

Composition de Physique, Filière MP

Rapport de MM. Florin CONSTANTIN et Thierry MELIN, correcteurs

La composition de physique proposait une étude complète, en trois parties, d'un système de détection de rayonnement millimétrique couplé à une antenne collectrice.

La première partie, portant sur le principe de détection du rayonnement avec un bolomètre fait appel à des notions simples d'électricité et de thermodynamique, la seconde partie aborde le dispositif cryogénique du bolomètre à travers une étude de transfert thermique, enfin, la troisième partie traite le dispositif optique qui permet de coupler le rayonnement au détecteur et aborde la question de la sensibilité du système de détection.

Nous avons utilisé pour la correction un barème qui accordait des poids relatifs de l'ordre de 3, 2 et 3 pour chacune des parties.

Les notes des 1457 candidats français se répartissent selon le tableau suivant :

$0 \leq N < 4$	139	9,5%
$4 \leq N < 8$	606	41,6%
$8 \leq N < 12$	489	33,6%
$12 \leq N < 16$	176	12,1%
$16 \leq N \leq 20$	47	3,2%
Total	1457	100 %
Nombre de copies : 1457		
Note moyenne 8,29		
Écart-type : 3,61		

La moyenne s'établit à 8,29 et l'écart-type à 3,61.

Les candidats ont abordé en général les trois parties dans l'ordre proposé, ce qui a conduit, au vu de la durée limitée de l'épreuve, à des résultats moyens sur les parties **II** et **III** qui se sont révélées ainsi très sélectives. La moyenne relativement faible traduit les difficultés rencontrées par les candidats lorsqu'ils abordent un problème pluridisciplinaire.

Quelques remarques d'ordre général :

- Les candidats accordent peu d'importance aux différents commentaires physiques qui sont demandés dans le sujet, même lorsqu'ils réussissent à mettre en équation et résoudre correctement le problème demandé.
- Que dire de la compréhension du phénomène physique en jeu lorsque certains candidats se bornent à assimiler la grandeur τ_e demandée en **I.2.d** à un simple temps

caractéristique du système ?

- Les discussions d'ordre expérimental, telles que celles demandées par exemple en **III.2.d** ou **III.3.e** sont trop peu développées dans les copies. Elles auraient permis aux candidats de mettre en valeur leur culture scientifique et d'obtenir des points précieux.

Partie I

1.a) Question bien traitée, mais nombre de réponses sont restées purement intuitives, et non justifiées.

1.b) L'expression de $P_c(T_0)$ a souvent été correcte, mais pas celle de G , donnée comme l'opposée ou l'inverse de la conductance attendue. Certains candidats proposent une expression fautive de $P_c(T_0)$ qui dépend quadratiquement de $(T_b - T_0)$, à partir d'une analogie hasardeuse avec la loi de Joule.

1.c) Beaucoup de candidats ont occulté dans leur réponse la variation de la résistance $R(T_0)$... avec T_0 !

2.a) et 2.b) Questions généralement bien traitées.

2.c) Le bilan thermique a été trop fréquemment mal écrit : erreurs de signe, composantes d'équilibre non simplifiées dans l'équation différentielle obtenue. Des candidats peu observateurs ont pu trouver un signe de α positif, et donc incorrect, alors qu'une valeur numérique négative de α était fournie par l'énoncé dans la question **I.2.e**. D'autres, moins scrupuleux, ont donné un signe de α négatif en accord avec la donnée numérique de la question **I.2.e**, ... mais à l'issue d'un calcul faux. Certains candidats ont clairement identifié le signe de α à partir de la stabilité de l'équilibre thermique qui requiert que lorsqu'on alimente le bolomètre à courant constant, la puissance dissipée par effet Joule doit diminuer lors de l'augmentation de la température.

