

Physique 1

Présentation du sujet

L'épreuve porte sur l'étude physique de trois activités « sportives » : le skimboard, les ricochets et le skeleton. Chacune fait l'objet d'une partie indépendante des autres.

L'étude du skimboard évaluait de nombreuses compétences en mécanique des fluides. L'objectif de cette partie était d'établir en particulier l'expression de la force verticale assurant le maintien à flot du skimboard et de comprendre la nécessité d'une vitesse minimale permettant le mouvement.

L'étude des ricochets repose sur une modélisation simple dans le cadre de la mécanique du point. L'objectif final de cette partie est d'estimer, dans ce cadre, le nombre maximal de ricochets réalisables.

L'étude du skeleton aborde dans un premier temps son freinage par induction électromagnétique, que l'on cherche à optimiser, puis la thermodynamique de l'échauffement qui en résulte.

Analyse globale des résultats et comportement des candidats

Le sujet est très long et exige une très bonne maîtrise des concepts physiques et des techniques et démarches de résolution associées. Ceci explique que les différentes parties ne sont jamais traitées intégralement et que les candidats s'essayaient successivement aux différentes sous-parties. On peut regretter un éparpillement dans la recherche des candidats (grappillage de points) quand des difficultés apparaissent au lieu de persévérer dans la même sous-partie et d'essayer de profiter de l'investissement fait dans la compréhension initiale du problème étudié et du modèle associé.

De nombreux résultats à établir sont donnés dans l'énoncé, ce qui conduit une trop grande proportion de candidats à oublier la physique qu'ils connaissent pour obtenir le résultat attendu et ce au prix de manipulations intellectuellement malhonnêtes qui ne peuvent que laisser une impression très défavorable d'eux-mêmes aux correcteurs. Ces manipulations ont bien sûr été sanctionnées. Cette attitude est à proscrire absolument.

Si la présentation des copies est globalement satisfaisante, la rédaction est souvent confuse, voire parfois inexistante, laissant place, en guise de réponse, à de longues suites de calculs dépourvus de sens. Rappelons que le candidat doit, de manière précise mais concise, faire comprendre sa démarche aux correcteurs. C'est évidemment une compétence indispensable au métier d'ingénieur. Tendre vers cet objectif ne peut, par ailleurs, qu'être bénéfique au candidat qui doit alors nécessairement éclaircir ses idées sur le problème étudié.

Commentaires sur les réponses

Tout d'abord quelques remarques générales.

- Définir précisément les systèmes étudiés, puis appliquer les théorèmes sur ce même système est absolument fondamental, en mécanique et en thermodynamique en l'espèce.
- Quand l'établissement d'un résultat repose sur un certain nombre d'hypothèses il faut bien sûr les expliciter mais également montrer au correcteur où précisément elles interviennent et ne pas

se contenter de les rassembler tout d'un bloc en début ou en fin de calcul. L'attitude consistant à fournir beaucoup plus d'hypothèses que nécessaire est révélatrice d'un manque de maîtrise dans la conduite du raisonnement.

Partie I : Physique du skimboard

I.A.1.a Un raisonnement sur un système ouvert ou fermé était accepté, cependant il y a souvent confusion entre conservation de la masse du système fermé et stationnarité de l'écoulement. La qualité de la rédaction était essentielle dans cette question, le résultat étant donné.

I.A.1.b L'équation de conservation de la masse est bien connue. L'argument $\operatorname{div} \vec{v} = 0$ donc $v = \text{Cte}$ ne suffit pas. Levée du paradoxe : il ne suffisait pas de mentionner l'existence d'une composante verticale dans le champ de vitesse, encore fallait-il indiquer que cette composante devait dépendre de z .

I.A.1.c Il suffisait d'exploiter la forme particulière du champ de vitesse. Précisons qu'il ne suffit pas qu'un écoulement soit plan pour qu'il soit irrotationnel !

I.A.1.d Question intéressante qui permettait en même temps d'évaluer la connaissance du cours et la capacité du candidat à adapter l'énoncé du théorème de Bernoulli le plus finement possible à une situation particulière (ce dernier point étant d'ailleurs assez décevant). Il fallait préciser en outre si la constante qui intervenait dans la formule de Bernoulli était ou non la même dans tout l'écoulement.

I.A.2.a, b Questions sans difficultés et bien traitées.

I.A.2.c L'intégration sur la seule partie mouillée n'est que trop rarement justifiée. La suite du calcul est très souvent chaotique aboutissant sur une expression de λ fausse. De trop nombreux candidats ont d'ailleurs mené ce calcul en considérant la pression comme uniforme !

