

**Composition de Physique, Filière MP
(XULCR)**

Le sujet portait sur l'étude d'un couplage optomécanique dans une cavité. Dans la première partie, les deux miroirs semi-réfléchissants constituant la cavité sont fixes. Une onde plane monochromatique est envoyée sur le dispositif. Dans la première partie du problème, on déterminait le champ électrique à l'intérieur et en aval de la cavité, on en déduisait l'existence de modes et on calculait la répartition de l'intensité dans la cavité. Un raisonnement corpusculaire permettait de calculer le taux de perte. Finalement, on établissait l'équation différentielle régissant l'évolution temporelle du champ électrique dans la cavité. Dans la seconde partie, l'une des parois est mobile et soumise à une force de rappel. On commençait par vérifier que les équations de la première partie pouvaient être utilisées puis l'approche corpusculaire était à nouveau appliquée pour établir l'expression de la force de pression de radiation. Enfin, on parvenait à l'équation de couplage optomécanique. La fin de la composition concernait l'étude des positions d'équilibre du miroir mobile, pour parvenir aux conditions d'observation d'un phénomène de bistabilité.

Bien que la deuxième partie dépende de la première, suffisamment de résultats étaient donnés dans l'énoncé pour permettre aux candidats de la traiter même si la première était incomplète ou fautive. Un grand nombre de candidats a d'ailleurs pu aller jusqu'à la question 38 (sur 42).

Les notes des candidats français se répartissent de la façon suivante :

$0 \leq N < 4$	106	7,13 %
$4 \leq N < 8$	342	23,00 %
$8 \leq N < 12$	527	35,44 %
$12 \leq N < 16$	350	23,54 %
$16 \leq N \leq 20$	162	10,89 %
Total	1487	100 %
Nombre de copies : 1487		
Note moyenne : 10,32		
Ecart-type : 4,35		

Avant de détailler les différentes questions, nous souhaitons faire quelques remarques générales :

1. Plusieurs tracés de courbes étaient demandés dans l'énoncé. Une grande importance leur est accordée et un niveau raisonnable de soin est attendu : définition des axes, présence d'une ou deux valeurs remarquables, éventuellement représentation des tangentes. Un nombre malheureusement non négligeable de candidats fait systématiquement l'impasse sur ces questions.

2. Certaines questions comportaient deux points. Ainsi la démonstration d'une formule ou la représentation d'une courbe étaient parfois suivie d'une demande d'interprétation ou d'une analogie. Ne traiter qu'une partie de la question est pénalisant.
3. Les questions dont le résultat est donné dans l'énoncé font l'objet d'une correction particulièrement attentive. Le même niveau de détail que dans les autres questions est attendu et les pseudo-démonstrations qui partent d'une équation fautive pour parvenir au résultat juste sont évidemment sanctionnées.
4. Des analogies avec la physique quantique sont tentées dans certaines copies, rarement à bon escient. À l'évidence cette partie du programme génère de la confusion chez certains élèves.
5. L'usage de la notation complexe est globalement assez bien maîtrisé. Cependant lorsque l'énoncé demande de calculer une grandeur reliée au module, les résultats comportant encore des nombres complexes ne sont pas acceptables.

Les questions du sujet ont donné lieu aux remarques suivantes :

- **Q1** : Une confusion assez fréquente entre le coefficient de réflexion en amplitude et en énergie a été observée.
- **Q2** : Une justification de la forme de l'onde choisie pour le milieu (III) en comparaison de celles choisies pour les milieux (I) et (II) était attendue et non une reformulation du sujet.
- **Q3–4** : Ces questions ont été correctement traitées dans moins d'un tiers des copies. Les correcteurs n'apprécient guère qu'on trouve le résultat juste à la question 4) en partant d'équations fausses à la 3). Quelques candidats ont tenté le calcul de la série, avec un certain succès.
- **Q5** : Si le calcul a été très majoritairement bien effectué, les représentations graphiques ont été trop négligées : en forme de sinusoides ou tout simplement manquantes.
- **Q6** : Cette question a été bien réussie, parfois au prix d'une laborieuse étude de fonction.
- **Q7–8** : Questions correctement traitées dans moins de la moitié des copies.
- **Q9** : Cette question a été abordée par la plupart des candidats, y compris ceux ayant rencontré des difficultés sur les questions précédentes. Dans environ un tiers des copies, il n'était pas mentionné que $\omega_n 2L/c = n2\pi$ et un développement supposant ω petit était directement effectué. La signification physique de $\Delta\omega_{\frac{1}{2}}$ a été largement ignorée.
- **Q10** : L'analogie avec des circuits RLC en régime forcé a été souvent effectuée, mais les résonateurs mécaniques ont été très rarement cités. La seconde partie de la question sur le facteur de qualité a été peu abordée.
- **Q11–15** : Ces questions ont été bien réussies dans l'ensemble.
- **Q16** : La majorité des candidats ont correctement répondu à cette question.

