

Physique 2

Présentation du sujet

Cette épreuve, du nom d'« Automated Transfer Vehicle » (ATV), nous transporte jusqu'à la Station Spatiale Internationale (ISS), au cœur de la recherche spatiale européenne. Nous participons avec elle à la mission de l'ATV-3 Edoardo Amaldi, nom décerné par l'Agence Spatiale Européenne en hommage à ce grand physicien italien du XXème siècle, notamment cofondateur du CERN de Genève.

Elle est composée de trois parties :

- l'orbite de l'ISS, qui donne l'occasion de retrouver des résultats élémentaires de la mécanique des corps célestes ;
- la phase finale d'approche, permettant d'approfondir les trajectoires successives permettant de s'arrimer à l'ISS ;
- l'autodestruction de l'ATV, où l'on vérifie, avec tout de même un certain regret, que ce bijou technologique a le temps de s'autodétruire dans les hautes couches de l'atmosphère, avant de représenter un quelconque danger sur Terre.

Ce sujet permet un tour d'horizon de la technologie spatiale, en faisant essentiellement appel aux connaissances de mécanique du point et de thermodynamique, sans oublier la mécanique des fluides.

Analyse globale des résultats

Ce sujet, d'une taille tout à fait raisonnable, est apparu comme répondant parfaitement au cahier des charges d'une épreuve de concours.

En effet, tout candidat sérieux pouvait, dès lors qu'il connaissait son cours, prétendre au maximum de points sur la première partie du problème. C'est d'ailleurs ce qui a été observé à plusieurs reprises. Encore fallait-il avoir révisé le programme de première année, ce qui n'est vraisemblablement pas toujours le cas. La seconde partie, plus calculatoire, a fait peur à bon nombre de candidats, bien que des résultats intermédiaires puissent permettre d'avancer.

À ce propos, nous avons trouvé désolant que des prétendants au métier d'ingénieur soient capables de tenter de faire croire qu'ils aboutissent à un résultat donné alors qu'il n'en est rien : ils ne sont pas à la hauteur de leurs ambitions !

Globalement, le jury a apprécié la qualité rédactionnelle des candidats, même s'il déplore toujours quelques copies illisibles, ou remplies de fautes d'orthographe.

Commentaires sur les réponses apportées

I. L'orbite de l'ISS

I.A - Préliminaires gravitationnels

I.A.1 Question de cours élémentaire, souvent entachée d'imprécision : force exercée par ? sur ?, vecteur unitaire dirigé de ? vers ?. Nous pouvons même parler d'incohérence lorsqu'un signe identique apparaît devant les deux expressions données. Pour une question telle que celle-ci, même si un dessin n'est pas exigé, il apparaît évident que c'est un atout indéniable pour ceux qui prennent le temps d'en réaliser un avec soin.

I.A.2 Quand une analogie est demandée, il est important de la faire apparaître clairement. Elle aurait sans doute permis d'éviter bien des erreurs de signe. Notons que parler d'une masse intérieure lorsqu'on n'intègre pas sur une surface fermée n'a pas de sens : nous sommes en droit d'attendre que cela se voit.

I.A.3.a Les candidats soignant la démonstration des symétries du champ de gravitation terrestre et l'application du théorème de Gauss demandé à la question précédente ont été récompensés de leurs efforts.

I.B - L'orbite circulaire de l'ISS

I.B.1, I.B.2 Hormis quelques fantaisistes qui confondent encore le vecteur vitesse et sa norme, parvenant alors à écrire que $\vec{v} = C\vec{t}$ pour un mouvement circulaire, ces questions ont été généralement bien traitées par diverses méthodes : théorème du moment cinétique, principe fondamental de la dynamique, théorème de l'énergie cinétique...

I.B.3 La loi de Kepler a aussi naturellement suivi. La repêcher dans la mémoire d'une calculatrice ne rapporte bien entendu aucun point. La question demande explicitement de la « retrouver » !

I.B.4, I.B.5 Questions aisément franchies à nouveau. Hélas, certains candidats ignorent le signe à donner à l'énergie potentielle associée à cette attraction, ainsi que le signe de l'énergie pour un état lié. Malheureusement, le jury déplore que quelques candidats ne soient pas alertés par une solution manifestement inhomogène.

