cette question a posé problème à de nombreux candidats qui réalisent des comparaisons dimensionnellement fausses en opposant une vitesse à une accélération, l'accélération de la pesanteur à l'unité, une vitesse à une force, etc. La liste est encore longue et cette erreur a été constatée régulièrement, y compris dans de très bonnes copies. Un sérieux effort doit être fait à ce sujet. Nous espérons voir disparaître cette erreur grave à la prochaine édition du concours. L'intégration de l'équation du mouvement n'a été menée à bien que par un faible nombre de candidats et des erreurs systématiques ont été constatées chez les candidats n'ayant pas respecté les notations de l'énoncé.

**Q9** : Question en général réussie par les candidats ayant abordé la question précédente avec succès. On trouve tout de même des candidats qui obtiennent la bonne expression de  $t_{1/2}$  mais ne font pas l'application numérique. Des points ont été accordés aux candidats ayant estimé le temps  $t_{1/2}$  à partir de la figure 1, même si ces derniers n'ont pas pu obtenir son expression littérale.

**Q10-Q12** : Questions bien réussies lorsqu'elles sont abordées. Quelques rares erreurs d'intégration à la question 10.

**Q13** : Question en général bien réussie par les candidats, même si les justifications auraient parfois pu être plus précises.

**Q14** : Tous les points n'ont pu être accordés aux candidats n'ayant pas dessiné la trajectoire, cette question montrant que les étapes précédentes ont été bien comprises.

**Q15** : Cette question a été peu abordée, et rarement réussie.

**Q16** : Question bien réussie dans l'ensemble.

**Q17** : Cette question a été très peu abordée, et rarement réussie.

**Q18-Q19** : Des éléments de réponse satisfaisants dans les très bonnes copies.

## Partie II

**Q1** : Hormis quelques erreurs de signe, cette question a été très bien réussie dans l'ensemble.

**Q2** : Cette question a donné lieu à de très nombreuses erreurs et illustre des lacunes majeures sur le cours du chapitre de la physique des ondes. La définition et l'interprétation physique de la vitesse de groupe  $v_g$  ne sont pas connues d'une très grande partie des candidats. On trouve ainsi de façon récurrente les définitions fausses suivantes :  $v_g = \omega/k$ ,  $v_g = \partial k / \partial \omega$ , etc. qui conduisent à des expressions mal dimensionnées n'appelant aucun commentaire de la part des candidats concernés. Par ailleurs, le paramètre  $\mu$  est souvent considéré comme une fonction de  $k$  et  $\omega$  ce qui a manifestement bloqué plusieurs candidats. Enfin, il était demandé d'exprimer  $v_g$  explicitement avant de faire un développement limité de l'expression  $c-v_g$ . Les candidats n'ayant pas respecté cette consigne ont souvent

obtenu des résultats faux ou incomplets. Soulignons enfin que la relation  $v_\phi v_g = c^2$  n'est pas toujours valide et qu'il est nécessaire de l'utiliser avec précaution, en justifiant la validité des hypothèses permettant son utilisation.

**Q3** : Question bien réussie dans l'ensemble.

**Q4** : Question assez mal réussie dans l'ensemble. Le lien entre la phase et la propagation d'une onde est mal connu d'une grande partie des candidats.

**Q5** : Les raisonnements aux dimensions et les expressions non justifiées n'ont pas été acceptés. Un raisonnement physique simple était nécessaire pour obtenir les points alloués à cette question.

**Q6** : Question bien réussie dans l'ensemble.

**Q7** : Cette question n'a été réussie que dans les très bonnes copies.

**Q8** : La première partie de la question a été traitée correctement par un grand nombre de candidats.

**Q9** : Les réponses expéditives, telles que « On vérifie facilement que... » ne rapportent aucun point.

**Q10** : Il y avait plusieurs façons de répondre à cette question, en utilisant la question précédente ou en appliquant le théorème de Gauss. Ici encore on lit de façon récurrente des phrases du type, « *les symétries et les invariances donnent...* » qui ne rapportent pas de point. Nous attendions un examen explicite des invariances et des symétries de la répartition des charges au sein d'une réponse soignée. Il est important de bien faire la différence entre les invariances liées à la géométrie du problème et les symétries de la répartition des charges qui apportent des informations distinctes et donc complémentaires quant à l'expression du champ électrique. Rappelons enfin que les plans de symétrie de la répartition des charges considérées n'ont de sens que s'ils contiennent le point en lequel on souhaite déterminer le champ électrique.

**Q11** : Question bien réussie dans l'ensemble. Quelques erreurs d'intégration.

**Q12** : Ici encore, comme pour la question 8 de la première partie du sujet, de nombreux candidats comparent des quantités qui n'ont pas la même dimension physique.

**Q13** : Seul un petit nombre de candidats ont répondu correctement à cette question.