

## 2.6 Physique 1 - filière PSI

### 2.6.1 Généralités et présentation du sujet

Sous le titre unificateur « *Fourier dans tous ses états* », le sujet proposé cette année aux candidats comportait trois études *totalelement indépendantes* consacrées respectivement au critère de Nyquist–Shannon, aux ondes acoustiques et à leur transmission par une paroi rigide, et enfin à la conduction thermique à propos notamment d’une expérience historique de Fourier.

Chacune de ces trois parties comportait une part importante de questions de cours suivies d’applications un peu plus originales. Cette structure bien progressive a permis à des candidats de tous niveaux de traiter une partie significative du problème posé, chacun étant ainsi évalué en fonction de ses capacités.

Les méthodes et compétences mathématiques et de calcul du programme étaient aussi évaluées : trigonométrie élémentaire, spectre de Fourier, notations complexes pour les ondes planes et les filtres du second ordre, équations différentielles, séparation des variables et séries de fonctions. Enfin, l’analyse dimensionnelle et des estimations d’ordres de grandeur (rappelons ici que ce terme désigne en Physique la puissance de dix entière la plus proche du résultat exact, et qu’il n’a de sens qu’accompagné de l’unité associée) figurent à plusieurs reprises au fil du sujet.

### 2.6.2 Commentaires généraux

Le sujet a permis un étalement très satisfaisant des notes, certains candidats ayant réalisé une excellente prestation en traitant de manière correcte la quasi-totalité des 23 questions posées. *A contrario* un très petit nombre de candidats a obtenu un résultat très médiocre qui ne peut s’expliquer que par des lacunes sérieuses de préparation, avec des impasses totales sur plusieurs parties du programme ajoutées à une attitude inadéquate face à la copie.

Concernant la **première partie**, consacrée à l’illustration du théorème d’échantillonnage, les questions posées ont, par leur simplicité même, permis de faire clairement la différence entre les étudiants maîtrisant plus ou moins les notions associées à cette partie du programme : spectre de Fourier, échantillonnage, filtrage. En particulier, si l’*énoncé* du théorème d’échantillonnage est manifestement bien connu de presque tous, son *interprétation concrète* pose parfois plus de difficultés.

La **seconde partie** s’intéressait d’abord à l’étude très classique de la propagation d’une onde acoustique dans l’air. Même si la plupart des candidats savent bien établir les équations de d’Alembert, les hypothèses physiques qui les conditionnent sont moins maîtrisées. Si certains confondent ici célérité du son et vitesse de la lumière (la malédiction de la notation  $c$  peut-être...) d’autres, plus nombreux, assimilent manifestement célérité du son et vitesse de l’air lors du passage de l’onde sonore. La détermination du coefficient de transmission par une paroi élastiquement liée a constitué un autre élément permettant de distinguer les meilleurs candidats.

Enfin, la **troisième partie** proposait l’étude, sous différentes hypothèses (régimes variable ou stationnaire, système thermiquement isolé ou refroidi par convection) de l’équation de diffusion thermique. Si sa forme analytique dans le cas simple (unidimensionnel cartésien en régime de conduction pure) est

manifestement maîtrisée par presque tous les candidats, il n'en va pas de même des variantes proposées par le sujet : bilan en géométrie cylindrique, régime forcé avec refroidissement pariétal puis résolution générale en termes de séries de fonctions appuyée sur la linéarité de l'équation.

Beaucoup de copies ont été rédigées de manière tout à fait professionnelle, conformément aux critères bien connus des candidats : *lisibilité* de la rédaction, *mise en valeur* des résultats, *rédaction explicite* des réponses et de leurs justifications. Ceux qui ne se sont pas donnés cette peine ont bien sûr été sanctionnés.

### 2.6.3 Analyse détaillée des questions

#### *Partie I — Analyse de Fourier et échantillonnage d'un signal électronique*

**Q1** - Simple application d'une formule trigonométrique, bien traitée dans la majorité des copies malgré parfois un manque de soin : positionnement des fréquences négatives, non-prise en compte de l'énoncé ( $f_1 > f_0$ ), amplitudes relatives des pics.