I.B.6 Quelques rares étourderies constatées, très peu de valeurs franchement aberrantes. Plus surprenant : certains candidats dédaignent délibérément ces applications numériques, pourtant récompensées à chaque fois. D'autres prennent le soin de recopier tous les chiffres de leur calculatrice, qui ne sont dès lors plus du tout significatifs !

II. La phase finale d'approche

II.A - La dérive d'approche

II.A.1 Pas de difficulté excessive, mais comme toujours, peu de candidats pensent à faire un schéma. Les ordres de grandeur devraient permettre de simplifier l'expression proposée.

II.A.2 Le développement limité est élémentaire, d'autant que la formule utile était fournie en fin d'énoncé. Cependant, cette difficulté technique minime ennuie certains réfractaires.

II.A.3 Avec les résultats précédents, c'est une formalité. Les étourderies ne manquent pas, le plus fréquemment parce que l'on oublie qu'il s'agit d'un mouvement relatif. Il est difficile de comprendre que l'on puisse par exemple proposer : $\Delta t = (\Phi_0 - \Phi_1)/\omega_s$.

II.B - La dynamique d'approche

Un cran de difficulté supplémentaire dans ce problème très progressif est ici apporté par l'utilisation d'un développement limité vectoriel et de forces dues aux effets d'inertie.

II.B.1 Après certaines explications laissant le correcteur perplexe, que dire des copies annonçant un référentiel lié à l'ISS galiléen ?

II.B.2 L'énoncé précis des forces mises en jeu est simplement attendu. Leur expression détaillée sera établie par la suite, mais une certaine cohérence avec la question précédente est attendue !

II.B.3 Trop de candidats ont pioché une formule de composition des accélérations dans leur calcul. D'autres se montrent ici perspicaces, ce qui augure bien de la suite.

II.B.4 Cette question fait apparaître une réelle difficulté et correspond à beaucoup d'erreurs, voire d'abandons. La question n'est cependant pas très éloignée de développements assez classiques rencontrés par exemple avec les champs dipolaires. Le jury a particulièrement apprécié les candidats ayant l'honnêteté de reconnaître leur difficulté à trouver la correction en $-3z/r_s$ qui leur manque par la suite.

II.B.5 Les candidats sont récompensés par la bienveillance des correcteurs dans cette question, où une expression claire des termes intervenant dans l'équation du mouvement est exigée. Cette bienveillance ne vaut pas pour ceux qui feignent d'obtenir le bon résultat. Notons qu'une présentation en vecteurs colonnes, dans ce type de démonstration, offre une clarté indéniable, tant au candidat qu'au correcteur qui apprécie de ne pas aller à la pêche aux termes.

II.B.6, II.B.7 Ceux qui ont traité correctement les deux questions précédentes sont ici rejoints par d'autres qui ont préféré admettre le résultat, ce qui ne les empêche heureusement pas de tenter à nouveau leur chance. Est alors obtenue une équation de degré 2 ou de degré 3 pour $z(t)$. Les deux sont acceptables, mais la totalité des points implique dans tous les cas un ajustement correct de la solution aux conditions initiales. De grossières erreurs d'homogénéité sont particulièrement mal venues. Un manque de précision sera très pénalisant par la suite.

II.B.8 Il s'agit ici de vérifier les conditions d'obtention d'une solution telle que $z(t) = z_0$.

II.C - La phase d'approche radioguidée : du pré-homing au homing

II.C.1 v_s représente la vitesse de dérive de l'ATV dans le référentiel de l'ISS. Son signe positif est naturellement lié à $z_0 < 0$. Beaucoup de réponses aberrantes ont été lues.

II.C.2 La réponse à cette question nécessitait avant tout une lecture attentive de l'énoncé, ce qui n'est pas toujours le cas.

II.C.3 Dans ces conditions, fort peu de candidats obtiennent la limite « économique » $\Delta v = v_s/6$.

II.C.4 Ces courbes ont manifestement fait peur à la majorité des candidats. Trop peu utilisent correctement le changement de variable permettant pourtant une exploitation cohérente avec la question précédente.

II.C.5, II.C.6 Elles découlent facilement de ce qui précède.

II.D - Phase finale : le closing

II.D.1 Si l'ellipse est souvent identifiée, la question demande d'aller plus loin. Remettre en forme cette équation afin d'en extraire les demi grand axe et petit axe ne devrait pas être hors de portée.

