

2.2.C - PHYSIQUE I - Filière PSI

I) REMARQUES GÉNÉRALES

Le sujet : modélisation des dunes de sable

Sur le thème des grains de sable, le sujet proposé aux candidats cette année comportait deux problèmes indépendants. Le premier explorait le thème du système à deux corps en Mécanique (parties I et II) ; le second s'intéressait aux flux et bilans en système ouvert, puis à la propagation d'ondes (partie III du sujet).

Certains candidats, tombant dans tous les pièges (même ceux que le sujet ne leur tendait pas), ont rendu des copies très décevantes. D'autres candidats ont fortement impressionné le jury par leur maîtrise du sujet et la qualité de leur rédaction. Le jury a aussi rencontré tous les intermédiaires possibles entre ces deux situations extrêmes. Le sujet a donc été particulièrement bien classant.

Comme il est d'usage, ce rapport insiste sur les erreurs commises ou les écueils à éviter. Ce choix conventionnel ne doit pas faire oublier la satisfaction rencontrée à la lecture des bonnes ou très bonnes copies, rédigées par des candidats que les correcteurs tiennent ici à féliciter.

Les remarques du jury sont regroupées plus bas en deux parties, concernant d'une part la forme que devrait prendre une copie de concours, et d'autre part le contenu, c'est-à-dire les connaissances et savoir-faire en Physique que ce sujet a permis d'évaluer.

Ce rapport a essentiellement été conçu comme une aide à la préparation à ce concours pour les futurs candidats. Il leur est conseillé de lire ce rapport avec le sujet en main et seulement après avoir relu et révisé le cours correspondant. Averti des bonnes pratiques et mis en garde contre les mauvaises, le jury souhaite aux candidats de tirer profit de la lecture de ce rapport.

À propos de la forme

Avec près de 3 000 candidats au Concours Commun pour la seule filière PSI, l'étudiant doit soigner la forme s'il veut être sûr d'être pleinement récompensé sur le fond. Même une copie pleine de « bonne Physique » sera mal notée si le correcteur peut difficilement la lire. Cela peut paraître surprenant à ce niveau, le jury doit malgré tout rappeler qu'il est indispensable d'écrire avec soin, de manière lisible, en suivant les quadrillages de la copie. Les schémas, souvent nécessaires, doivent être explicites et de grande taille. Enfin, le candidat doit rappeler le numéro de la question à laquelle il répond et mettre en valeur (encadrer, souligner, . . .) les résultats obtenus.

Répondre à une question de Physique, c'est en général rédiger, en français, un texte explicatif. La phrase doit être claire et compréhensible et le candidat doit donc se relire (questions 5. et 10. mais aussi 16, 17, 29). Il est presque toujours aussi indispensable de calculer, et ces calculs doivent être explicites, détaillés et justifiés (en particulier, voyez les questions 2, 5 ou 11).

Enfin, lorsqu'un résultat est fourni par l'énoncé, le jury s'attend évidemment à ce que tous les candidats obtiennent ce résultat ! Recopier celui-ci, même au terme d'une paraphrase confuse, n'apporte aucun point (question 18. par exemple). Au contraire, le candidat doit s'attacher à justifier plus soigneusement qu'à l'accoutumée chacune des étapes menant au résultat, puisque celui-ci est assuré.

Pour la correction des copies, le jury établit un barème très détaillé. Celui-ci est a priori favorable aux candidats puisqu'il prévoit toujours d'attribuer des points, même aux questions faciles (par exemple 1 à 3) ou à celles qui demandent seulement de réutiliser une expression fournie par l'énoncé (question 13 par exemple). Encore faut-il que le candidat se donne la peine d'écrire la réponse au bon endroit de la copie.

Le candidat qui commet une erreur et poursuit la résolution du problème à partir d'un résultat incorrect ne sera pas pénalisé au delà de la perte des points prévus au barème pour l'erreur qu'il a commise.

Il existe toutefois des limites à ce principe général de mansuétude. Le jury s'attend à voir le candidat s'inquiéter explicitement et par écrit lorsqu'un indice lui signale son erreur.

Parmi ces indices, l'étudiant doit repérer un résultat manifestement inhomogène (le sujet demandait d'ailleurs explicitement de vérifier l'homogénéité de certaines expressions, questions 9 ou 25) ou invraisemblable (une perte d'énergie par frottements, par exemple, ne peut pas être négative).

Les applications numériques sont une autre occasion de vérifier la vraisemblance des résultats obtenus. Ainsi, quand l'énoncé annonce, au début de la partie I, qu'on considère que $d \ll R$, le calcul numérique de d/R (question 9.) n'est pas demandé par hasard. Obtenir pour durée d'une collision entre grains de sable $t \sim 10^{-38}$ s doit faire dresser l'oreille ! Rappelons aussi à cette occasion qu'un résultat numérique n'est considéré comme exact que s'il est accompagné de l'indication de son unité (u_m ne se mesure pas en mètres), et s'il est indiqué avec un nombre de chiffres significatifs raisonnable (ni trop peu, ni trop).

Enfin, la confrontation avec les résultats fournis par l'énoncé (questions 14, 20 et 23) permet au candidat de repérer ses erreurs. Rappelons ici que, même si chaque sujet du concours commence par rappeler les mesures à prendre si le candidat repère une erreur d'énoncé, l'épreuve n'est pas pour autant une chasse au trésor dont le pompon serait l'erreur d'énoncé à trouver ! Beaucoup de candidats ont ainsi fait une erreur d'un pré-facteur numérique (souvent 2 ou 1/2) dans l'étude énergétique de la partie I. Le rappel de la question 14 dans la partie II fournissait le moyen de rectifier cette erreur.

