

Physique 1

Présentation du sujet

Cette épreuve est consacrée à l'étude de deux types de casques utilisables en cyclisme, qui furent des technologies novatrices du casque de contre-la-montre. Le but de sujet est de quantifier l'amélioration des performances engendrées par leur utilisation. Le sujet est contextualisé : il s'appuie d'une part sur le triomphe de Greg Lemond lors du Tour de France de 1989, ce dernier étant muni d'un « casque profilé à goutte d'eau », d'autre part sur la victoire de Patrick Lange au championnat du monde de triathlon en 2017, ce dernier étant muni d'un « casque à flux d'air aspiré sur l'avant ».

Ce sujet contient deux grandes parties.

- La première partie consiste en l'étude mécanique d'une descente en vélo en pente constante avec casque de vélo traditionnel et avec casque profilé en goutte d'eau : étude de la phase de démarrage avec détermination et résolution numérique de l'équation différentielle du mouvement, détermination du gain en puissance procuré par le casque profilé par rapport au casque classique, puis dans une dernière sous-partie, quantification de l'incertitude-type relative sur la vitesse du cycliste engendrée par l'incertitude de localisation GPS.
- La deuxième partie consiste en l'étude d'un casque à contrôle de couche limite d'air : modélisation du flux d'air autour du cycliste, détermination des conditions de décollement de couche limite sur son dos pouvant dissiper de l'énergie, quantification de l'apport d'un tel casque par rapport à un casque à goutte d'eau.

Le sujet comporte des questions d'informatique ; au nombre de quatre, elles sont très abordables et consistent à :

- expliquer un code de résolution d'équation différentielle par la méthode d'Euler en langage Python ;
- commenter des courbes obtenues par simulation grâce au code précédent, avec différents paramètres ;
- écrire une fonction permettant de calculer une distance parcourue connaissant la courbe de vitesse obtenue par simulation ;
- réécrire une fonction Python de l'énoncé en la modifiant légèrement afin de calculer une incertitude (l'énoncé invitait le candidat à une évaluation type Monte-Carlo).

Quelques questions relatives aux évaluations d'incertitudes, conformément au nouveau programme, sont aussi posées dans ce sujet : évaluation de type A, de type B, calcul par simulation à l'aide d'un algorithme de Monte-Carlo, calcul d'incertitudes composées. À noter que toutes les formules relatives aux calculs d'incertitudes sont rappelées dans les données en fin d'énoncé.

Enfin, le sujet contient de nombreuses questions de cours ou des applications directes ainsi que trois questions ouvertes. Aucune connaissance hors-programme n'est requise pour traiter la totalité du sujet. Quelques rudiments de mécanique du point de PCSI, des notions d'électromagnétisme, de mécanique des fluides du programme de PC doivent être maîtrisés pour réussir cette épreuve.

Dans chacune des deux parties, les questions les plus difficiles se situent à la fin.

Analyse globale des résultats

Le sujet, plutôt long, a été abordé en totalité par peu de candidats. Les résultats auraient dû être meilleurs dans la mesure où les nombreuses questions de cours et applications directes auraient dû être bien plus profitables.

Bien présenter, bien rédiger, ne pas utiliser d'abréviations inhabituelles, citer le nom des lois physiques utilisées, faire attention à l'orthographe, bien numéroter les questions, bien justifier sont des compétences minimales indispensables que doit avoir un candidat à ce concours, de même que l'honnêteté intellectuelle. La présentation des copies est globalement satisfaisante ; peu de copies ont été pénalisées par un malus de forme de la copie. Le jury regrette toujours que certains candidats ne vérifient pas l'homogénéité de résultats littéraux simples : une perte conséquente de points pourrait parfois être évitée.

Les questions difficiles du sujet ont été très peu traitées, la différence entre les candidats se fait donc sur les questions plus classiques.

Un trop petit nombre d'étudiants est capable de mener rigoureusement une démonstration de A à Z sans oublier une hypothèse, une flèche sur un vecteur, etc. La différence entre les bonnes et mauvaises copies tient très souvent à la manière de rédiger un raisonnement ou un calcul plus qu'au résultat en lui-même.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Remarques générales

Les candidats perdent beaucoup de points parce qu'ils ne lisent pas bien le sujet (des démonstrations non demandées sont effectuées à tort, des relations vectorielles sont encadrées alors qu'il est demandé une relation scalaire...) ou parce qu'ils ne respectent pas les notations du sujet.

Les hypothèses utilisées lors des démonstrations ont rarement rapporté de points, car données de manière non explicite.

Les questions d'informatique sont plus correctes quand il s'agit d'écrire du code que de le commenter. La méthode de Monte-Carlo est mal comprise : beaucoup d'étudiants disent qu'elle réduit l'incertitude en multipliant les mesures.

Si un candidat utilise un symbole non défini dans l'énoncé, il doit obligatoirement le définir lui-même.

