

# EPREUVE DE PHYSIQUE

Durée : 4 heures

## PRESENTATION DU SUJET

Le problème comportait trois parties totalement indépendantes.

- La première partie étudiait les mécanismes de propagation des ondes élastiques dans un milieu solide. Elle commençait par l'analyse des propriétés d'un modèle unidimensionnel constitué de points matériels liés par des ressorts. Le passage à un milieu continu était ensuite envisagé et le sujet proposait une étude macroscopique reposant sur le module d'élasticité d'Young. Cette partie se terminait par l'étude des relations entre les modèles microscopique et macroscopique.
- La deuxième partie s'intéressait aux ondes sismiques longitudinales générées par un tremblement de Terre. Ces ondes étaient étudiées à l'aide d'une analogie avec l'optique géométrique, d'abord sur de petites distances, puis à l'échelle du globe terrestre.
- La troisième partie s'attachait à décrire le principe de détection des ondes sismiques au moyen d'un sismographe électromagnétique. Il s'agissait tout d'abord d'analyser un oscillateur mécanique forcé, puis la chaîne de détection des vibrations et leur conversion en un signal électrique. Cette partie permettait d'aborder des thèmes très divers, comme la mécanique des oscillateurs, l'induction électromagnétique et le filtrage d'un signal.

## COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

Le sujet abordait plusieurs domaines des programmes de première et de seconde année : ondes élastiques, mécanique, optique géométrique, induction électromagnétique, électronique et filtres. La difficulté des questions était très progressive, plusieurs d'entre elles étant pratiquement des questions de cours et de nombreux résultats intermédiaires étaient fournis.

Les commentaires des années précédentes restent d'actualité. S'il apparaît qu'un certain nombre de candidats possèdent une connaissance très superficielle, voire inexistante, du cours, nous constatons qu'un certain nombre d'entre eux savent restituer de façon claire et précise des résultats de cours, notamment sur les ondes élastiques. Cela a créé une grande différence entre les candidats.

Nous avons cependant constaté chez de très nombreux candidats un manque de rigueur mathématique important. La conduite des calculs menant à l'établissement d'une fonction de transfert, la pertinence de certaines représentations graphiques laissent beaucoup à désirer. De même, un développement limité à l'ordre un ou deux représente une difficulté insurmontable pour une très grande majorité de candidats.

Enfin, il existe des lacunes inquiétantes concernant les interprétations physiques et les analyses des résultats obtenus. Ainsi, les questions qui demandaient un commentaire ou un interprétation ont été presque systématiquement évitées. Il est dommage de réduire un problème de physique à une succession de calculs convenus, sans jamais chercher à comprendre de manière plus fine la nature et les liens qui unissent les phénomènes étudiés.

## ANALYSE DETAILLÉE

1<sup>ère</sup> Partie : Onde élastique dans un barreau solide

**A1** : Questions bien traitées dans l'ensemble.

**A2** : Questions bien traitées dans l'ensemble. L'interprétation physique liée à la valeur de  $\omega$  reste cependant souvent omise ou encore trop imprécise.

**A3** : Si la signification physique de la solution proposée est bien comprise dans l'ensemble, le lien entre l'indépendance de l'amplitude vis-à-vis de l'entier  $n$  et l'absence d'amortissement de l'onde  $n$ 'a pas été saisi dans la grande majorité des cas. Seul un petit nombre de candidats a su répondre correctement à la deuxième partie de cette question.

**A3b** : Question correctement traitée dans l'ensemble mais certains oublient qu'une pulsation est positive et cela les a induit en erreur lorsqu'il a fallu représenter cette pulsation en fonction de  $k$ .

**A3c** : Les candidats se sont contentés de remarquer que  $\omega$  étaient une fonction périodique de  $k$  mais cela n'est pas suffisant. Il faut encore montrer que deux valeurs de  $k$  séparées par un nombre entier de période représentent en fait la même solution.