- **Q17–18** : Environ 10% des candidats ont correctement abordé ces questions. Un développement limité n'est pas systématiquement nécessaire pour obtenir une relation linéaire.
- **Q19** : Question abordée dans moins de la moitié des copies. L'usage des calculatrices n'étant pas autorisé, une large marge d'erreur est tolérée, cependant le taux de bonnes réponses est faible. Des longueurs d'onde de 10^6 m voire $4 \cdot 10^9$ m ont été proposées. Lorsque la longueur d'onde était correctement évaluée, la majorité des candidats la situait généralement dans le visible, mais toutes les couleurs ont été proposées.
- **Q20–21** : Ces questions simples ont été bien traitées. Quelques rares candidats ont néanmoins tenu à disposer le dispositif verticalement et donc à faire intervenir le poids.
- **Q22** : Cette question qualitative a donné lieu à des réponses souvent trop longues, peu claires. Beaucoup d'interversions entre les échelles de temps et de fréquences et des cas extrêmes où des candidats en viennent à écrire que le mouvement du miroir est relativiste.
- **Q23** : Dans la majorité des cas, la cause de la dépendance temporelle de ε a été correctement identifiée.
- **Q24** : La formule à démontrer étant donnée dans l'énoncé, une démonstration claire était requise. Le taux de succès est satisfaisant.
- **Q25–28** : La première partie du raisonnement a été dans l'ensemble bien comprise et les cas où le photon s'est vu doté d'une masse sont restés heureusement rares. En revanche, la démonstration de l'expression de la pression de radiation qui nécessite de faire intervenir le vecteur de Poynting est restée exceptionnelle. Beaucoup de candidats semblent ignorer la dimension de ce vecteur ce qui les conduit à partir d'expressions non homogènes.
- **Q29** : L'analyse dimensionnelle n'a été conduite que dans la moitié des copies et effectuée correctement dans la moitié des cas. On rappelle qu'il est préférable de noter 1 et non 0 pour une quantité sans dimension. L'interprétation juste des quantités a et a_i (ou plutôt de a^2 et a_i^2) est restée rarissime.
- **Q30** : Ce calcul simple a été très bien réussi.
- **Q31** : L'équation du mouvement a été dans l'ensemble bien établie. Trop d'erreurs évitables : oubli de la racine dans la définition de la pulsation propre ; division par m omise pour un des termes...
- **Q32–33** : Trop de candidats, guidés par le résultat donné, ont négligé de justifier pourquoi les hypothèses données dans l'énoncé reviennent à considérer que $da/dt \approx 0$.
- **Q34–36** : Ces questions ont été correctement traitées dans l'ensemble.
- **Q37** : Lorsque les réponses aux questions précédentes étaient justes, celles-ci ne posaient pas trop de difficulté. Peu de candidats ont néanmoins fait l'effort de

rendre F sans dimension et de maximum 1.

- **Q38–40** : Un faible nombre de candidats est parvenu à une représentation graphique correcte permettant de trouver les points d'équilibre et d'étudier leur stabilité. La détermination de l'intervalle de flux incident permettant la bistabilité a été très peu abordée.
- **Q41** : Les quelques candidats parvenus jusqu'à ce point ont très souvent préféré passer directement à la dernière question.
- **Q42** : Question très peu abordée mais quelques candidats ont fait un réel effort pour restituer leur compréhension du phénomène.