Trop nombreux sont encore les candidats qui ne répondent que partiellement aux questions, notamment lorsque celles-ci contiennent plusieurs sous-questions.

Concernant l'utilisation des outils mathématiques, le jury a constaté :

- beaucoup de confusions entre vecteur, norme et projection ;
- des erreurs d'applications numériques qui auraient dû être décelées avec un minimum de bon sens (gain en puissance apporté par un casque de plusieurs millions de watts, distance parcourue avant d'atteindre un régime permanent de quelques centimètres ou plusieurs dizaines de kilomètres...).

Les candidats armés d'une bonne connaissance du cours, d'un bon sens physique et d'une bonne maîtrise des techniques habituelles de calcul ont obtenu une bonne voire une excellente note à cette épreuve. Vu la structure du sujet, un candidat, moyen ou faible, pouvait se relancer régulièrement et se remettre en confiance : c'est pourquoi il est conseillé de parcourir le sujet en première lecture dans son intégralité.

Partie I

I.A – Évaluation du gain en puissance par une approche empirique

Q1. Bien que le jury ait toléré une évaluation numérique du nombre de Reynolds avec un chiffre significatif, on rappelle qu'un ordre de grandeur se donne sous forme d'une puissance de 10.

Q2. Il est anormal que des candidats encadrent leur équation différentielle en laissant N (norme de la réaction normale de la piste sur le cycliste) dedans. Trop de candidats n'ont pas effectué les applications numériques demandées alors que tout était correct : quel dommage !

Q3 et Q4. Ces questions ont été relativement bien traitées.

Q5. La description d'un programme Python ne doit pas être un simple commentaire ligne par ligne : il faut décrire le principe de fonctionnement du code.

Q6. Le jury regrette le nombre de réponses rencontrées du genre « la courbe est lisse » ou « la courbe est en segment ». On n'attend pas qu'une description naïve des courbes, il est nécessaire de commenter l'allure en faisant un lien avec le pas de résolution de la méthode d'Euler. La rigueur du vocabulaire dans les méthodes numériques est assez décevante (par exemple, le mot « pas » employé dans la méthode de résolution numérique n'a que très peu été mentionné).

Q7. Beaucoup trop de candidats ont estimé un temps d'établissement du régime permanent à 63 % ou 95 % par analogie avec le temps caractéristique de charge d'un circuit RC série, alors que les deux phénomènes ne sont pas du tout régis par le même genre d'équation différentielle. Le jury a noté trop d'explications où le régime permanent est atteint mais la vitesse continue d'évoluer.

Q8. Une fonction permettant une intégration numérique (méthode des rectangles ou des trapèzes) était la bienvenue.

Q9. Cette question comportait juste deux applications numériques. Elle a très rarement rapporté des points. Trop de valeurs ont été données sans unité. De plus, la valeur numérique de $\langle v_c \rangle$ devait comporter un nombre de chiffres significatifs en accord avec celui donné pour son incertitude-type $u(\langle v_c \rangle)$; par exemple, un candidat pouvait justement écrire $\langle v_c \rangle = 18,53 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ s'il écrivait $u(\langle v_c \rangle) = 0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q10. Il était important de dire que, malgré les incertitudes expérimentales, les deux histogrammes étaient distincts, ce qui montrait un vrai effet du casque profilé. De façon plus quantitative, il était possible également de calculer un écart normalisé. Les commentaires du type « on obtient une gaussienne, ce qui valide le modèle » n'ont pas beaucoup d'intérêt.

Q11. Les candidats ont trop souvent cherché des complications. Un code simple, comme celui présenté ci-dessous convenait parfaitement :

```
def MonteCarlo2(vitesseMoyenne, incertitudeType, N, K):
    generateur = rd.default_rng()
    v_lim = generateur.normal(vitesseMoyenne, incertitudeType, N)
    SCx = K / v_lim ** 2 # tableau de N valeurs de SCx
    return np.mean(SCx), np.std(SCx)
```

Q12. Cette question a été bien traitée.

Q13. Une grande majorité des candidats n'a pas su définir correctement le gain en puissance G procuré par le casque. Il fallait comprendre que $G = \frac{1}{2} \rho v_{\text{lim}}^3 (SC_{x,c} - SC_{x,p})$.

I.B – Détermination de la précision du repérage par GPS

Q14. Les questions de mécanique appellent une définition rigoureuse du système, de son référentiel d'étude, des forces qui s'y appliquent. Toutefois, cette question a été relativement bien traitée.

Q15. On demande l'équation différentielle portant sur $\underline{E}_x$, pas sur $\vec{E}$. La nullité de $\text{div } \vec{E}$ mérite d'être justifiée.

Q16. Sur une question de cours comme celle-ci, trop peu de candidat justifient l'appellation « zone de transparence », en oubliant souvent de mettre en forme la relation de dispersion.

Q17 à Q19. Ces questions ont été bien traitées.