**Q2** - Il suffisait ici d'un tracé (soigneux si possible) pour extraire de la courbe représentant un cosinus (et pas un sinus...) les quelques points remarquables demandés. Beaucoup de candidats y ont bien vu les limites du sous-échantillonnage ; le jury a choisi d'être généreux au moment d'évaluer la rédaction de cette question d'interprétation.

**Q3** - Ici aussi il suffisait d'être soigneux pour positionner la liste des valeurs des  $f_0 \pm kf_e$ .

**Q4** - Le jury attendait seulement l'énoncé de la condition de Nyquist-Shannon, laquelle est bien connue de presque tous les candidats.

**Q5** - La plupart des copies généralisent bien ce même critère dans le cas d'un spectre continu mais la représentation du spectre après échantillonnage n'est pas toujours maîtrisée. La compréhension des notions fait ici la différence entre les meilleures copies et les autres.

**Q6** - Question bien traitée par ceux qui l'ont abordée. Certains candidats ont développé le schéma d'un filtre (en général *RC*) qui n'était pas demandé ; le jury attendait plutôt une courte discussion sur l'importance de l'*ordre* (ou du gabarit) de ce filtre.

**Q7** - Le jury a été souvent déçu ; c'était pourtant une question de simple bon sens. Peut-être a-t-elle été peu et mal traitée simplement à cause de sa position en fin de partie ?

#### *Partie II — Analyse de Fourier et acoustique*

**Q8** - Question en général bien traitée. Notons quand même que certains candidats sont capables d'écrire la condition  $|v_1| \ll c_s$  avant de proposer...  $|v_1| \simeq c_s$  quelques lignes plus bas ! Le jury n'attend pas une connaissance fine des valeurs numériques associées aux limites de l'audition mais seulement un minimum de cohérence.

**Q9** - Au delà de la définition rigoureuse et de l'expression approchée attendues, la question portait sur la *pertinence* et la *signification physique* de la compressibilité isentropique  $\chi_S$ . L'affirmation « l'emploi de cette grandeur fournit une relation utile au calcul » ne répond à aucune de ces questions. De nombreux

candidats ont aussi évoqué les propriétés du gaz parfait pour justifier le caractère isentropique de la perturbation apportée par l'onde sonore. Un tel gaz peut évidemment subir des transformations non isentropiques et la propagation des ondes acoustiques peut aussi, dans le cadre du modèle exploité, être décrite pour un fluide qui n'est pas un gaz parfait (l'eau liquide...).

**Q10** - Établir l'équation de propagation des ondes acoustiques et y identifier leur célérité  $c_s$  est une question de cours, classique et en général bien traitée, sauf par ceux qui savent vaguement la forme attendue mais pas comment l'obtenir et essayent d'embrouiller le correcteur. Le jury ne recommande pas une telle attitude.

**Q11** - La plupart des candidats connaissent la notion d'impédance acoustique, savent la calculer et l'associer correctement au sens de propagation de l'onde.

**Q12** - Quelques candidats font ici une faute de signe, confondant peut-être causalité (incident  $\rightarrow$  réfléchi et transmis) et linéarité (incident + réfléchi = transmis). La justification demandée ( $\exp(-jke) \simeq 1$  car  $e \ll \lambda$ ) n'est presque jamais complètement explicitée mais le jury a largement considéré des réponses moins formalisées.

**Q13** - Question assez longue qui comporte d'abord une analyse mécanique (certains candidats confondent ici le théorème de la résultante et celui de l'énergie cinétique), rarement menée à terme, puis l'identification d'un filtre classique du second ordre, partie de la question banale à laquelle le jury aurait pu attendre un meilleur résultat. À noter que les tracés logarithmiques ont été acceptés *seulement* s'ils étaient clairement identifiés comme tels (un tracé de  $|H|$  s'étendant vers les réels négatifs n'est vraiment pas sérieux).

**Q14** - Le lien entre « *élasticité* » et coefficient de raideur n'est pas souvent fait spontanément. Les calculs qui suivent ne sont pas élémentaires et donc rarement complets. À noter que la valeur de la célérité des ondes acoustiques était ici à l'initiative du candidat, sans que cela ne semble poser de problème à ce stade du sujet.

