

# EPREUVE ECRITE DE PHYSIQUE

ENS : PARIS

*Coefficient* : MP 7 / MPI 6

**MEMBRES DE JURYS : M.-C. ANGONIN, E. BRUNET et P.-F. COHADON**

Le sujet portait sur différents aspects de la mesure de la force de Casimir. Il était volontairement très long, afin de permettre aux candidats de s'exprimer sur de nombreux aspects du programme : mécanique, optique physique, électromagnétisme, ... Aucun candidat ne l'a traité en intégralité, mais de nombreux candidats en ont traité une partie significative et à l'exception de la fin de la cinquième partie, toutes les questions ont été abordées par au moins un candidat.

Signalons une erreur dans l'énoncé : à la fin de la partie 5.1, l'équation (11) régissant l'évolution temporelle de  $v_s$  comportait une erreur de signe (un signe – faux devant  $v_s$ ), ce qui rendait son régime transitoire (artificiellement) instable. Le jury a pris soin d'éviter que cette erreur d'énoncé ne pénalise les rares candidats ayant traité cette question.

Le jury regrette le manque de soin apporté par les candidats à justifier de façon concise leurs résultats et à les vérifier : se ramener à des cas simples ou vérifier l'homogénéité d'une formule permet très souvent de détecter une erreur. Trop peu de candidats le font. C'est particulièrement choquant quand ils écrivent des formules manifestement non homogènes ; les correcteurs ont ainsi vu beaucoup de copies où les candidats avaient écrit qu'une intensité lumineuse était égale à une intensité lumineuse divisée par une longueur.

A l'inverse, de nombreux candidats ont recours de façon systématique à leur calculatrice, alors que les correcteurs ont volontairement choisi la difficulté des calculs proposés par l'énoncé afin de tester leur maîtrise et leur habileté. Utiliser une calculatrice pour calculer une intégrale exigeant un changement de variable simple ou résoudre un système linéaire  $2 \times 2$  conduit de plus bien souvent à des résultats inutilisables, avec des expressions algébriques délicates à simplifier dans les cas limites proposés par l'énoncé. Enfin, signalons que calculer avec cinq décimales le  $\chi^2$  associé aux points expérimentaux fournis (avec deux décimales) dans l'énoncé démontre une méconnaissance totale de l'utilité des chiffres significatifs. Le jury se réserve en conséquence le droit d'interdire à l'avenir l'utilisation de toute calculatrice pour cette épreuve (en le signalant dans l'en-tête du sujet).

Enfin, il faut déplorer qu'un nombre considérable de candidats ont franchi la ligne rouge en termes de présentation : fautes d'orthographe, de syntaxe, écriture illisible, phrases qui se terminent dans le vide ou qui ne veulent rien dire (même lues plusieurs fois), pages entières parsemées de ratures et de traces de liquide correcteur, ... ont été le lot commun des correcteurs. Les candidats rendant de telles copies doivent être conscients qu'ils sont sanctionnés, ne serait-ce qu'indirectement (pour l'instant) par l'exaspération des correcteurs qui ne les incite pas à l'indulgence.

Les correcteurs ont néanmoins eu le plaisir de lire quelques excellentes copies, où les candidats ont su faire la preuve d'un réel sens physique associé à une bonne maîtrise de l'outil mathématique, ce qui leur a permis de proposer une discussion intéressante des phénomènes physiques étudiés.

Dans le détail des différentes parties :

### **Première partie :**

**1.1.1 :** On attendait des candidats qu'ils écrivent explicitement quelle était la conséquence de l'indépendance des grandeurs  $X_1$  et  $X_2$ , au lieu de se contenter de simplifier les calculs pour trouver le résultat demandé sans réelle justification.

**1.1.2 :** Montrer que la somme des  $N$  résultats a une variance multipliée par  $N$  ne montre certainement pas qu'effectuer cette somme améliore la précision de l'expérience : il fallait s'intéresser à la moyenne de ces  $N$  résultats (dont la variance est la variance d'une mesure individuelle divisée par  $N$ ) pour montrer le résultat demandé.

**1.2.1.1 :** La conservation de la quantité de mouvement devait être justifiée.

**1.2.2.3 :** Trop de candidats ont basé leur démonstration de la convergence sur un argument faux de monotonie des deux suites. Signalons par exemple que si  $m_1$  est proche de  $m_2$ , les deux suites ne sont pas monotones, et si  $m_1 = m_2$ , elles ne convergent pas.