II.D.2 Quelques résultats étonnamment complexes, quand il suffit d'une demi-période pour décrire la trajectoire recherchée.

II.D.3 Une simple phrase permet de voir si le candidat est en phase avec le sujet, ou bien s'il est davantage inspiré par une quelconque science-fiction cinématographique.

III. Autodestruction de l'ATV

III.A.1 Si la relation de Bernoulli est généralement connue, ses conditions d'application le sont moins. Lorsque l'incompressibilité de l'air est liée à la célérité de l'onde (ce qui est rare) elle est fréquemment confondue avec la célérité de la lumière.

III.A.2 Le jury peut admettre plusieurs réponses, si tant est qu'elles ne soient pas fantaisistes ! Une réponse invoquant le chauffage par le soleil reste heureusement anecdotique.

III.B.1 Beaucoup d'étourderies, en particulier en oubliant ou maltraitant l'inclinaison. Notons que lorsqu'un ordre de grandeur est attendu, il ne peut s'agir d'un nombre à 3 ou 4 chiffres significatifs.

III.B.2 Beaucoup de bricolage et peu d'utilisation claire du débit volumique.

III.C.1 Cette question, appelant la démonstration du cours, est largement récompensée. Si des candidats la traitent avec soin (bilan mis en jeu, termes différentiels), d'autres ne respectent pas les indications, égalent un scalaire à un vecteur...

III.C.2 Le coefficient de diffusion est souvent identifié mais son unité parfois fantaisiste. Les candidats ont vraisemblablement beaucoup de mal à écrire une équation en ordre de grandeur, ce qui est particulièrement préjudiciable.

III.C.3 Une dérivation composée perd de trop nombreux candidats, quand d'autres savent proposer une explication à l'expression de $j(z, t)$ à partir de l'équation de diffusion.

III.C.4, II.C.5 Ces questions semblent avoir fait peur à bon nombre de candidats, alors que la multiplicité des résultats demandés permettait d'engranger beaucoup de points facilement.

III.C.6 Utiliser l'équation de diffusion ou former une dérivée pose encore quelques problèmes.

III.C.7 La lecture de la courbe $P(\tau_{\text{exp}})$ est une formalité. L'intégration de $(\partial T / \partial t)_{(z=e, t)}$ ne gêne pas les très rares à avoir répondu à la question précédente.

III.C.8 Ceux qui pensent à tester la température en $z = 0$ sont récompensés. De même ceux qui savent commenter l'utilisation du régime établi dans l'aluminium.

III.C.9 Félicitations aux candidats qui ont su arriver à une conclusion positive !

Conclusions – Conseils et perspectives

Je jury a beaucoup apprécié les candidats ayant fait preuve d'un réel sens physique en s'attachant à faire partager leur enthousiasme : qu'ils soient remerciés ici pour leur pugnacité ! En revanche, il a beaucoup moins apprécié les candidats qui, allant glaner des points « faciles », semblent n'avoir pas fait corps avec le sujet, laissant le sens physique de cette épreuve leur échapper.

Le jury n'a pas du tout apprécié les trop nombreux candidats faisant preuve d'une malhonnêteté intellectuelle évidente. Il tient à leur rappeler, et à rappeler à tous les futurs candidats, que le métier d'ingénieur requiert de la rigueur et de l'honnêteté. Il tient également à rappeler que le candidat, tout comme l'ingénieur ou le chercheur, doit porter en lui le souci de se faire comprendre. Pour cela, il doit se souvenir qu'un petit schéma est bien souvent un support essentiel à la communication, et ne doit pas hésiter à se remettre en question, en particulier lorsque son résultat semble inhomogène ! Enfin, le jury aimerait amener le candidat à réfléchir sur le sens des valeurs numériques qu'il obtient : sont-elles plausibles ? Qu'appelle-t-on véritablement « chiffres significatifs » ? Si ce sont des chiffres sans signification car sans fondement, pourquoi les écrire ?

Le jury espère que ces quelques éléments de réflexion, tout en communiquant son enthousiasme devant la puissance de la physique, puissent permettre de mieux faire comprendre ses attentes aux futurs candidats auxquels il souhaite une réussite à la hauteur de leurs efforts.