

Composition de physique – Filière PSI (XCR)

Présentation de l'épreuve

Le sujet s'intéressait à des concepts physiques autour de la modulation acousto-optique, traitant de nombreux domaines de la physique.

Après avoir étudié une courbe expérimentale d'émetteur ultrasonore, le sujet proposait de discuter de la propagation d'ondes acoustiques dans l'air, ceci accompagné d'une mesure expérimentale à exploiter. Ensuite, le sujet abordait la propagation d'ondes acoustiques dans un cristal. Tout d'abord, il était proposé d'établir l'équation de d'Alembert avant d'explorer les conditions pour lesquelles l'approximation est valide, en étudiant la relation de dispersion des phonons dans le cristal.

Dans la deuxième partie, il s'agissait d'étudier le fonctionnement du transducteur piézoélectrique permettant l'émission de l'onde sonore. *Via* l'équation de Maxwell-Gauss dans les milieux, le sujet amenait à retrouver l'expression de la capacité d'un condensateur puis d'étudier la piézoélectricité en reliant le déplacement d'une armature à la tension appliquée aux bornes du cristal piézoélectrique. On pouvait ainsi étudier la résonance du dispositif et ensuite la relier à un modèle électrocinétique équivalent.

Après la modélisation physique dans les deux parties précédentes, la troisième partie traitait de l'effet acousto-optique ainsi que de son utilisation pour l'analyse des modes spectraux du cristal. Il s'agissait d'analyser l'interaction entre une onde électromagnétique et une onde acoustique à l'aide d'une approche corpusculaire, permettant d'obtenir les caractéristiques de la diffraction acousto-optique. Ensuite, à l'aide de deux méthodes différentes, le sujet s'intéressait à l'analyse des faisceaux afin d'obtenir les longueurs d'ondes acoustiques, discutant notamment de limitations techniques des options proposées. Enfin, le sujet proposait une solution de traitement du signal pour s'affranchir de ces limitations.

Remarques d'ordre général

Si les thématiques du sujet s'enchaînaient avec logique, les parties étaient tout de même assez indépendantes. Par ailleurs, les calculs n'aboutissant pas ne pénalisaient pas particulièrement les candidats, plusieurs résultats intermédiaires étant donnés sous des formes génériques permettant de reprendre le problème. Le taux de réponse aux questions se réduit au fil du sujet de façon assez régulière.

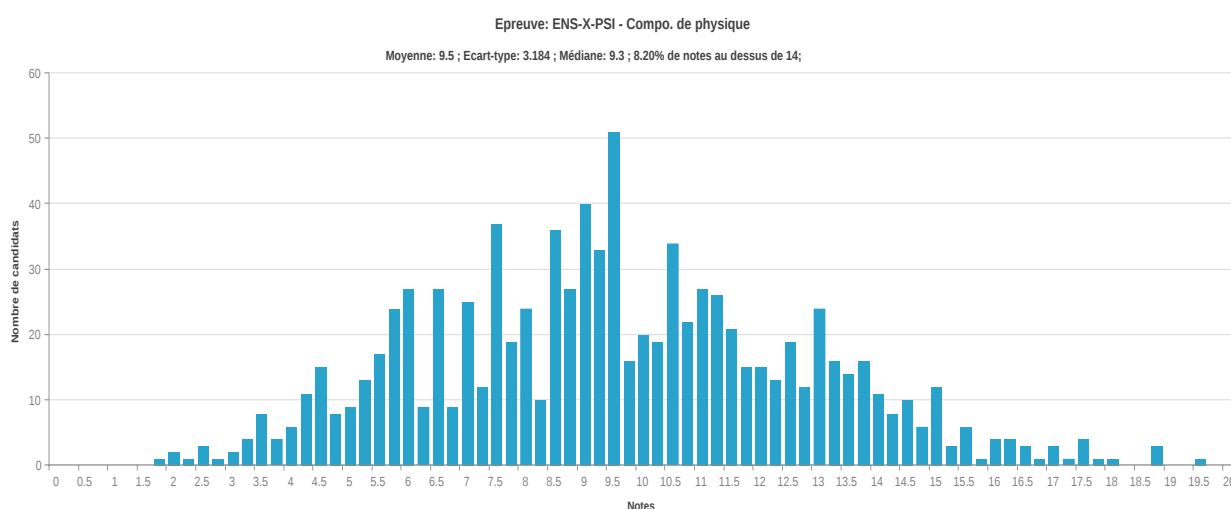
Quelques points importants sont à noter :

- Lorsque le résultat est donné, il est attendu une démonstration rigoureuse du raisonnement. En particulier, les candidats obtenant le "bon" résultat, donné dans l'énoncé, alors que leurs résultats précédents étaient faux, sont évidemment sanctionnés. Le jury insiste sur le fait que, si le candidat

se rend compte qu'il est nécessaire de trafiquer le résultat pour obtenir l'expression demandée, il est alors beaucoup plus judicieux de reprendre les calculs précédents plutôt que faire une fausse démonstration.