I.A.2.d Mêmes difficultés dans cette question, la notion et l'expression d'un moment semblant peu maîtrisées.

I.A.2.e Question mal traitée, faute de rigueur et de volonté de raisonner de manière à être convaincant. Le plus simple était d'étudier le système {planche + sportif} et d'exploiter la nullité de la résultante et du moment des actions extérieures.

I.A.3.a L'exploitation explicite de la stationnarité de l'écoulement était attendue dans la démarche. On note des erreurs d'homogénéité et de signe surprenantes pour un bilan pourtant très classique en mécanique des fluides.

I.A.3.b Question faisant appel à l'initiative du candidat. Elle n'a jamais été traitée convenablement. En particulier, compte tenu de la définition de \vec{F} , $-F_x$ n'était pas la composante suivant Ox de la force de la planche sur le système fluide étudié (2% de réponses justes).

I.A.3.c En conséquence question conclusive quasiment jamais traitée.

Les sous-parties B et C ont été très mal traitées, bien que souvent abordées.

I.B.1 On assiste ici à des sommets de malhonnêteté intellectuelle pour arriver au résultat : on n'hésite pas à écrire que le système est soumis à son seul poids, dont la projection sur l'horizontale est $-g\alpha$! Dans cette question en particulier il était plus que jamais nécessaire de définir correctement le système, ne serait-ce que pour décrire les actions s'exerçant sur lui et donc à prendre

en compte dans le théorème de la résultante cinétique ! Le fait que la vitesse était notée $-V\vec{u}_x$ a rarement été utilisée correctement.

I.B.2.a Question très difficile car peu guidée et jamais menée correctement jusqu'au bout.

I.B.2.b Cette question s'appuyait sur la dépendance de l_m avec V . Il fallait en particulier comprendre que la distance l_m devait être inférieure à la longueur de la planche.

I.B.2.c Question simple si l'on avait compris qu'il existait un lien entre l_m et la vitesse et si l'on savait exploiter correctement le graphe pour déterminer la vitesse limite assurant l'existence de la force portant le skimboard et l'enfant. Ce ne fut que très rarement le cas.

I.B.3 La viscosité a bien sûr été souvent évoquée, mais toute réponse pertinente était acceptée.

I.C.1 Bilan de quantité de mouvement plus sophistiqué qu'en I.A.3 car il y avait deux masses sortantes. On constate des erreurs dans les divers débits massiques intervenant, dans les sens, voire même dans le nombre de masses sortantes !

I.C.2 De manière encore plus marquée qu'en I.A.3.b, l'expression de la résultante suivant Ox des actions s'exerçant sur le système n'a jamais été obtenue.

I.C.3 Ce qui fait que la valeur de d qui découlait d'un travail précédent propre n'est presque jamais obtenue.

Partie II : Physique des ricochets

II.A.1 Le signe moins dans l'expression de S_{im} a souvent été oublié. Ceci a donné lieu dans les questions qui suivent à des tentatives plus ou moins discrètes (mais toujours détectées par le jury) au niveau de l'écriture du théorème de la résultante cinétique, pour rétablir les choses, afin de parvenir malgré tout à l'équation différentielle harmonique attendue.

II.A.2 Plutôt bien traitée.

II.A.3.a Compte tenu de l'erreur de signe dans l'expression de S_{im} seulement 20% de bonnes réponses.

II.A.3.b Question simple de résolution de l'équation différentielle avec prise en compte des conditions initiales, plutôt bien traitée mais pas toujours !

II.A.3.c La recherche du temps correspondant au minimum de z , puis son injection dans l'équation horaire du mouvement était très maladroite. Les réponses constituées d'un imbroglio de cos, de sin et d'arctan, quasiment inexploitables, comme le prouvent en général les questions suivantes, n'ont pas été récompensées. Il était beaucoup plus efficace de rechercher cet extrémum en voyant dans l'expression de $z(t)$ la somme de deux termes sinusoidaux synchrones et en quadrature ou alors de transformer l'expression de $z(t)$ sous une forme plus exploitable. Par ailleurs la confusion entre z (altitude) et profondeur a été extrêmement fréquente.

II.A.3.d L'établissement de la formule est très rare, car la condition entre z_{min} et $a \sin \theta$ pour que le galet ne coule pas a souvent fait l'objet d'erreurs de signe. Seule l'application numérique a rencontré quelques succès.

II.A.4 Une comparaison numérique entre g/ω_0^2 et $v_0 z/\omega_0$ (ou équivalent) était attendue.

II.A.5.a, b Il fallait exploiter l'équation différentielle donnant d^2x/dt^2 , après y avoir injecté $z(t)$. Le calcul long et délicat n'a presque jamais été mené jusqu'au bout.

