

Composition de Physique et Sciences de l'Ingénieur, Filière MP**Rapport de M.Benoît MOSSER, correcteur.**

Ce problème s'intéresse à des questions de métrologie : comment définir l'unité de masse, comment la définir sans étalon matériel, comment comparer 2 étalons entre eux.

La première partie correspond à une succession d'exercices découplés les uns des autres, abordant diverses causes d'erreurs de la comparaison de 2 étalons.

La deuxième partie expose le principe de la balance du watt : elle montre comment deux puissances se comparent, l'une liée au poids de la masse considérée, l'autre étant une mesure de puissance électrique. Un sous-système du dispositif expérimental, le guidage en translation d'un plateau de la balance, est étudié en troisième partie. La commande en position et son asservissement sont abordés en quatrième partie.

La dernière partie, très courte, expose succinctement le principe d'un étalon non matériel avec la balance du watt.

Les différents aspects de la problématique scientifique relevant de nombreux points des programmes de physique et de sciences pour l'ingénieur, les candidats ont pu montrer leur compétences dans de nombreux domaines, ou choisir l'une ou l'autre partie en fonction de leur goût.

De nombreuses questions pouvaient être abordées de diverses manières, supportant une argumentation de type mathématique, ou physique, ou un raisonnement qualitatif montrant sans calcul la compréhension fine du principe ou du système étudié. Le problème permettait ainsi de mettre en valeur plutôt les candidats à l'esprit analytique. La moitié du barème était accordée aux remarques liminaires, explicatives ou conclusives, plutôt qu'au seul résultat brut.

Les bons candidats (le premier quart) ont vu leur points gagnés à 55% dans les questions de physique et 45% en sciences de l'ingénieur.

La moyenne de l'épreuve s'établit à 9.4/20 (10.1/20 pour les candidats français), avec un écart-type de 3.6, et des notes se répartissant selon le tableau suivant :

$0 \leq N < 4$	13	1,8%
$4 \leq N < 8$	170	23,5%
$8 \leq N < 12$	333	46,1%
$12 \leq N < 16$	170	23,5%
$16 \leq N \leq 20$	37	5,1%
Total	723	100 %
Nombre de copies : 723		
Note moyenne 10,17		
Écart-type : 3,40		

Partie I

1.1) A elle-seule, cette question aurait presque suffi à départager les candidats, tant la corrélation entre sa réussite et la note finale est élevée. Elle a mis en évidence les candidats n'ayant pas leur place dans ce concours (donnant une condition sur le rayon R du cylindre pas même homogène), ceux n'ayant pas un sens physique pratique (reliant le rayon R à la hauteur H par une fonction complexe du volume V du cylindre), jusqu'à ceux ayant compris l'intérêt de comparer rayon et hauteur du cylindre, et fournissant des applications numériques correctes.

Alors que, d'habitude, les résultats numériques sont donnés avec un nombre de chiffres plutôt trop élevé, et non significatif, on a assisté ici à la tendance inverse : des rayons et volumes donnés avec 1 ou 2 chiffres seulement. Sûrement certains candidats ont-ils été trompés par la donnée de la masse de 1 kg, et non 1.0000000... kg. Pour un étalon, « 1 » est à comprendre comme unité, et donc précis à la précision ultime près. Plus grave, certains candidats ont mené leurs calculs avec peu de chiffres significatifs et des erreurs d'arrondi s'accumulant... ils ont été bien évidemment sanctionnés.

1.2) Le sens de la question n'a pas été compris par 1/3 des candidats, par manque de compréhension de l'étude physique demandée (la comparaison de 2 étalons de composition différente).

Une question qualitative telle la question 1.2.3 n'appelle pas nécessairement une réponse juste (la manière dont la poussée d'Archimède est traitée en pratique ne peut pas être déterminée de façon univoque par le candidat, simplement par manque d'information) mais une discussion pertinente, montrant que les enjeux sont compris.

