

**Q6** - Certaines copies mélangent la dérivée partielle par rapport à  $x$  et l'intégration sur la section droite. Cette dernière se transforme en une intégrale selon la coordonnée  $x$ , faisant ainsi disparaître la dérivée par rapport à  $x$ .

**Q7** - La définition de la valeur moyenne est bien connue.

**Q8** - Question un peu délicate qui nécessitait de s'appropriier le graphe et la formule fournie. Toutes les bonnes initiatives ont été valorisées.

**Q9** - Une comparaison entre  $L_w$  et  $l_c$  était attendue dans cette question. En particulier, les réponses  $L_w \rightarrow \infty$  et  $L_w \gg dw$  n'ont pas été acceptées.

**Q10** - Bien traitée.

**Q11** - Deux réponses étaient possibles pour cette question : soit en utilisant l'effet Joule dans la continuité de la question précédente, soit via la conducto-convection.

**Q12** - Bien traitée par la moitié des copies.

**Q13** - La partie analyse dimensionnelle a été bien traitée par la moitié des copies. L'impact de la vitesse sur Nu et son interprétation physique ont posé plus de difficultés.

**Q14** - Question peu abordée.

**Q16** - Question très difficile, correctement traitée par quelques très bonnes copies.

**Q17** - Comme l'indiquait l'énoncé, le terme en  $T_e - T_f$  n'émanait pas de la conducto-convection.

**Q18** - Bien traitée par de nombreuses copies.

**Q19** - Bien traitée.

**Q20** - Bien traitée par la moitié des copies qui l'ont abordée. L'autre moitié invoquant un effet non pertinent.

**Q21** - Très peu de copies font le lien avec la formule établie à la question 20. En particulier, le jury attendait une justification qualitative que la pente est une fonction affine de  $\sqrt{V}$ , un commentaire au regard du graphe ou, constant l'allure affine, une stratégie expérimentale pour étalonner le capteur (à la manière d'un pH-mètre par exemple).

**Q22** - Il était attendu que les copies citent explicitement des phénomènes physiques expliquant le retard, l'étalement et l'affaissement du second pic par rapport au premier.

**Q23** - Bien traitée par la moitié des copies.

## 2.3 Physique 2 - filière MP

### 2.3.1 Généralités et présentation du sujet

Le sujet, intitulé « À propos des araignées », s'intéresse à quelques problèmes de physique relatifs à trois espèces d'araignées :

- des araignées volantes tirent profit du champ électrostatique de l'atmosphère ;
- des araignées-catapultes tendent et relâchent leur toile pour capturer leurs proies ;
- d'autres araignées tissent des fils dont on peut faire des cordes vibrantes de violon.

Les parties sont totalement indépendantes et de taille à peu près équilibrée. Les questions sont soit indépendantes, soit groupées par deux.

Un ensemble de questions, **Q1, Q2, Q6, Q9, Q12, Q14**, exige des connaissances du cours, une bonne appropriation de l'énoncé (mettre en place des grandeurs physiques), des savoir-faire habituels de calculs d'ordres de grandeur (conversions, homogénéité des dimensions, applications numériques).

Les questions **Q3, Q8, Q10, Q15** et **Q17** reposent sur des compétences mathématiques usuelles (géométrie, développements limités, calcul d'éléments infinitésimaux et dérivation).

L'autre moitié des questions appelle des raisonnements plus élaborés ou des savoir-faire techniques propres à la physique, traités en une question unique ou filés sur deux questions successives.

Le sujet, principalement centré sur la mécanique (énergie mécanique des systèmes, dynamique du point), développe des questions d'électrostatique et de mécanique ondulatoire. Des savoir-faire transversaux sont évalués : appropriation de l'énoncé, analyse de données expérimentales, conversions et calculs d'ordre de grandeur, analyse dimensionnelle.