- L'écriture doit être lisible. Il est pertinent d'encadrer les résultats ainsi que numéroté les questions.
- Si les informations données dans le texte servent parfois à contextualiser la problématique, elles sont la plupart du temps utiles à la résolution du problème. Certains candidats gagneraient à lire plus attentivement l'énoncé.
- Très peu de questions se prêtent à des réponses succinctes ne nécessitant pas de répondre aux questions précédentes. Le jury ne recommande donc pas de "papillonner" sur le sujet, c'est une méthode souvent inefficace. Au contraire, les candidats ayant persévéré et ayant avancé régulièrement réussissent souvent mieux. Des bonnes notes peuvent être obtenues en ne traitant que la moitié du sujet.

Les notes des candidats se répartissent de la façon suivante :



Question par question

- Q1 : Question bien réussie en général. Notons que toutes les informations numériques nécessaires étaient disponibles dans l'énoncé. Les valeurs parachutées (Q et Δf) sans explications ont été sanctionnées.
- Q2 : La plupart des candidats ont correctement traité cette question.
- Q3 : Question de cours : il s'agit donc de bien expliquer les arguments de la linéarisation, ceci pouvant être fait en restant efficace.

- Q4 : La plupart des candidats ont correctement traité cette question.
- Q5 : La plupart des candidats ont correctement traité cette question. Notons qu'il s'agissait de comparer la valeur obtenue expérimentalement à l'expression théorique obtenue juste avant et dont la valeur numérique pouvait être déduite des données numériques, ce que certains candidats n'ont pas réalisé.
- Q6 : Si cette question est classique, il s'agit tout de même d'expliquer d'où provient l'équation différentielle et une expression parachutée totalement aura été sanctionnée.
- Q7 : Il était demandé un développement limité de la fonction introduite. L'aspect mathématique du développement limité n'était pas toujours maîtrisé mais globalement cette question a été traitée correctement.
- Q8 : La plupart des candidats ont correctement traité cette question. Attention, les candidats ayant faux à la question 6 et trafiquant les expressions pour aboutir aux résultats ont été sanctionnés.
- Q9 : Quelques étourderies sur cette question, globalement bien traitée.
- Q10 : La plupart des candidats ont explicité la périodicité de ω sans discuter de l'expression de u_n pour les deux vecteurs d'onde.
- Q11 : La plupart des candidats ont correctement traité cette question. Certains candidats n'ont pas dessiné de point anguleux pour $q = 0$.
- Q12 : Cette question demande de comparer les deux critères d'approximation. Beaucoup des candidats ne sont pas allés au bout du raisonnement pour se rendre compte que les deux conditions étaient $\lambda \gg a$ et qu'on retrouvait alors la célérité des ondes acoustiques obtenue à la question 7. Par ailleurs, certains les candidats n'ont pas répondu aux plusieurs sous-questions dans cette question.
- Q13 : La plupart des candidats ont correctement traité cette question.
- Q14 : La réponse à cette question doit être complète. De nombreuses copies ne discutent pas de la formulation intégrale ni de l'utilisation du théorème de Green-Ostrogradski pour obtenir le flux du champ électrique.
- Q15 : Beaucoup de copies présentaient des confusions sur les densités volumiques de charges, provoquant des erreurs sur l'écriture du théorème de Gauss pour le champ $\vec{D}$. Il s'agit également ici d'être précis dans les écritures, afin d'éviter des confusions. Le correcteur ne doit pas être laissé dans l'incertitude.
- Q16 : Cette question proposait d'amener à calculer le déplacement électrique dans les différentes zones de l'espace. Il s'agissait d'utiliser les arguments de l'électrostatique dans un cadre nouveau et cela a posé beaucoup de problèmes. De nombreuses copies ne présentent pas d'analyse des symétries et invariances pour obtenir les résultats demandés. Certains candidats suggèrent que

$\text{div} \vec{D} = 0$ implique $\vec{D}$ uniforme, sans aucune analyse supplémentaire. Un très petit nombre de candidats a répondu correctement à la totalité de ces questions.

Une erreur s'est glissée dans l'énoncé, à la question 16.a) : la zone de l'espace notée III était caractérisée par $x > 0$ au lieu de $x > L$. Cette erreur n'a pas été préjudiciable aux candidats.