### *Partie III — Analyse de Fourier et diffusion thermique*

**Q15** - Abordée par presque tous les candidats, cette question de cours (expliciter la diffusivité thermique et évaluer la durée caractéristique du phénomène) a été plutôt bien traitée dans la majorité des copies. Le jury acceptait autant les méthodes basées sur un bilan thermique explicite (1D cartésien) que celles appuyées sur l'analyse dimensionnelle (si celle-ci était explicitée et pas seulement invoquée).

**Q16** - Cette question a également été bien réussie par la majorité des candidats. Rappelons ici que l'*allure des lignes de champ* doit comporter des marques de l'orientation du vecteur étudié. La chaleur qui « tourne en rond » en faisant tout le tour de l'anneau n'est bien sûr pas un choix raisonnable.

**Q17** - Même bien guidés par l'énoncé qui suggérerait la méthode et donnait le résultat à atteindre, les candidats ont eu bien plus de mal avec cette question, finalement assez discriminante. Rappelons ici comme chaque année que, lorsqu'un énoncé demande de « *montrer que (un résultat donné)...* », le jury ne se contente pas d'affirmations et vérifie le fil du raisonnement des candidats avant d'attribuer (ou pas) les points prévus au barème.

**Q18** - Il s'agissait ici seulement de résoudre une équation différentielle linéaire à coefficients et second membre constants. Difficile de trouver plus usuel, et pourtant une proportion significative des candidats n'y est pas parvenu.

**Q19** - La question pouvait être difficile faute de comprendre que, la solution cherchée  $T(\theta)$  n'étant *pas dérivable* en  $\theta = 0$  (comme explicité par l'énoncé), les grandeurs  $A$  et  $B$  ne sont que *constantes par morceaux*. Ceci éclairci, il ne subsistait pas de difficulté.

**Q20** - Cette question sans aucun nouveau calcul n'a malheureusement pas été très souvent abordée. Elle a de fait constitué un marqueur de la bonne compréhension par le candidat de l'étude en cours.

**Q21** - Les techniques de séparation des variables semblaient connues par presque tous les candidats qui ont abordé cette question, la différence se faisant entre autres sur les discussions de signe (pour la partie temporelle) et de parité (de la partie spatiale).

**Q22** - Cette question technique était suffisamment bien guidée pour que les meilleurs copies puissent en proposer une résolution complète. Quelques autres ont tenté ici de grappiller quelques points mais sans succès faute de compréhension des enjeux. Aucune connaissance des propriétés mathématiques des séries de Fourier n'était nécessaire.

**Q23** - Bien qu'il s'agisse de la dernière question du sujet, un nombre non négligeable de candidats a pu l'aborder et y répondre, confirmant une fois encore que le sujet était de longueur et de difficulté raisonnables.

#### 2.6.4 Conclusion

Explorant une part significative du programme de la classe de PSI, le sujet 2022 de Physique I a bien joué son double rôle de validation de la préparation et de classement des candidats, permettant aux meilleurs d'entre eux de traiter la quasi-totalité du sujet y compris les questions les plus délicates mais aussi à d'autres, plus faibles ou moins rapides, de faire preuve des qualités qui sont les leurs en se concentrant sur les questions plus proches du cours ou de leurs applications immédiates.

Certaines copies très mal notées signalent des étudiants qui se sont présentés ont préféré remplacer un travail soigneux et réfléchi par une frénésie de rédaction sans rigueur, abordant beaucoup de questions sans y répondre vraiment. La note attribuée ne dépend ni du nombre de questions abordées, ni du nombre de pages d'écriture produites. Il est de l'intérêt du candidat de s'en tenir au sérieux et au soin, de la première à la dernière minute de chaque épreuve du concours.

## 2.7 Physique 2 - filière PSI

### 2.7.1 Généralités et présentation du sujet

Le sujet aborde le fonctionnement d'un capteur de position (LVDT), en s'attachant à la description du principe de son fonctionnement, le conditionnement du signal qu'il génère. Il propose finalement l'étude d'une de ses applications. Le sujet comporte quatre parties, relativement indépendantes, et traitent du fonctionnement du capteur, depuis l'étude de son état de référence (en l'absence de sollicitation extérieure), jusqu'à la génération du signal dû à un déplacement de la partie centrale.