2.d) Question généralement bien traitée si la question **I.2.c** l'avait été. L'interprétation de τ_e a été décevante, une grande fraction des candidats se limitant à considérer τ_e comme un simple temps caractéristique du système. Les réponses mettant en avant le caractère de filtre passe-bas du système, ou encore la limitation fréquentielle liée à l'inertie thermique du bolomètre ont été appréciées.

2.e) Application numérique généralement bien traitée lorsque la question **I.2.d** l'avait été. Un signe moins disparaît là encore pour les candidats peu scrupuleux, alors que d'autres pensent justifier une valeur de τ_e négative avec un constat sur l'instabilité du filtre, sans remettre en cause les résultats obtenus à la question **I.2.c**.

2.f) Question ayant posé peu de problèmes. Les candidats ont présenté le résultat

numérique en explicitant des unités de mesure de base (A^{-1}) ou dérivées (V/W). Certains ont laissé aux correcteurs le soin de les déterminer (unité SI) et concluent hâtivement sur une haute sensibilité du bolomètre à partir d'une valeur numérique donnée sans son unité!

3.a) La majorité des candidats a préféré mettre en oeuvre une solution avec passage en notation complexe. Beaucoup de candidats se sont embrouillés dans le calcul des moyennes temporelles des grandeurs réelles associées.

3.b), 3.c) et 3.d) Il est étonnant de constater le nombre de candidats qui ont eu des difficultés au niveau de la définition de la moyenne statistique et des limites d'intégration. Ceci a fait apparaître des résultats à des facteurs multiplicateurs près. Enfin, quelques candidats interprètent le résultat obtenu en **I.3.c** en faisant le lien entre le résultat obtenu pour la valeur moyenne de l'énergie stockée dans le condensateur et le théorème de l'équipartition de l'énergie pour un système à un degré de liberté.

3.e) Cette application numérique est sans difficulté particulière lorsque la question **3.d** a été traitée correctement. L'unité de mesure n'a pas toujours été bien explicitée.

4.a) Le calcul de la tension de sortie du montage amplificateur a été réalisé correctement par la majorité des candidats. Cependant, l'intérêt de $R_p \gg R_t$ est perçu comme une simplification des équations apportant une réponse linéaire au système, sans voir que ce choix permet avant tout de ne pas modifier au premier ordre le courant circulant dans le bolomètre, et donc l'équilibre de ce dernier. De même, le rôle de l'impédance d'entrée infinie du bolomètre n'a été que trop peu souligné.

4.b) Les erreurs ont essentiellement porté sur le signe du décalage en tension de sortie. L'utilisation d'une tension V_a alternative a été bien justifiée, mais pas l'utilisation d'un signal carré afin de dissiper une puissance instantanée constante dans le bolomètre.

4.c) et 4.d) L'expression de R_3 a généralement été bien obtenue. Le report des résultats du **I.2** a été moins fructueux.

4.e) Peu de succès ici, hormis pour l'application numérique de R_3 . Seulement quelques candidats ont indiqué correctement le signe et les unités de mesure de la constante numérique reliant V_s et $p(t)$.

Partie II

1.a) Question facile et bien traitée en général.

1.b) Cette question (tout comme la question **II.2.b**) s'est avérée très sélective. Les candidats n'ont pas toujours pris le soin ou le temps d'écrire proprement les bilans d'équi-

libre thermique entre les parois, quoique très accessibles par un raisonnement simple. Il en a découlé de nombreuses erreurs sur les puissances émises par radiation par les parois aux températures T_1 et T_2 (facteur 2), ou encore l'apparition de capacités calorifiques des fluides cryogéniques dans les bilans.

1.c) Question sélective également, et ce, dès le calcul de la surface S ! Quelques candidats négligent également de traiter les applications numériques, même avec les résultats corrects au **II.1.b**.

