

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

La composition de physique B du concours 2016 concernait quelques aspects de la physique des gouttes. Ce sujet très complet et relativement long, comportait deux parties totalement indépendantes faisant intervenir les parties du programme ayant trait à la mécanique du point, la mécanique des fluides et les ondes.

La première partie, émaillée de très nombreux ordres de grandeurs, de tracés de fonctions, de schémas et de lecture de courbes expérimentales, émergeait essentiellement sur le cours de première année. Après avoir déterminé la trajectoire de chute d'une goutte de pluie dans l'atmosphère, le sujet proposait de calculer la force s'exerçant sur le pare-brise d'un avion par temps de pluie. Pour cela, il était nécessaire de prendre en compte et de modéliser la distribution de la taille des gouttes. Cette partie a favorisé les candidats ayant fait l'effort d'articuler entre elles les différentes questions et ainsi de mettre à jour le fil conducteur du sujet. Par ailleurs, il était nécessaire d'effectuer les applications numériques pour traiter une partie significative de cette première moitié d'épreuve et ainsi décrocher une note supérieure à la moyenne.

La seconde partie du sujet proposait d'étudier la formation de gouttes à partir d'un cylindre de liquide par l'instabilité dite de Rayleigh-Plateau. Une première approche statique permettait de conclure qu'une perturbation à la surface d'un filet d'eau en chute libre est instable lorsque sa longueur d'onde est supérieure au périmètre du cylindre de liquide. Une approche dynamique permettait ensuite d'identifier le mode le plus instable et de déterminer la vitesse de phase d'une onde progressive. Enfin, le sujet considérait la perturbation induite par l'impact du jet sur un obstacle. Cette dernière partie du sujet, plus délicate n'a été traitée de façon satisfaisante que par une poignée de candidats.

Cette composition faisant la part belle aux ordres de grandeur et aux discussions physiques a permis de classer efficacement les candidats de la section PC comme en témoigne la répartition des notes ci-dessous. Les notes s'étaisent de 1,10 à 20 et nous adressons nos sincères félicitations aux candidats ayant réussi à traiter un nombre suffisant de questions pour décrocher la note maximale dans le temps imparti, faisant preuve d'une solide maîtrise du programme et d'un excellent sens physique.

La répartition des notes des candidats français est la suivante :

$0 \leq N < 4$	104	7,84 %
$4 \leq N < 8$	611	46,04 %
$8 \leq N < 12$	415	31,27 %
$12 \leq N < 16$	160	12,06 %
$16 \leq N \leq 20$	37	2,79 %
Total	1327	100 %
Nombre de copies : 1327		
Note moyenne : 8,18		
Écart-type : 3,42		

Comme tous les ans, certaines erreurs sont communes à bon nombre de copies et auraient pu être évitées. Nous mettons l'accent sur quelques points qui nous semblent essentiels avant de commenter chacune des questions en détail. Nous conseillons vivement aux futurs candidats la lecture des rapports des années précédentes en complément de la lecture de ce rapport.

- Un minimum de soin est à apporter à la rédaction des copies. Nous avons corrigé cette année un nombre de compositions peu soignées supérieur à l'an dernier, comportant des passages difficilement lisibles et/ou des applications numériques indéchiffrables. Rappelons qu'en cas de doute, il nous est impossible d'attribuer les points.
- De même, il est important que les schémas et autres graphes soient soigneusement ébauchés et justifiés pour que nous puissions attribuer la totalité des points. Ainsi, il est important de discuter/représenter les comportements aux limites, les asymptotes, tangentes en tout genre, etc. de façon à ce que la représentation graphique soit la plus complète possible.
- Depuis trois ans, les copies des candidats sont numérisées pour faciliter la correction. Il est donc recommandé aux candidats d'éviter l'utilisation des effaceurs, blancs ou « rollers » de correction. Une phrase ou une partie de question proprement barrée ne pénalise pas le candidat et n'affecte pas la lisibilité de nouvelle réponse proposée.
- Si les candidats sont libres de traiter les questions dans l'ordre qu'ils souhaitent, il est impératif de respecter la numérotation des questions. En effet, des points sont attribués à chaque question et les erreurs de numérotation où les cas de réponses à plusieurs questions groupées sous un seul numéro pénalisent en général les candidats.
- Un soin tout particulier doit être apporté aux applications numériques dont le poids dans la notation finale s'est encore accru avec le changement de programme.

Rappelons que les applications numériques non justifiées ou qui ne présentent pas d'unité – et leur nombre est en forte augmentation cette année - ne rapportent absolument aucun point. Il est essentiel de préciser la formule littérale utilisée, les valeurs des différentes quantités impliquées dans le calcul, et d'inscrire un nombre d'étapes minimum permettant de suivre le calcul jusqu'à la réponse finale proposée.