II.B.1.a Dans l'écriture du théorème de l'énergie cinétique, le travail du poids est souvent omis. Les candidats devoient fréquemment le théorème de l'énergie cinétique pour arriver au résultat attendu. Par exemple on ne fait intervenir que le travail des forces non conservatives et/ou on affirme froidement que F_z et le poids se compensent, pour ne laisser subsister que F_x dans l'intégrale!

II.B.1.b Aucune difficulté, mais peu de bonnes réponses.

II.B.1.c Plusieurs démarches, plus ou moins simples, étaient possibles pour aboutir. La qualité des explications était cependant fondamentale pour obtenir tous les points de la question. Une simple affirmation de $F_z = mg$ (qui permet d'arriver très simplement au résultat) n'était sous cet éclairage pas suffisant.

II.B.2 Les valeurs numériques proposées amenaient une évaluation du nombre de rebonds de l'ordre de 4500. Là encore la question était simple pour qui avait compris la démarche proposée dans les questions précédentes, mais placée en fin de partie elle ne fut qu'assez peu abordée.

Partie III : Physique du skeleton

III.A.1 Ici encore, le poids est souvent présenté comme la seule force à laquelle le système est soumis. La définition d'une pente à 5% pose apparemment problème à beaucoup. Une démarche utilisant des considérations énergétiques permettait de conclure en quelques lignes. Les candidats, ayant choisi de passer par la détermination de la loi horaire du mouvement, ont sans doute perdu du temps. Rappelons que la faculté de prendre quelques instants d'analyse et de réflexion afin de déterminer la démarche la plus efficace pour résoudre un problème est une qualité importante.

III.B.1.a Le jury attendait des candidats, pour ce problème très classique d'induction, qu'ils orientent sans ambiguïté le contour, qu'ils algébrisent explicitement le flux, puis la force électromotrice et le courant induit. Les domaines d'intégration doivent être eux aussi explicités. Le sens de la résultante des forces de Laplace est souvent déterminé un peu au hasard alors que la loi de Lenz aurait dû être un allié de choix pour vérifier la cohérence des calculs.

III.B.2 On attendait une description claire des différentes phases du mouvement, en liaison avec la constance ou la variation du flux à travers le cadre. Par ailleurs peu de candidats justifient le fait que, lors de la sortie du cadre du champ magnétique, la force était encore une force de freinage (la situation était similaire à celle étudiée avant, mais la force de Laplace s'exerçait cette fois sur l'arrière du cadre!). Un argument utilisant la loi de Lenz était pourtant suffisant.

III.B.3 Une ambiguïté existait quant à la définition d'une zone de freinage. Le jury a bien sûr accepté les différentes interprétations possibles.

III.B.4.a, b Il ne fallait pas aller trop vite pour déterminer la durée de chaque phase de freinage, celle-ci dépendant de la vitesse d'entrée. Certains candidats constatant que la durée de freinage était théoriquement infinie, ont fait part de commentaires pertinents.

III.C.1 Le système sur lequel porte le bilan est rarement défini. L'équation de la chaleur est souvent établie à une dimension seulement. La justification de l'identification entre le transfert thermique reçu et la variation de U ou de H est très rare.

III.C.2 La relation classique permettant d'évaluer le temps caractéristique des transferts thermiques est connue et plutôt bien utilisée par ceux qui abordent la question.

III.C.3, III.C.4.a, b, III.C.5.a, b, c Placées en fin de problème ces questions n'ont presque jamais été abordées. Quand ce fut le cas, le manque de rigueur dans la définition du système et, partant, de sa surface d'échange, a conduit à des calculs faux. Dans le tracé de la question III.C.5.b, on attendait que le paramètre x ne prenne logiquement que des valeurs supérieures à l'unité : il ne faut pas perdre de vue ce que représentent physiquement les symboles manipulés.

Conclusions

Ce sujet, intéressant par l'illustration du fait que les connaissances en sciences physiques acquises au cours des deux années de classes préparatoires permettent d'aborder de manière quantitative des systèmes n'appartenant traditionnellement pas au champ académique de la physique, était très exigeant vis-à-vis des candidats : des qualités de compréhension, de rédaction, d'analyse et d'initiative, tout comme pour le métier d'ingénieur, étaient indispensables. La leçon à tirer est que l'étude du programme du cours de physique doit s'accompagner de manière indispensable de la volonté d'ancrer solidement, dans la compréhension et la pratique, les concepts et les lois étudiés.

Nous ne pouvons qu'encourager les futurs candidats, en la matière, à suivre, avec application, les conseils prodigués par leurs professeurs tout au long de l'année.