### 2.3.2 Commentaires généraux

Le défaut dans le soin des copies et *dans l'expression* atteint un niveau extravagant et la proportion des copies concernées devient alarmante. Nous corrélons ce constat au *défait d'appropriation de l'énoncé* qui provoque des non-sens parfois graves : trop de questions ne sont pas comprises. Cela a terriblement affecté les résultats dans leur ensemble. Nous réaffirmons que s'inquiéter du soin et de la qualité de son expression, ainsi que de prêter attention au sens précis des mots, doivent être une priorité dans le travail de l'étudiant.

La géométrie (**Q3** : calcul de la longueur d'un côté d'un hexagone régulier à  $2n$  côtés inscrit dans un cercle de rayon connu), le formalisme vectoriel et les projections (**Q10** : problème bi-dimensionnel de statique, **Q13** : pendule simple), posent anormalement problème. L'énoncé a présenté une omission : le Laplacien (ou la divergence) en cylindriques ne figurait pas au formulaire, ce qui ne permettait pas la résolution complète de la question 7.

La troisième partie était consacrée à la corde vibrante, dont l'étude en tant que telle n'est pas au programme de MP (mais l'étude expérimentale de la corde de Melde est faite en MPSI). Toutefois, l'énoncé est tout à fait progressif et abordable, cela a été traité plus aisément que les questions qui exigent des raisonnements de géométrie. Il est indéniable qu'aborder la corde vibrante en travaux dirigés de physique ondulatoire est un avantage.

Peu de copies ont traitées les questions dans le désordre, il y a eu un effort appréciable de cohérence globale dans le traitement des parties.

Le sujet présente des difficultés : la mécanique, qui est centrale, est un domaine de la physique généralement redouté en raison de la géométrie ; quelques exercices développés dans l'énoncé sont

originaux. Beaucoup de candidats ont fait preuve de combativité, de créativité, de tentatives que les correcteurs ont toujours cherché à valoriser.

### 2.3.3 Analyse détaillée des questions

**Q1** - Question réussie une fois sur deux. Le diamètre de la boule, plutôt que le rayon, est représentatif de la taille de l'animal. Le calcul doit être posé pour justifier l'ordre de grandeur trouvé.

**Q2** - Question dans l'ensemble bien traitée. Dans le contexte, il n'était pas utile de repartir du théorème de Gauss (en l'expédiant bien mal) pour redémontrer les résultats connus du condensateur plan.

**Q3** - Cette question présentait trois sous-questions. La première demande de calculer le côté d'un polygone régulier à  $2n$  côtés inscrit dans un cercle de rayon connu. Il suffit de quelques lignes et surtout d'un bon schéma pour y répondre. La réponse étant fournie par l'énoncé, nous jugeons la rédaction. Il convient de ne pas oublier les deux autres questions. L'énergie d'interaction d'un système à  $N$  corps demande le facteur  $1/2$ .

**Q4** - Une approche dynamique (forces ou moments) appliquée à un fil ne peut pas bien aboutir, faute de connaître l'expression des forces. L'approche énergétique sur le système à  $2n$  corps est judicieuse, la question **Q3** demandant d'exprimer l'énergie potentielle d'interaction du système. L'énoncé dit explicitement qu'on néglige le poids.

**Q5** - **Q6** - L'énoncé précisait les interactions à prendre en compte afin d'exprimer l'énergie potentielle totale du système.

**Q7** - Il manque l'expression du Laplacien en cylindriques au formulaire de l'énoncé, ce qui rendait la question irréalisable en l'état. Néanmoins, il y a moyen d'écrire l'équation de Laplace, puis d'écrire les conditions aux limites qui quantifient l'argument du sinus. Le jury a valorisé les tentatives et les démarches sensées.

**Q8** - L'application de la formule donnée du gradient pose problème, notamment sur le formalisme vectoriel.

**Q9** - Question bien traitée en général, mais pas de manière optimale car l'analyse dimensionnelle doit être parfaitement maîtrisée.

