

Épreuve PC Physique-A

Le problème constituait une introduction aux dispositifs de miroir à renversement temporel. Dans la première partie, l'invariance des équations par renversement du temps était étudiée dans différents cas, notamment dans celui de la propagation des ondes, ces dernières constituant le cadre d'étude du reste du problème. La mise en équation du dispositif de miroir à renversement temporel était ensuite abordée d'abord à une dimension, puis à 3 dimensions, en supposant une symétrie sphérique. L'étude d'un tel dispositif dans un milieu réverbérant était ensuite abordée dans le cas à 1D d'une cavité Fabry-Pérot et enfin dans un milieu 3D réverbérant.

REMARQUES GENERALES

- Une bonne copie peut être une copie concise
- Les pseudo raisonnements qui partent de la solution ... pour arriver à la solution doivent absolument être proscrits.
- Il est conseillé de ne pas surinterpréter le sujet et ne pas tenter de résoudre plus que ce qui est demandé. Les questions ne sont pas toutes compliquées, en particulier en début de sujet.
- Lorsqu'il n'y a pas beaucoup d'applications numériques demandées, comme c'était le cas dans ce sujet, il est d'autant plus important de les mener soigneusement.
- Prendre le temps de tester les résultats obtenus dans des conditions particulières, ou de manière générale, se poser la question de la pertinence des résultats obtenus peut faire gagner un temps précieux, surtout lorsque les questions qui s'enchaînent sont interdépendantes.
- Un certain nombre de copies sont brouillonnes (multiples tentatives de réponse, multiples réponses barrées ou raturées) : en ce cas, un travail au brouillon, assorti de réponses concises sur la copie, serait plus adapté.

DETAIL QUESTION PAR QUESTION

1. Peu d'erreurs sur cette première question. Dans plus de la moitié des copies, une force de gravité qui n'était pas mentionnée dans l'énoncé a été rajoutée.
2. Le changement de signe de v_0 par renversement du temps a été introduit dans un certain nombre de cas comme une contrainte nécessaire à l'obtention d'une propriété d'invariance par renversement du temps.
3. Le calcul de la trajectoire a été moins heureux qu'en question 1, et l'a été moins encore dès lors que la gravitation a été ajoutée en régime de frottements fluides. Une vérification de l'adéquation avec les conditions initiales aurait bien souvent pu permettre une détection d'erreurs. Quelques candidats ne savent pas écrire une force de frottement fluide (signe ou dépendance en fonction de la vitesse). Par ailleurs, l'énoncé disait bien "à la place du champ électrique" et non pas en plus.

4. Question souvent bien traitée.

5. Question qualitative plus ou moins bien abordée. Une fraction significative des copies mentionne le caractère conservatif de la force électrique par rapport aux frottements fluides. Un lien a souvent été fait à tort entre le caractère conservatif de la force et l'uniformité du champ électrique considéré dans l'énoncé.

6. Question traitée de manières très diverses. Certains partent des solutions admises de l'équation pour « démontrer » l'invariance de l'équation sous renversement temporel. D'autres copies font apparaître des dérivées partielles par rapport à $-t$, sans avoir aucunement introduit une notion de changement de variable. D'autres copies énoncent le résultat attendu, telle une évidence, en guise de démonstration.

7. Une fraction significative des copies impose une forme de cosinus aux ondes de propagation mais sans s'inscrire dans une démarche de décomposition d'un signal quelconque sur un tel ensemble de fonctions, ce qui nécessite par ailleurs de faire figurer un terme de phase, qui a été souvent omis. Par ailleurs, un problème d'écriture a souvent été rencontré : si on a une solution pour $x < 0$ et une autre pour les $x > 0$, la solution générale n'est pas la simple somme des deux à moins de spécifier que la fonction est nulle ailleurs que là où elle est définie.

8. Même remarque qu'à la question précédente. Une erreur malheureuse a pu également consister à remplacer $t' (= -t)$ par $-t'$ (et non $-t$) dans les expressions obtenues à la question 7.

9. Aucune question n'était posée ici.

10. Cette question a donné lieu à des résultats embrouillés. Les milieux 1 et 2 ont parfois été inversés.

11 et 12. Questions peu réussies. Lorsque le schéma de la question 10 était juste, il a malheureusement souvent été refait de façon fautive pour traiter ces questions.

13. Question bien réussie dans l'ensemble. La solution incorrecte en $t + x_0/c$ aurait pu être facilement évitée par vérification en $t = x_0/c$, d'autant plus que ce choix incorrect impactait les questions suivantes.

14. Les schémas proposés ont été dans l'ensemble assez correctement tracés et on salue l'imagination des candidats qui ont trouvé le moyen de représenter clairement des signaux dont on distingue le début et la fin. Un certain nombre de candidats choisit toutefois des signaux périodiques ou présentant de fait une symétrie en $t = T$, ce qui a pu jeter un doute par rapport à un tracé clair d'un signal retourné temporellement en $t = T$.