**A3d** : Cette question a été traitée de façon très inégale. Un certain nombre de candidats ont su trouver un déphasage entre les deux déplacements, mais ils ont été incapables de l'interpréter en terme de retard temporel. Dans les copies les plus faibles, les pulsations  $\omega$  et  $\omega_0$  ont tout simplement été confondues. Peu ont su relier la définition de la vitesse de phase au rapport  $a/\tau$ . Enfin, la question sur la propagation dispersive ou non reçoit parfois des réponses très surprenantes. Nous avons pu ainsi lire dans un nombre de copies qui n'est pas du tout négligeable : « la vitesse de phase  $v_\varphi = \omega / k$  dépend de  $\omega$  qui intervient dans son numérateur. La propagation est donc dispersive. » ce qui reviendrait donc à dire que toute propagation est forcément dispersive ! A l'inverse, d'autres candidats, ayant éliminé  $\omega$ , se trouvent avec une vitesse de phase qui ne dépend que de  $k$  ; ils en concluent alors que «  $v_\varphi$  ne dépendant pas de  $\omega$ , la propagation n'est pas dispersive. » !

**A4a.** : Il est surprenant de constater que la dérivation d'une fonction simple pose encore des problèmes.

**A4b, c** : Questions assez mal traitées. Dans les cas où les deux limites sont obtenues correctement (ce qui pose déjà des difficultés à beaucoup), l'interprétation physique fait défaut.

**A5** : Question bien traitée dans l'ensemble sauf pour ce qui est de l'interprétation physique. Très peu ont fait le lien entre l'approximation des milieux continus et le fait que  $k \rightarrow 0$ .

**B1** : Si la dimension de  $E$  est correctement établie, la question sur l'opposition des deux forces reçoit souvent des réponses parfois très fantaisistes. Le principe des actions réciproques ou encore le fait d'appliquer le principe fondamental de la dynamique à une tranche de solide d'épaisseur nulle n'est pas toujours bien saisi.

**B2** : Question assez bien traitée mais rappelons qu'il faut analyser correctement les variations du volume et ne pas se contenter de différentier le déplacement  $u(x, t)$ .

**B3** : Question de cours bien traitée dans l'ensemble.

**C1a** : Le lien entre la force  $F(r)$  et l'énergie potentielle d'interaction est très souvent mal perçu. Outre l'oubli du signe négatif devant la dérivée de  $E_p$ , nous avons pu lire que «  $F(r) = E_p / r$  » ou encore que « la force est la primitive de l'énergie potentielle » !

**C1b** : Question bien traitée dans sa première partie, pour ce qui est des deux applications numériques. En revanche, le sens concret du minimum de  $E_p$  n'a été compris que dans très peu de cas.

**C1c** : Si la courbe a été correctement tracée par l'ensemble des candidats, une grande partie d'entre eux ne sait pas faire le lien entre le sens de variation de l'énergie potentielle et le fait que la force soit attractive ou répulsive.

**C2** : Le développement limité demandé, pourtant très simple, a posé de sérieuses difficultés à la quasi-totalité des candidats. En cas d'échec, les questions de la fin de cette partie ne pouvaient être traitées correctement.

**C3a et b** : Questions de cours de chimie assez bien traitées dans l'ensemble. Cependant, par manque d'attention, un certain nombre de candidats oublie de prendre la moitié de la longueur de la grande diagonale du cube et considèrent la totalité de cette longueur.

**C4a et b** : Questions peu abordées. Il fallait les résultats du développement limité abordé en C2 pour espérer les traiter correctement. Quelques candidats ont cependant réussi à conclure cette partie et à obtenir les bons résultats numériques.

2<sup>ème</sup> Partie : Etude des ondes sismiques terrestres

**A2 et A3** : Questions bien traitées dans l'ensemble. Les réponses n'étaient toutefois pas toujours très explicites et comportaient des expressions mathématiques compliquées faisant intervenir des inverses de fonctions trigonométriques. Ces expressions répondaient cependant au « cahier des charges » et étaient considérées comme justes.

**A4** : Nous avons été surpris par le manque d'aisance des candidats pour tracer correctement ce graphe. En particulier, le tracé de la courbe donnant  $\tau_2$  et son positionnement par rapport aux deux droites (valeur à l'origine, asymptote...) n'a été bien mené à son terme que dans très peu de copies ...

**A5** : Questions très mal traitées. La lecture du graphe et son exploitation numérique ont posé de grandes difficultés à la majorité des candidats.