**1.2.2.4 :** Trop peu de candidats ont identifié  $K$  à l'énergie thermique  $\frac{1}{2} k_B T$ .

**1.2.2.5 :** Les arguments sur la vitesse de convergence ont souvent été folkloriques (« 2 ou 3 collisions suffisent ») ou « environ 10 000 collisions », le tout sans aucune justification), ou basés sur des critères extrêmement discutables (« il y a convergence quand  $K_p^{(1)} - K_p^{(2)} \leq 1\%$  », ce qui n'est (au moins) pas homogène). Quelques rares candidats ont signalé l'influence du rapport  $m_1/m_2$  sur la vitesse de convergence.

**1.2.3 :** Ces questions ont été dans l'ensemble extrêmement mal traitées.

### **Deuxième partie :**

**2.1 :** Un nombre beaucoup trop faible de candidats maîtrise les conditions de passage pour une onde plane monochromatique incidente sur un métal, et est capable de l'appliquer correctement dans le cas de l'incidence normale. La recherche des fréquences propres d'une cavité ne devrait pas poser le moindre problème.

**2.2 :** Contrairement à ce qu'ont écrit de nombreux candidats, une force attractive n'augmente pas nécessairement quand  $d$  diminue.

**2.3 :** La question **2.3.2** ne demandait pas une démonstration basée sur la loi de Planck, mais un argument dimensionnel simple (qui supposait d'avoir préalablement éliminé la dépendance avec la surface des plaques).

**2.4 :** Les correcteurs estiment que le critère de planéité à mieux que  $\lambda/10$  des miroirs utilisés en interférométrie optique doit faire partie de la culture générale minimale des candidats.

### **Troisième partie :**

**3.1 :** Le principe de la mesure de la force de Casimir à travers son effet sur la fréquence de résonance de la micro-poutre a été bien compris par de nombreux candidats. Le signe de cette

variation a par contre souvent été faux à cause d'une erreur dans le développement limité de  $1/(d-z)^4$  en puissances de  $z$ . L'ordre de grandeur du décalage était d'environ 1 Hz : trouver un décalage très supérieur à la fréquence d'oscillation de la micro-poutre aurait dû alerter les candidats. Enfin, les propositions de représentation graphique à la fin de cette partie ont souvent été fort peu pertinentes.

**3.2** : Le calcul demandé était un simple calcul d'interférences à deux ondes, qui a été bien souvent mal traité. L'hypothèse faite sur  $R_1$  entraînait une faible visibilité des interférences, qui aurait dû se retrouver sur l'allure de  $I$ . Enfin, si l'idée de fluctuations de l'indice optique était bonne a priori pour expliquer les fluctuations du signal expérimental, les indications supplémentaires devaient aiguiller le candidat vers des fluctuations de longueur d'onde du laser utilisé.

## Quatrième partie :

**4.1** : Dans le cas limite proposé par l'énoncé ( $R \gg d$ ), le calcul de la force utilisait une intégrale trigonométrique simple, qui devait être calculée à la main, et certainement pas à la calculatrice (qui donnait en plus un résultat algébrique difficile à simplifier) !

**4.4** : La représentation graphique demandée devait être effectuée à la main et non pas recopiée sur l'écran d'une calculatrice. On pouvait envisager de représenter  $F$  en fonction de  $1/d^3$  ou  $F$  en fonction de  $d$  sur du papier logarithmique (fourni), la seconde solution ayant la préférence des correcteurs puisqu'elle nécessite moins d'hypothèses sur la loi que l'on cherche à vérifier. De plus, avec les valeurs proposées, les points expérimentaux se trouvaient presque tous à l'intersection de deux lignes (ou exactement au milieu entre deux lignes puisque 1.4 est suffisamment proche de la racine carrée de 2) et la droite qui les reliait coïncidait avec la bissectrice de la feuille, signe clair d'une dépendance de la force en  $1/d^3$ . Dans tous les cas, cette représentation graphique devait être faite avec soin, en donnant une légende et une échelle à chaque axe, en utilisant de façon optimale la feuille de papier et en indiquant sur la copie les coordonnées des points utilisés ainsi que la discussion sur les barres d'erreurs demandée. Les correcteurs n'ont pas tenu compte des résultats obtenus avec une calculatrice.

## Cinquième partie :

Cette partie a été dans l'ensemble très peu traitée, sauf par quelques candidats à la recherche (sans grand espoir) de points faciles.

**5.1** : Le calcul de  $C$  a donné lieu à de nombreuses erreurs. Très peu de candidats ont traité la fin de cette partie et ont été gênés par l'erreur d'énoncé déjà signalée.

**5.3** : Le traitement simple de la réponse linéaire de l'oscillateur a été effectué avec très peu de soin, entraînant de nombreuses erreurs d'homogénéité dans les expressions écrites par les candidats.