1.3) Presque la moitié des candidats a discuté du signe du potentiel, et déduit de ce seul signe le sens de la force en jeu. Baser le raisonnement sur le seul signe du potentiel relève d'un grave contresens : ce n'est pas le signe de l'énergie potentielle qui prime, mais celui de sa dérivée.

Ensuite, plus d'un tiers des candidats a incriminé l'interaction gravitationnelle. Soyons juste : à cette échelle, la gravitation est lavée de tout soupçon. On a vu aussi apparaître le concept intéressant d'*attraction répulsive*.

Une coquille dans l'énoncé, sans conséquence, a été remarquée par les candidats ayant appris à analyser dimensions et unités pour écrire de la bonne physique : un point a

été rajouté au barème pour une juste récompense. L'application numérique mesurant la masse d'eau adsorbée a prêté aux maladresses habituelles à ce genre de question, avec des applications numériques balayant des valeurs de la masse de l'électron à une fraction non négligeable du kilogramme étalon. Rappelons qu'il est indispensable de porter un regard critique sur le résultat numérique que l'on trouve. A l'origine de ces bévues, on devine le plus souvent une erreur d'unités, ainsi qu'une erreur trop souvent présente : la masse volumique de l'eau ne vaut pas 1 kg m^{-3} !

1.4) La question 1.4.2 a été très souvent traitée de façon très laborieuse, avec des développements limités à n'en plus finir, alors que sa résolution technique est directe avec une dérivée logarithmique, bien adaptée à l'étude des variations relatives d'une fonction monomiale.

La détermination de l'erreur *algébrique* sur la masse n'a été que très rarement convenablement élucidée.

1.5) Le calcul du champ magnétique n'a pas été sans peine : les arguments à faire valoir, d'invariance et de symétrie, sont à introduire dans le bon ordre, et à bon escient.

L'éventuelle interaction entre les 2 aimants, à la question 1.5.4, a été introduite par certains candidats, et les a ennuyés pour rien, vu la position fixe de ses aimants l'un par rapport à l'autre. Mais cette question a surtout vu une grande confusion entre extremum d'une force et extremum d'une énergie potentielle d'interaction.

Le taux de réponses justes à cette question 1.5.4 a été très bas : il y avait différents moyens de conclure, du plus long (le calcul de la dérivée de la résultante de forces) au plus direct (une analyse de symétrie et de parité), et la question s'est avérée très sélective, contrairement à la question 1.5.5 qui nécessitait essentiellement d'avoir compris le principe de la mesure.

Partie II

Cette 2ème partie a pu être court-circuitée sans incidence par un quart des candidats, préférant travailler les parties suivantes.

2.1) Cette question sans chausse trappe méritait un schéma ou bien des explications convaincantes sur la géométrie des grandeurs vectorielles en jeu, pour être récompensée de tous les points au barème.

2.2) Les erreurs de signe à cette question rattrapant celles de la question précédente ont été sanctionnées. La justification du nom de *balance du watt* a permis de bien mettre en évidence les candidats capables en une phrase de français correct d'exprimer une idée juste et précise.

2.3) Cette question a été sélective : applications numériques erronées ; analyse des déplacements mal menée. Mais surtout la décomposition de la phase statique en 2 étapes n'a été bien comprise que par 1 copie sur 15.

2.4) Répéter à cette question les éléments de réponse déjà donnés dans le cadre plus restreint des questions précédentes ne servait à rien. Peu de candidats ont compris comment tenir compte de la non uniformité du champ magnétique, en gardant une écriture vectorielle et sans projection.

Partie III

3.1, 3.2) L'analyse de la figure 7 introduisant les notations, dont l'angle θ , a été bien menée par 2/3 des copies. La justification de la liaison pivot a souvent été trop rapide, et la pertinence de la liaison mal analysée, pour cause de développement limité de la fonction tangente mal maîtrisé.