**B1** : Questions bien traitées dans l'ensemble.

**B2a** : Une question de cours très simple mais qui a cependant reçu peu de réponses convaincantes. Citons : « la réflexion est totale si  $\sin r > 1$  !! » ou « pour que la réflexion soit totale, il faut que  $r > \pi/2$  ». Le simple fait de vérifier que  $\sin r$  reste inférieur à 1 pour toute valeur de  $\alpha$  n'est pas une démarche naturelle pour tous les candidats.

**B2b, c et d** : Questions assez bien traitées dans l'ensemble. Les résultats étaient donnés mais il fallait cependant adopter une démarche parfaitement rigoureuse dans l'exposé des arguments et des calculs pour espérer recueillir la totalité des points attribués à ces questions.

**B2e** : Encore une question portant sur la lecture d'un graphe et son interprétation, pourtant simple, mais qui a mis en difficulté la très grande majorité des candidats.

3<sup>ème</sup> Partie : Sismomètre électromagnétique

**A1** : Il est toujours surprenant de constater à quel point des questions fondamentales et simples révèlent d'importantes lacunes. C'est ainsi que beaucoup estiment que  $R_0$  est galiléen tout simplement parce qu'il a un mouvement de translation rectiligne. L'uniformité de cette translation n'est donc pas une condition qui apparaît comme essentielle.

**A2 et A3** : Questions bien traitées dans l'ensemble.

**A4** : Le résultat de la question étant pratiquement donné, les correcteurs attendaient une grande rigueur dans l'établissement de l'équation différentielle : cela n'a pas toujours été le cas, loin s'en faut. Oubli de la force d'inertie d'entraînement : l'accélération du bâti est alors comptabilisée, de façon obscure, du côté de l'accélération du solide (S). Il fallait en outre considérer l'ensemble des forces appliquées au solide et montrer en quoi les équations à l'équilibre permettaient de simplifier ces expressions.

Cette partie est celle qui a été la moins abordée et la plus mal réussie. Visiblement, l'électronique et la notion de filtre posent des difficultés insurmontables à la quasi-totalité des candidats.

**B1** : Question bien traitée dans l'ensemble.

**B2a et b** : Deux questions traitées de façon très inégale par les candidats. La loi de Faraday n'était ici d'aucune utilité. Si l'origine physique du courant électrique qui traverse la bobine a été bien perçue dans la très grande majorité des cas, la relation reliant l'intensité à la force électromotrice est en revanche affirmée sans aucune justification la plupart du temps. Insistons sur le fait qu'un schéma clair, explicitant les différents dipôles, les conventions d'orientation et mettant en évidence le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel, est indispensable pour répondre de manière précise et rigoureuse à ce type de question.

**B3a** : Cette question ne pouvait être résolue qu'en utilisant les résultats de B2\*b.

**B3b** : Question peu traitée. Certains candidats connaissent le nom du montage mais sont incapables d'établir la relation entre les deux tensions. A l'inverse, d'autres savent établir cette relation mais, de façon surprenante, ne saisissent pas le rôle du dispositif.

**B3c** : Cette question a posée d'énormes difficultés à l'ensemble des candidats, qui n'ont pas su mener les calculs à leurs termes.

**B4a et b** : Questions totalement ratées. Manifestement, le calcul d'un argument de fonction de transfert, les représentations du gain et de la phase, ainsi que le tracé d'un diagramme de Bode ne sont plus vraiment maîtrisés.

**B5** : Très peu de candidats ont compris la nature du filtre proposé.

## **ANALYSE DES RESULTATS**

Après le traitement informatique d'usage, la moyenne s'élève à 9,13 sur 20, avec un écart-type de 3,91. Comme chaque année, de bonnes copies ont été remarquées alliant de bonnes connaissances scientifiques, une interprétation claire des modèles et des calculs rigoureux.

## **CONSEIL AUX FUTURS CANDIDATS**

Les conseils sont toujours les mêmes que les années précédentes et tombent sous le sens :

- Apprendre le cours de façon plus exigeante. La connaissance des formules ne suffit pas en elle-même. Il faut en comprendre le sens concret et en connaître le domaine d'application.
- Soigner les questions qualitatives et s'y entraîner pendant l'année.
- S'entraîner au calcul en résolvant soi-même les exercices (plutôt qu'en lisant des corrigés) et en menant les calculs jusqu'au bout !