2.a) Si les calculs des énergies absorbées ont souvent été bien effectués, les réponses quant à l'intérêt du système de refroidissement décrit dans cette question ont été plus embrouillées. A titre d'illustration, le pouvoir refroidissant de chaque système cryogénique est assimilé à l'énergie totale absorbée par l'hélium (ou de l'azote) pour passer de l'état solide à 290K et certains candidats choisissent le fluide qui absorbe le minimum d'énergie.

2.b) Même remarque qu'au **II.1.b** : dans le bilan thermique il apparaît souvent les expressions des puissances émises par radiation à des facteurs 2 près, et la puissance transférée par l'hélium à l'échangeur de chaleur au signe près.

2.c) Question calculatoire, relativement bien traitée pour les copies ayant correctement appréhendé le **II.2.b**.

3) Du fait de la sélectivité de la partie **II**, peu de bonnes réponses ici.

Partie III

1.a) Il est étonnant de constater le nombre de candidats qui ne maîtrisent pas les lois de conjugaison. Si les candidats ont eu peu de problèmes à construire la position sur M_2 du rayon réfléchi par M_1 , il n'en n'a pas été de même pour construire l'image finale après réflexion sur M_2 . Des candidats astucieux ont construit ce point en utilisant le centre C_2 du miroir M_2 sur le graphique.

1.b) Les erreurs les plus fréquentes correspondent à des erreurs de signe dans l'expression de $\overline{S_2 F_2}$ en fonction de f_2 , ou de facteur 2 dans l'expression de $S_2 C_2$ en fonction de f_2 .

1.c) Question généralement bien traitée. L'utilisation de schémas était ici la bienvenue, s'ils étaient toutefois explicites. Certains candidats ont préféré démontrer mathématiquement les inégalités en question à partir des résultats du **III.1.b** sans se soucier de l'interprétation physique.

1.d) Cette question a été assez moyennement appréhendée. Peu de candidats arrivent à mettre en forme la question posée (équation du second degré). Et parmi ceux-ci, une

faible proportion seulement prend le soin d'examiner le bien-fondé physique des solutions mathématiques de l'équation du second degré, afin d'extraire les valeurs extrêmes de $F_1 S_2$.

2.a), 2.b) et 2.c) Questions relativement bien traitées.

2.d) La compacité du montage Cassegrain a souvent été mise en avant. Peu de candidats se rendent compte des avantages intrinsèques du système Cassegrain par rapport à une lentille pour collecter le rayonnement dans le domaine spectral millimétrique. Si la possibilité d'une mise en oeuvre aisée de miroirs avec une surface collectrice plus grande que celle d'une lentille est évoquée dans certaines copies, il n'y a pas eu de commentaires sur le coefficient de réflexion des miroirs ou sur la transmission et les effets de dispersion dans une lentille.

2.e) Question bien traitée.

3.a) Simple question demandant des notions de géométrie élémentaire qui a cependant pu mettre en difficulté les candidats.

3.b) et 3.c) Questions mathématiques, assez fréquemment abordées et bien traitées. Pour aboutir au résultat demandé, certains candidats ont su s'appuyer sur la formule donnée en **3.a)**, sans la démontrer en préalable.

3.d) De nombreuses réponses intuitives. Peu de candidats ont choisi de s'appuyer sur des schémas présentant le trajet des rayons dans le collecteur dans les différents cas de figure possibles.

3.e) La propriété de filtrage directionnel a été souvent remarquée, tandis que l'effet de focalisation du rayonnement millimétrique sur la surface sensible du bolomètre n'a pas été envisagée.

4.a) La valeur de a a souvent été calculée correctement, mais peu de copies donnent la propriété observationnelle correspondante (pas de limitation par la diffraction).

4.b) Question peu traitée par les candidats car elle nécessitait de faire la synthèse de l'ensemble des résultats obtenus en **III.3** et **III.4.a**.

5) Cette question qui faisait appel à un résultat de la fin de la première partie a été peu traitée. Quelques copies aboutissent malgré tout à un ordre de grandeur correct de la distance d'observation et la comparent spontanément à la distance Terre-Lune.