15-18. La qualité de traitement de ces questions a été inégale. Avoir clairement identifié le signal retourné temporellement en question 14 n'a pas été une condition suffisante pour voir un retournement temporel dans les questions 15 à 18, de manière surprenante. De même, le lien demandé en question 17 avec les figures du début de l'énoncé n'a pas remis en cause des résultats ne présentant pas de retournement temporel, et qui auraient dû interpeller les candidats. Ceci a pu être assez préjudiciable en ce cas, du fait de la propagation des erreurs faites en question 15 sur $R_{RT}(t)$ jusqu'en question 18.

19. Des qualités de représentation assez inégales. L'énoncé précisait de partir d'une impulsion brève, ce qui n'a pas toujours été suivi d'effet (un certain nombre de copies ont tenté des schémas avec des ondes progressives harmoniques). Certaines copies hésitent à superposer des ondes en $t=2T$, ou à représenter les ondes pour $t>2T$. L'identification des ondes causales a été raisonnablement bien traitée, lorsque la question 19 était abordée.

20. Une solution couramment proposée a été de placer un matériau absorbant au niveau de la source (sans se poser la question de mise en œuvre).

21. Beaucoup de candidats ont confondu les coordonnées sphériques et un problème à symétrie sphérique.

22. Question plutôt bien traitée. Il a pu être plus difficile d'aborder les questions suivantes si l'équation différentielle ne portait pas sur $r.u(r)$. Il existe une curieuse tendance chez un nombre non négligeable de candidats à vouloir systématiquement prendre la partie réelle pour se débarrasser de la notation complexe.

23. Le principal oubli dans cette question a été de justifier le caractère convergent ou divergent des solutions U_c et U_d . Certaines copies tentent de justifier ce caractère par le comportement de l'onde à l'infini. De nombreuses confusions dans l'utilisation de la notation complexe, par exemple en laissant une dépendance explicite en $\exp(-i\omega t)$ dans l'expression de $u(r, \omega)$. Il est important de respecter la convention (ici $\exp(-i\omega t)$) de l'énoncé. Il s'est révélé peu judicieux d'absorber la dépendance en $1/r$ dans un terme noté U_c car cette dépendance était oubliée dès la question suivante.

24. Question bien traitée quand la question 23 l'était.

25. Même remarque. De manière surprenante, seule une infime fraction des copies rapporte la longueur d'onde caractéristique demandée à la longueur d'onde acoustique des ondes qui se superposent. On rappelle que $\sin(x)/x = 1$ pour $x=0$. Des modules de quantité complexes sont souvent représentés avec des valeurs négatives.

26. La notion de diffraction ou d'interférences apparaît dans un certain nombre de copies. Cette question a vu un florilège de propositions pour la limite fondamentale demandée, allant de la mécanique quantique à la relativité.

27. Question généralement bien traitée, hormis l'application numérique. Une réponse de type « $1600\pi+1$ » n'est bien sûr pas considérée comme un résultat d'application numérique.

28. Cette question, bien abordée, ouvrait la voie à la dernière partie du problème. Elle a été assez sélective pour les candidats, car réussie à des degrés divers : prise en compte (ou non) des réflexions multiples, prise en compte (rigoureusement ou non) des termes de retard dans les réflexions : longueur parcourue lors des allers-retours et célérités distinctes entre milieux 1 et 2.

29. Cette question a été traitée de manière assez variée. De manière surprenante, l'allure gaussienne de $s(t)$ a pu être remplacée par une exponentielle décroissante. L'allure de $R(t)$ a par ailleurs pu être traitée de manière correcte, et de manière intuitive.

30. Cette question a pu être bien traitée (en fonction de la réponse à la question 28) d'un point de vue analytique, mais moins bien en ce qui concerne le graphe demandé.

31-32. Les candidats arrivent relativement aisément à l'expression d'une série géométrique, mais peuvent avoir plus de difficulté à exprimer une résonance pour un dénominateur minimal, et non strictement égal à zéro. Des candidats ont pu répondre à la question 32 de manière plus ou moins heureuse (ou justifiée) sans avoir traité la question 31, en considérant la longueur $2L$ de la cavité.

33. Le fait que la cavité joue un rôle de filtre dépendant de la fréquence de l'onde acoustique a été fréquemment compris, pour les candidats ayant abordé cette question.

34-37 Ces questions pouvaient être abordées indépendamment des précédentes et ont pu constituer un point de reprise des candidats sur le déroulé du sujet. Une expression correcte de la double somme attendue en question 34 a été toutefois peu fréquemment obtenue, les questions 35 à 37 en découlant. La non-nullité des contributions en a_n^2 a été rarement comprise.