3.3) Cette question a pu être mal abordée, par des candidats s'appuyant sur la figure 10, contrairement à l'indication de l'énoncé faisant référence à la figure 8. Si le graphe des liaisons associé à la modélisation n'a pas posé de problème, il n'en a pas été de même pour l'écriture du torseur cinématique de la liaison équivalente. De nombreux candidats, par un raisonnement qualitatif, sont parvenus au résultat sans calcul.

3.4) Cette question a montré que la notion d'hyperstatisme n'est pas comprise d'un gros quart des candidats. Notons que, là encore, un raisonnement qualitatif pouvait permettre de conclure, indépendamment de tout calcul.

3.5, 3.6) La justification de la liaison équivalente à l'assemblage des 3 bras nécessitait l'étude de la compatibilité cinématique des 3 torseurs au point D . La solution pouvait être menée par le calcul, ou par l'analyse des mouvements possibles à l'intersection de 3 plans à 120° l'un de l'autre.

3.7, 3.8, 3.9) Les réponses à ces questions qualitatives ont le plus souvent été mal ciblées. La plupart des candidats ont discuté sur la longueur des bras, imaginant bizarrement que des ingénieurs gérant un tel projet étaient incapables de concevoir des bras assez longs pour se rejoindre en D . Le véritable objet de la discussion (concourance des plans des 3 bras, jeux éventuels. . .) n'a été que trop rarement abordé.

3.10 → 3.15) Très normalement, l'orientation des angles à la question 3.10 a causé des difficultés à la moitié des étudiants abordant cette partie (mais il était le plus souvent possible de poursuivre valablement la discussion, sous couvert de la cohérence interne de l'étude). La fermeture géométrique a souvent gardé une écriture inutilisable, ne permettant pas ensuite de mener les approximations raisonnables pour estimer les valeurs extrêmes des rotations des pivots et de la translation de la glissière équivalente.

3.16) Trois candidats seulement ont répondu de façon satisfaisante à cette question.

Partie IV

Cette partie a été abordée par 3/4 des candidats.

4.1) Cette question n'a posé aucune difficulté dans la très grande majorité des cas.

4.2, 4.3) La présence de 2 boucles de rétroaction a compliqué la tâche pour exprimer la sortie du système en boucle ouverte ; moins de difficulté en revanche pour l'expression en boucle fermée. Vu la longueur de l'expression du résultat, on a bien sûr vu de nombreuses écritures correctes, mais bon nombre de candidats se sont vraiment compliqués la tâche en dénichant des factorisations aussi extravagantes qu'inutiles... et nuisibles à la justesse des calculs ultérieurs.

4.4) Beaucoup d'approximations sur la notion de l'erreur statique ont été rencontrées.

4.5) Cette question a posé de lourdes difficultés à certains candidats, incapables de simplifier une expression du type $(1 - x^2)^2 + 2x^2$. La suite s'en ressentait.

4.6, 4.7) La définition de la pulsation ω_c , pourtant donnée, n'a pas suffi à bien orienter un tiers des candidats.

4.8, 4.9) A partir de ces questions, le taux de réponses a chuté à environ 10%.

4.10) Le correcteur proposé a été dénommé de manières fort diverses ; les principales erreurs sont dues à une analyse mélangée des 2 phénomènes introduits par l'énoncé (échelon en entrée, et perturbation).

4.11) Environ 1 candidat sur 50 a pu proposer une identification raisonnable entre les coefficients du polynôme proposé et les paramètres physiques de l'asservissement.

4.12 → 4.14) Les candidats à l'aise en sciences de l'ingénieur ont pu glaner des points utiles, en montrant leur capacité à analyser un léger changement dans l'asservissement et à exprimer ses conséquences simplement, sans calcul inutile.

Partie V

Peu de candidats sont arrivés à cette cinquième partie : plus nombreux sont ceux qui l'ont abordée en passant sur les précédentes. La question 5.1 ne posait pas de difficulté, les suivantes nécessitaient d'avoir compris le sens du protocole d'étalonnage proposé.