Q20. Un graphe doit être tracé en étiquetant les axes et en précisant les valeurs remarquables (asymptotes, annulations...).

Q21. Trop d'erreurs de calcul pour ce calcul classique de détermination de $\vec{B}$ connaissant $\vec{E}$.

Q22. L'énoncé demandait explicitement une expression « approchée ». Trop de candidats n'ont pas simplifié l'expression brute du retard ionosphérique.

Q23 à Q26. Ces questions ont été très peu traitées.

Partie II

II.A – Modélisation du flux d'air autour du cycliste

Q27. Trop de candidats ont cherché à montrer le caractère irrotationnel du champ de vitesses, alors que celui-ci était fourni par l'énoncé. L'équation $\text{div } \vec{v}_e = 0$ doit être accompagnée d'une justification : incompressibilité de l'écoulement.

Q28. Les surfaces équipotentielles sont... des surfaces, et non des droites. Une phrase « les équipotentielles sont normales aux lignes de champ » ne confère aucun point si aucun de ces lieux géométriques n'a été davantage caractérisé (« parallèle à Ox » ; « de vecteur normal $\vec{e}_x$ »...).

Q29 à Q31. Ces questions ont été relativement bien traitées.

Q32. Les hypothèses de démonstration ne sont pas toujours clairement explicitées.

Q33. Trop de candidats semblent avoir oublié le fait que, compte tenu des hypothèses de travail, là où les lignes de courant se resserrent le fluide accélère et sa pression diminue.

II.B – Comportement de la couche limite

Q34. Il importe de faire attention aux systèmes de coordonnées imposés par l'énoncé, ici (x', y') et non (x, y) . Pour avoir tous les points à cette question, il fallait explicitement identifier F , G et D .

Q37. Encore une fois, la valeur numérique d'un ordre de grandeur doit être écrite avec un nombre de chiffres significatifs adéquat (même remarque qu'en **Q1**). Que dire des candidats qui trouvent une épaisseur de couche limite de plusieurs kilomètres ?

Q39. Le caractère concave/convexe du champ de vitesse permettait de conclure à condition de se référer à la bonne variable dont dépendait v , ici y' (et non x'). D'ailleurs, trop peu de candidats savent repérer une courbe convexe ou concave.

Q40 et Q41. De nombreux candidats ont cherché à tromper le jury ici en modifiant leur réponse en **Q39** en cohérence avec leur réponse à la **Q33** ! De telles pratiques ne mènent jamais à l'obtention de points.

Q42. La formule étant fournie, on attendait une démonstration rigoureuse.

Q43. Question peu et mal traitée.

Q44. Question peu abordée, mais quand elle l'a été, certains candidats ont tenté de noyer le correcteur sous les équations, pour se contenter à la fin de réécrire le résultat fourni par l'énoncé.

Q45 à Q48. Ces questions ont été très peu abordées.

Conclusion

Bien que ce rapport mentionne principalement les écueils à éviter, nous voulons souligner combien nous avons été satisfaits devant certaines copies, excellentes aussi bien sur le fond que sur la forme. Que tous leurs auteurs soient remerciés pour avoir donné le meilleur d'eux-mêmes durant cette épreuve et pour nous avoir fait lire de très belles compositions. Nul doute qu'ils sauront relever les défis technologiques du XXI^e siècle après leurs études au sein des grandes écoles et qu'ils auront à cœur de transmettre le fruit de leurs travaux.

Pour tous les candidats, le jury se permet quelques conseils.

- Un sujet tel que celui-ci illustre l'importance fondamentale de l'apprentissage du cours : beaucoup de points peuvent être obtenus en citant ou en appliquant simplement celui-ci.
- Il est conseillé de parcourir l'intégralité du sujet lors d'une première lecture rapide : cela permet de s'imprégner du sujet et de repérer les questions faciles, à la portée de beaucoup de candidats. Ensuite il faut toujours s'assurer de bien avoir compris un énoncé quitte à le relire plusieurs fois.
- Comme déjà dit dans de précédents rapports, les résolutions de problème doivent être abordées avec plus de méthode. Une simple application de la démarche scientifique permet d'aider à formaliser le problème et donc à trouver la bonne réponse.
- Commenter et critiquer de façon pertinente un résultat ou une démarche, même si ce n'est pas explicitement demandé par l'énoncé, est valorisé : cela peut-être une analyse dimensionnelle d'un résultat littéral simple, un calcul d'ordre de grandeur d'un paramètre physique, une vérification de valeur numérique si elle est fournie dans l'énoncé, l'explicitation d'une hypothèse non fournie par l'énoncé mais nécessaire pour aboutir au résultat demandé, etc.
- Souvent un schéma simple, clair, éventuellement avec des couleurs, est plus apprécié qu'une demi-page d'explications.
- Ne pas négliger le travail sur les capacités numériques et celui relatif aux incertitudes.