**Q10** - L'expression « loi de puissance » (qui signifie établir  $m = Ah^\alpha$  et exprimer  $A$  et  $\alpha$ ) n'est pas connue. Alors qu'il s'agit d'appliquer le principe fondamental de la statique et d'effectuer un développement limité, beaucoup de candidats se sont lancés dans un raisonnement énergétique (influencés par le mot « puissance » de la consigne), par exemple en affirmant la conservation (erronée) de l'énergie mécanique. Très peu de candidats se lancent dans le développement limité qui, quoique à l'ordre deux, ne pose pas de difficultés.

Par ailleurs, trop de candidats, par défaut de méthode et de rigueur dans le choix des grandeurs d'étude, confondent les longueurs  $l_0$  et  $l_0/2$  et ne parviennent pas à exprimer la force de rappel élastique.

**Q11** - Les candidats ayant trouvé (à tort) une loi linéaire à la question 10 la valident par l'ajustement affine des valeurs expérimentales sans se soucier du caractère logarithmique des échelles. L'expression « droite affine » est à proscrire car dénuée de sens.

**Q12** - Question classique sur les oscillateurs harmoniques, que l'on a vue traitée en analyse dimensionnelle, ou même comme un mouvement uniformément accéléré.

**Q13** - Question classique sur le pendule simple, trop souvent traitée en coordonnées cartésiennes. La cinématique du mouvement circulaire n'est pas assez bien connue, peu de candidats parviennent à exprimer les variations de la tension du fil avec l'angle du pendule. L'approximation des petits angles n'est pas valable quand  $\theta(0) = \pi/2$ .

**Q14** - La réponse  $k_{eq} = Nk$  est souvent donnée sans même quelques mots de justification : il faut maintenir l'effort dans la rédaction (qui peut être concise) tout au long de l'épreuve. Le calcul numérique d'ordre de grandeur n'aboutit pas souvent. Le nombre de brins dans un câble cylindrique est en raison du carré de son rayon.

**Q15** - Deux questions. La première porte sur la géométrie d'un tronçon élémentaire de corde. L'homogénéité est souvent malmenée. La deuxième porte sur la projection horizontale de la relation fondamentale de la dynamique. Des confusions entre la composante  $T_x$  et la norme  $T$  de la tension. Nous rappelons que  $T_x = T \cos \alpha$ , mais pas  $T_x \cos \alpha$ .

**Q16** - Question généralement bien traitée quand la question **Q15** l'a été. La relation  $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ , vue avec l'étude expérimentale de la corde de Melde, est assez bien connue. En revanche, des interprétations parfois fantaisistes en sont données : vitesse de la corde, voir célérité de la lumière...

**Q17** - On lit fréquemment  $\partial f(x-ct)/\partial t = -c \partial f(x-ct)/\partial t$ , ce qui est un non sens (à moins de supposer la dérivée partielle nulle !), et même  $\partial f(x-ct)/\partial t = -c \partial f(x-ct)$  ( $f$  n'étant pas nécessairement une exponentielle). Nous recommandons de poser clairement le changement de variable  $u = x - ct$ .

**Q18** - Question convenablement traitée même si certaines copies ont évoqué une particule quantique.

**Q19** - Rarement traitée. Encore beaucoup d'échecs dans l'application numérique (pourtant simple), même en ayant l'expression littérale correcte.

**Q20** - La relation de dispersion est retrouvée, parfois avec des erreurs de signe.

### 2.3.4 Conclusions

Les compétences acquises au long cours, de savoir-faire (appropriation de l'énoncé), mais aussi de physique (mécanique du système, du point), sont fragiles. Le sujet, exigeant, a valorisé la pugnacité des candidats. Les questions présentant une suite d'exercices indépendants leur ont permis de rebondir dans une variété de savoir-faire techniques. Ainsi, l'épreuve permet, comme attendu, de classer les candidats.

## 2.4 Physique 1 - filière PC

### 2.4.1 Présentation du sujet

Le sujet abordait deux systèmes physiques quantifiés par méthode optique interférentielle. Le sujet, divisé en quatre parties largement indépendantes, portait sur des éléments distincts du programme de