## Partie I

**Q1a** : Question très bien réussie dans l'ensemble.

**Q1b** : De façon surprenante, cette question a posé de plusieurs problèmes graves. Un nombre encore trop important de candidats ne connaissent pas la définition du nombre de Reynolds – un candidat a confondu le nombre de Reynolds avec le nombre de Mach. On trouve plusieurs définitions dimensionnées qui montrent que l'intérêt physique de ce nombre n'est pas compris, quand certains candidats construisent le nombre de Reynolds avec la tension de surface de l'eau ! L'erreur la plus répandue a consisté à définir une viscosité cinématique comme le rapport de la viscosité dynamique de l'air et de la masse volumique de l'eau. Par ailleurs, plusieurs candidats ne font pas le lien avec la question précédente et quelques copies ont utilisé comme taille caractéristique une hauteur de chute arbitraire et non la taille des gouttes. Il convient de définir et d'exprimer littéralement le nombre de Reynolds avant de présenter une application numérique détaillée qui le cas échéant n'est pas justifiée. Enfin de nombreux candidats comparent systématiquement le nombre de Reynolds à 2000 et non à l'unité.

**Q1c** : De manière générale, de nombreux candidats proposent des expressions de forces qui ne sont pas des vecteurs. La poussée d'Archimède est souvent oubliée. Quand elle est mentionnée, il est important de préciser devant quoi la poussée d'Archimède peut être négligée. L'expression de la force de traînée est rarement correcte. Plusieurs copies proposent une force de frottement fluide qui se transforme en une force de frottement quadratique à la question 1d sans aucun commentaire. Enfin, on trouve régulièrement des forces de frottement mal dimensionnées mêlant viscosité et dépendance quadratique en la vitesse de chute de la goutte.

**Q1d** : Un nombre non négligeable de candidats utilise l'équation de Navier-Stokes en lieu et place du principe fondamental de la dynamique appliqué à la goutte, ce qui est grave. Des erreurs d'inattention dans la définition de «  $u$  » auraient facilement pu être évitées en vérifiant la dimension de la réponse proposée.

**Q2a** : Cette question n'a été réussie que par un petit nombre de candidats. Certains candidats ont pensé à la séparation de variable, mais n'ont pas décomposé la fraction en éléments simples.

**Q2b** : Il était attendu que les candidats commentent et justifient l'allure de la fonction  $f(t)$  en étudiant les limites de cette fonction pour des temps petit et grand devant  $t^*$ .

**Q2c** : La signification physique de la section qui intervient dans l'expression de la force de frottement n'est pas claire pour grand nombre de candidats qui utilisent tour à tour la surface d'une sphère, la moitié de la surface, le volume d'une sphère (!), etc.

**Q2d** : Quelques applications numériques sans unité. La discussion des valeurs numériques de  $u$  et de  $H^*$  était particulièrement importante.

**Q3a** : Les expressions non justifiées ne rapportent pas de point. Les raisonnements aux dimensions étaient tolérés pour cette question, mais ne rapportaient pas la totalité des points.

**Q3b** : De nombreuses réponses sans unité qui ne rapportent donc pas de point.

**Q3c** : Question bien réussie dans l'ensemble. Attention cependant à donner le résultat final sous forme d'un chiffre parlant assorti d'une unité.

**Q4a** : Question bien réussie dans l'ensemble. Le schéma devait être annoté et justifié pour bénéficier de la totalité des points attribués à cette question.

**Q4b** : Un bilan de quantité de mouvement soigné était attendu. De nombreuses copies font apparaître de façon artificielle un cosinus pour se rapprocher du résultat proposé dans l'énoncé.

**Q4c** : De nombreux candidats ont confondu l'intensité de la force avec la puissance de celle-ci.

**Q5a** : En général l'ordre de grandeur proposé est cohérent, souvent un peu sous-estimé. Quelques copies proposent des vitesses nettement supérieures à la vitesse du son et dans de rares copies on peut même lire des vitesses de croisière de 10000m/s ou bien encore de 3600km/h. Là encore, les applications numériques sans unité ne rapportent pas de point.

**Q5b** : Peu de candidats écrivent explicitement la composition des vitesses. On peut lire régulièrement que «  $W \gg U$  » sans que cela se traduise sur le schéma proposé par le candidat.

**Q5c** : Peu de difficultés pour les candidats ayant réussi la série de questions Q4.

**Q5d** : Les résultats sans unité ne rapportent pas de points.

**Q6a** : Question bien réussie dans l'ensemble. Des erreurs d'inattention dans l'intégration. Certains candidats proposent une relation sans aucune justification ce qui ne rapporte pas de points.

**Q6b** : De nombreux candidats proposent des probabilités dimensionnées. De même une probabilité supérieure à 1 devrait faire réagir les candidats qui proposent une telle réponse.

**Q6c** : De trop nombreux résultats dont la dimension finale n'est manifestement pas une longueur. Là encore, il est important de vérifier l'homogénéité du résultat proposé.

**Q7a** : Beaucoup de confusion dans les réponses proposées, ainsi que quelques réponses fantaisistes comme la réponse suivante : « *dM peut s'interpréter comme la masse volumique de l'atmosphère par temps de pluie* ».