II) REMARQUES PARTICULIERES

Les parties I et II relèvent de la dynamique des systèmes, et concernent en particulier l'étude des systèmes à deux corps. Bien que l'énoncé mentionne à plusieurs reprises les termes de choc ou de collision, discutant d'effets élastiques ou inélastiques, aucune connaissance à ce sujet n'était évidemment nécessaire pour répondre aux questions posées. A contrario, aucun candidat ne pouvait se contenter d'employer ces termes pour justifier leur réponse (questions 5, 6, 10, 11 et 12.) sans une seule ligne d'explication ou de calcul !

Le jury souhaite inviter les étudiants à se poser quelques questions auxquelles trop de candidats cette année n'ont pas répondu de manière satisfaisante. Il pourra aussi parfois être intéressant de retrouver dans quelle partie du sujet cette question se pose :

- La phrase *On prendra $E_p \geq 0$* dans l'énoncé d'une question portant sur l'énergie potentielle permet-elle de remplacer la relation $\vec{F} = \overrightarrow{\text{grad}} E_p$ par $\vec{F} = +\overrightarrow{\text{grad}} E_p$?
- Pour un système à deux corps, dans l'expression $\vec{F} = \overrightarrow{\text{grad}} E_p$, par rapport à quelle(s) variable(s) dérive-t-on pour calculer le gradient ?
- Pour le calcul de l'énergie mécanique d'un système, faut-il compter une seule fois ou deux fois l'énergie potentielle d'interaction entre deux corps constituant le système ?
- Si \vec{F}_{de} est une force dissipative et U_d l'énergie dissipée par cette force, peut-on écrire une des deux relations $\vec{F}_{\text{de}} = \pm \overrightarrow{\text{grad}} U_d$?
 - La diminution d'énergie mécanique due aux forces dissipatives internes à un système est-elle plus élevée dans le référentiel du laboratoire ou dans le référentiel barycentrique ?
 - La conservation de l'énergie mécanique d'un système implique-t-elle la conservation de sa quantité de mouvement (on pourra penser à la partie magnétique de la force de Lorentz) ?
 - La conservation de la quantité de mouvement d'un système implique-t-elle la conservation de son énergie mécanique (imaginez un ballon glissant sans frottement sur la glace horizontale, sous l'action d'un animal marchant au sommet du ballon) ?
 - La conservation de la quantité de mouvement d'un système implique-t-elle la conservation de la quantité de mouvement de chacune de ses parties (on pourra penser au système isolé de deux particules en interaction gravitationnelle ou électrostatique) ?

Revenant enfin sur quelques questions souvent maltraitées dans le sujet proposé cette année, le jury souhaite faire quelques remarques particulières.

Une quantité de mouvement (ou impulsion, ou résultante cinétique) n'est pas une grandeur énergétique, ni même une grandeur scalaire (questions 5 et 10), c'est une grandeur vectorielle.

L'expression d'une durée (question 8) ou d'un travail (question 14) sous forme intégrale est une application classique du théorème de l'énergie cinétique. Le jury aurait espéré voir ces questions mieux et plus souvent traitées. Beaucoup de candidats oublient la moitié de l'intégrale et calculent la durée ou le travail pour la première moitié de l'interaction seulement.

Au début de la partie II, l'énoncé propose la définition d'un coefficient de restitution qui aurait pu inspirer aux candidats l'emploi du modèle de la particule fictive (de vitesse $v_2 - v_1$) pour traiter un problème à deux corps. Au lieu de cela, un nombre élevé de copies a affirmé sans hésiter que l'énergie cinétique de deux masses égales animées des vitesses v_1 et v_2 est donnée par $E_c = 1/2 m(v_2 - v_1)^2$; ce résultat est en général faux dans le référentiel du laboratoire comme dans le référentiel barycentrique, mais il permettait d'aboutir rapidement à un résultat (faux aussi d'ailleurs) pour les questions 11 et 12.

Plus loin (question 17), il ne suffisait pas d'affirmer que l'énergie dissipée lors d'une collision diminue à faible vitesse (ce qui est d'ailleurs exact) pour en conclure que la diminution relative d'énergie cinétique décroît aussi à basse vitesse !

Tous les candidats qui ont établi avec soin un bilan pour un système bien défini ont justement obtenu tous les points prévus pour la question 18. Ceux qui ont invoqué une analogie imprécise avec l'équation de continuité $\text{div} \vec{J} + \frac{\partial l}{\partial t} = 0$ ou bien ont vaguement essayé de « remonter » du résultat fourni à une écriture différentielle ont en général échoué.

Enfin la détermination de la solution dite triviale de la question 24 n'était pas une question triviale. Il n'est en particulier pas besoin de supposer que la distance caractéristique de parcours de grains en reptation l_r est faible. Il n'est surtout pas raisonnable d'imaginer qu'un lit de sable horizontal ($h = \text{cste}$) se transforme (spécialement pour l'équation différentielle) en mur de sable vertical ($\cos \theta = 0$) comme le jury l'a lu plus d'une fois.

III) CONCLUSION

On ne sait si la phrase « Il n'est pas nécessaire d'espérer pour entreprendre, ni de réussir pour persévérer » doit être attribuée à Charles le Téméraire ou bien à Guillaume le Taciturne. Souhaitant ne mériter ni l'un ni l'autre surnom, l'auteur de ce rapport a, cette année encore, entrepris de contribuer, si peu que ce fut, à l'amélioration des copies de Physique des étudiants qui préparent ce concours.

Son vœu est que les candidats aux futures sessions lui donnent raison d'avoir persévéré.