- Q17 : Il s'agissait de lire attentivement le sujet et de connaître la définition d'un barycentre de charges. Le jury s'étonne que la définition d'un barycentre ne soit pas connue par la plupart des candidats.
- Q18 : Question réussie par les candidats ayant produit le bon raisonnement à la question 16.
- Q19 : Au vu du résultat donné, le jury attendait un argument pour l'expression de la force de rappel.
- Q20 : Question bien réussie, y compris pour les candidats ayant eu des difficultés aux questions précédentes.
- Q21 : Suite logique à la question précédente, cette question a parfois été mal traitée avec des affirmations "par cœur", qui n'étaient pas nécessaires.
- Q22 : La plupart des candidats obtenaient une allure correcte. Le jury regrette que certains points caractéristiques du graphique, explicitement demandés, n'étaient parfois pas donnés par les candidats, notamment l'ordonnée à la résonance, permettant la validation du caractère résonant par rapport à l'amplitude en $\omega \rightarrow 0$.
- Q23 : Certains candidats ont été gênés par la comparaison des amplitudes à basse fréquence. Il s'agissait d'avoir une discussion honnête et pertinente sur les deux courbes, qui caractérisent une résonance.
- Q24 : Cette question a été plutôt bien traitée.
- Q25 : Il manque souvent des arguments mathématiques pour déterminer si ce sont bien des maxima ou des minima. La plupart du temps, la réponse est parachutée sans argument.
- Q26 : Plusieurs candidats ont lié les minima et maxima de l'impédance à des résonances de courant. Cependant, très peu de candidats ont discuté du lien avec le déplacement de l'armature pour l'émission d'onde sonore.
- Q27 : Cette question a été le siège de nombreuses erreurs de calculs empêchant la plupart des candidats d'aboutir au résultat.
- Q28 : L'identification est parfois brouillonne et souvent fautive à cause des erreurs à la Q27.
- Q29 : Le lien entre R_m et α devait être identifié pour répondre complètement à cette question.
- Q30 : Cette question a été traitée correctement par la quasi totalité des candidats.
- Q31 : Certains candidats ont parachuté la relation sans préciser l'origine de la relation proposée.

- Q32 : Dans cette question, il s’agissait de réaliser l’approximation que les longueurs d’onde optiques sont très proches. Peu de candidats l’ont réalisée et le jury regrette que presque aucun candidat ne l’ait justifiée. Le jury a par ailleurs été tolérant sur la couleur liée à la longueur d’onde du faisceau optique.
- Q33 : La plupart des candidats ont correctement traité cette question.
- Q34 : Cette question demande également d’utiliser l’approximation réalisée à la question 32. Le jury regrette que la plupart des candidats cachent sous le tapis le problème en assimilant λ à λ' sans en discuter.
- Q35 : Il s’agissait ici de finaliser le raisonnement pour obtenir une relation simple. Cette question a été correctement réalisée par ceux qui avaient correctement traité les questions précédentes. Une réponse sur le phénomène optique doit être argumentée (cf remarques générales).
- Q36 : Question peu traitée mais juste pour la plupart.
- Q37 : Question souvent juste pour ceux ayant traité la question précédente.
- Q38 : La plupart des candidats ayant abordé cette question se sont trompés sur l’expression de $\Delta\lambda$.
- Q39 : Cette question demandait seulement de lire attentivement l’énoncé et d’avoir répondu à la question 31 mais a rarement été faite.
- Q40 : Très peu de candidats ont répondu correctement à cette question. Le jury regrette que les candidats n’aient pas le réflexe de justifier le principe de superposition lié à la linéarité des équations utilisées.
- Q41 : Question rarement traitée et souvent de façon incomplète.
- Q42 : Question réussie par la plupart des candidats l’ayant traitée. Un facteur 2 est tout de même parfois oublié.
- Q43 : Quelques copies abordent cette question mais les arguments ne sont pas toujours très percutants.
- Q44 : Beaucoup de candidats traitent cette question, la plupart sans avoir traité les précédentes. Très peu y répondent complètement et encore moins avec les bonnes valeurs numériques.
- Q45 : Beaucoup de candidats répondent à cette question, la plupart y répondant correctement.
- Q46 : Plusieurs candidats ne font que lire les trois fréquences sur le graphique mais n’utilisent pas les raisonnements réalisés auparavant (translation de fréquence), y compris ceux qui ont traité les questions 42-43, ce que le jury regrette.
- Q47 : Question d’ouverture, peu abordée. Le jury a apprécié certaines idées proposées.