**Q7b** : Question bien réussie dans l'ensemble, même si l'allure proposée est souvent trop symétrique de part et d'autre du maximum. Très peu de candidats soulignent la présence d'une tangente horizontale à l'origine.

**Q7c** : Question sans difficulté réussie par la grande majorité des candidats. Quelques erreurs d'inattention dans l'expression du maximum.

**Q7d** : On trouve de nombreuses réponses qui ne sont pas homogènes à une masse ce qui aurait dû faire réagir les candidats concernés.

**Q7e** : Question délicate réussie néanmoins par bon nombre de candidats.

**Q8a** : Question bien réussie lorsqu'elle est abordée.

**Q8b** : De nombreuses copies proposent des rapports dimensionnés. Là encore, une vérification rapide de l'homogénéité de la réponse proposée aurait permis à certains candidats de détecter des erreurs de calcul et/ou d'inattention.

**Q8c** : Les réponses ayant reçu la totalité des points ne concernent qu'une poignée de copies.

**Q9a** : Des réponses souvent partielles à cette question, montrent que la comparaison d'un modèle à des données expérimentales pose encore problème à de nombreux candidats.

**Q9b** : Des difficultés pour calculer la pente d'une droite en représentation semi-logarithmique. De nombreuses erreurs dans la détermination de  $n_0$ .

**Q9c** : Pas de difficulté pour les candidats ayant répondu aux questions 9a et 9b.

**Q9s** : Seule une poignée de candidats ont trouvé la réponse à cette question.

## Partie II

**Q10a** : Question réussie dans l'ensemble malgré quelques difficultés quant à la détermination de la surface d'un cylindre. Un candidat utilise par exemple le théorème de Gauss en mélangeant l'énergie de surface du cylindre avec le champ électrique et la tension de surface avec la conductivité...

**Q10b** : De façon surprenante, de nombreux candidats utilisent le volume des gouttes

et non leur surface pour estimer leur énergie de surface, alors qu'ils ont répondu de façon correcte à la question précédente.

**Q10c** : Si la condition est, en général, formulée correctement, la conservation du volume n'a été utilisée que par un petit nombre de candidats pour simplifier l'expression. Enfin le résultat final n'est analysé que dans un faible nombre de copies.

**Q11a** : La notion de moyenne a posé problème à de nombreux candidats. Des difficultés récurrentes pour faire le développement limité de la fonction  $(1 + x)^{(1/2)}$ .

**Q11b** : Question délicate dont le calcul n'a été mené jusqu'au bout que par une poignée de candidats.

**Q11c** : Question étonnement peu abordée alors qu'elle ne nécessitait que l'expression fournie dans l'énoncé à la question 11b.

**Q12a** : Plusieurs candidats considèrent des longueurs d'onde négatives et d'autres imaginaires pures. La condition devait porter sur la longueur d'onde et non sur le nombre d'onde ou tout autre paramètre arbitraire. De nombreuses erreurs d'inattention dans l'expression du résultat final (résultats mal dimensionnés, oubli de préfacteurs numériques, etc.).

**Q12b** : Pour de très nombreux candidats, une exponentielle réelle correspond nécessairement à une atténuation de la perturbation, car la solution divergente ne serait « pas physique ». Il est important que les candidats prennent du recul sur les limites des modèles vus en cours d'année.

**Q13a** : Quelques cas de figures ambiguës et incomplètes qui ne rapportent pas de point.

**Q13b** : Souvent un manque de cohérence entre les réponses à cette question et celles de la question 12b. De très nombreux candidats évoquent la disparition de la perturbation dans le cas où la fréquence est imaginaire et calculent ensuite le mode de croissance le plus instable. Il est important de faire le lien entre les différentes questions d'une même partie qui ont été conçues pour guider et aider les candidats.

**Q13c** : Le phénomène moteur est en général identifié avec succès, alors que le phénomène frein a posé beaucoup plus de difficulté et n'a été identifié que par un faible nombre de candidats. Quelques copies confondent les phénomènes moteur et frein.

**Q13d** : Question en générale bien réussie.

**Q13e** : L'expression de la vitesse de phase est en général correcte. Peu de candidats en revanche proposent une interprétation graphique satisfaisante.

**Q14a** : Les valeurs numériques non justifiées ne rapportent pas de point.

**Q14b** : Probablement la question la plus délicate du sujet qui n'a été abordée avec succès que par une poignée de copies.

**Q15a** : Question bien réussie dans l'ensemble, même si plusieurs candidats ayant répondu juste à la question 13a répondent faux à cette question.

**Q15b** : Question mal réussie dans l'ensemble. On lit souvent que la vitesse de phase doit être nulle.

**Q15c** : Question qui ne nécessitait pas l'utilisation de résultats précédents et qui a été bien réussie par de très nombreux candidats.

**Q15d** : Question qui n'a été abordée que par un petit nombre de candidats et réussie par une poignée d'entre eux.

**Q15e** : Question qui n'a été réussie que par un petit nombre de candidats.

**Q15f** : Les candidats ayant abordé cette question proposent en général la bonne réponse. Quelques réponses inattendues tout de même comme « la vaporisation de l'eau »...