

Conclusion

Les meilleures copies proviennent de candidats qui possédaient une bonne culture en algèbre linéaire, mais qui ont aussi su faire un effort pour comprendre les finalités et les méthodes de l'énoncé. En effet celles-ci étaient souvent proches d'une partie à l'autre. De plus certaines méthodes étaient assez voisines de celles utilisées dans le cours d'algèbre en classes préparatoires.

Sciences physiques

Physique I

Présentation du sujet

Le problème de cette année abordait différentes parties du programme de première et deuxième année (diffusion thermique, électrocinétique, électronique, ondes), par une étude des ondes thermiques.

La finalité de l'étude (partie IV) était le principe de l'interférométrie multiple d'ondes thermiques (TWI : thermal waves interferometry), technique permettant la mesure du coefficient de diffusion thermique D d'un gaz.

Le début du problème était constitué de :

- Partie I : diffusion thermique en régime stationnaire, puis en régime sinusoïdal forcé ;
- Partie II : étude expérimentale de l'équation de diffusion à partir d'un modèle électrocinétique ;
- Partie III : étude d'un capteur de flux lumineux modulé, basé sur l'effet pyroélectrique.

Dans la partie IV, c'est ce détecteur très sensible qui recevra l'onde thermique, après traversée du gaz à étudier.

Les quatre parties étaient largement indépendantes, cependant les parties I et III préparaient la partie IV, alors que la partie II était une étude annexe.

Les aspects expérimentaux occupaient une large place dans le problème, en accord avec l'esprit de la filière PC. Une alternance de questions de cours, de questions en lien avec les TP et de questions plus difficiles ont permis un étalement des notes tout à fait satisfaisant pour cette épreuve.

Il était nécessaire d'avoir de bonnes connaissances, et de savoir les adapter pour mener à bien cette étude originale, cela nécessitait des qualités de réflexion et d'adaptation, qualités essentielles au métier d'ingénieur.

Analyse globale des résultats

En moyenne, 57 % des points des candidats ont été obtenus dans la partie I, qui représentait 32 % des points du barème.

14 % ont été obtenus dans la partie II (18 % des points du barème).

16 % ont été obtenus dans la partie III (25 % des points du barème).

13 % ont été obtenus dans la partie IV (25 % des points du barème).

Les candidats ont donc passé beaucoup de temps sur la partie I, et la fin de la partie IV n'a pratiquement pas été abordée, l'épreuve étant relativement longue.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Graphes

Un problème à l'impression du sujet (traits fins non imprimés sur les figures 2 et 6) rendait les lectures graphiques plus délicates, surtout pour la figure 6 où l'échelle logarithmique à l'intérieur d'une décade (horizontale ou verticale) était absente. Le jury en a tenu compte en acceptant pour les applications numériques associées une gamme de valeurs plus étendue.

Partie I - Étude de la diffusion thermique

- I.A.1. : il ne s'agit pas de redonner les noms qui figurent dans l'énoncé : seulement 16 % de bonnes réponses pour la signification de j_Q . De nombreuses confusions entre la dimension d'une grandeur et l'unité avec laquelle on la mesure.

Les candidats devraient réfléchir à tous les phénomènes de transport rencontrés dans le cadre du programme, et à la signification physique du vecteur densité de courant associé.

- I.A.3. : 44 % de réponses correctes seulement. Une affirmation péremptoire telle que : « le régime est stationnaire, donc j_Q est uniforme » ne constitue pas une démonstration. Les arguments : pas de travail, pas de sources, surface constante sont rarement

invoqués.

- I.A.4. : l'énoncé est précis. L'expression littérale de $T(z)$ ne doit pas être remplacée par une résolution semi-numérique, soit seulement 53 % de réponses justes.
- I.A.5. : question peu abordée, certainement dû au fait que c'est une question indépendante et absence de guidage par l'énoncé : 20 % de bonnes réponses.
- I.B.1. : 64 % de bonnes réponses. Il ne suffit pas de donner les unités séparément.
- I.B.2. : D devait être déduit de r_{th} et c_{th} : seulement 25 % de bonnes réponses, à cause de nombreuses réponses par analyse dimensionnelle pour D .
Il ne faut pas chercher à donner par analyse dimensionnelle des résultats que l'énoncé demande de trouver autrement. Le jury note que cette pratique devient de plus en plus fréquente, or il ne s'agit pas d'une démonstration, et cela ne permet pas de trouver une éventuelle constante multiplicative adimensionnée. Les étudiants devraient en revanche se servir de l'analyse dimensionnelle pour contrôler que toutes les relations qu'ils écrivent sont bien homogènes.
- I.B.4. : question de cours : nécessité d'être rigoureux, en moyenne 40 % des étudiants montrent leur erreurs grossières en thermodynamique.
- I.B.5. : bien traité dans 45 % des copies. L'argument « parce qu'il y a une dérivée première par rapport au temps », mis seul, ne suffit pas.
- I.C.1. : seulement 8 % de bonnes réponses, signe – très souvent oublié, on rencontre trop souvent un déphasage en secondes.
- I.C.2. : 11 % de valeurs justes seulement pour la fréquence, à cause de confusions pulsation-fréquence, division par 2 oubliée, et enfin mauvais nombre de chiffres significatifs.
- I.C.3. : il ne suffit pas d'invoquer la linéarité, il faut rappeler que T_p est solution : 19 % juste.
Ce n'est pas parce que l'énoncé donne \underline{K} qu'il faut se dispenser d'un calcul correct avec les complexes (fait dans 50 % des copies).
- I.C.4. : le choix de ε n'est pas toujours bien justifié, beaucoup d'erreurs de signe dans ce calcul pourtant classique donnant les 2 fonctions, soit 45 % de réponses justes.
- I.C.5. : mesures graphiques rarement traitées, les AN sont rarement faites, ou données avec trop de CS : 11 % de réponses justes avec les amplitudes, et 9 % avec le déphasage.
- I.C.6. : attention au vocabulaire sur les ondes : 20 % seulement donnent onde plane, progressive harmonique, et 37 % amortie ou atténuée.

Partie II - Analyse électrocinétique et discrétisation de l'équation de diffusion

- II.A.1. : juste dans 43 % des cas seulement. Résultat immédiat avec le théorème de Millman.
- II.A.4. : \underline{k} complexe, d'où déphasage entre les tensions, vu par 17 % des candidats.
Erreur fréquente : atténuation.
- II.B.2. : quelques n_0 cellules, donné par 16 % des candidats. Seulement 4 % donnent des précisions : une allusion aux pourcentages.
- II.C.1. : le graphe $\ln(n_0 \exp)$ en fonction de $\ln f$, tracé sur la copie dans seulement 18 % des cas.
- II.D.1. : approximation des milieux continus bien traité dans 25 % des copies.
- II.D.2. : tableau rempli de façon partielle, sans chercher à voir soigneusement l'analogie avec la diffusion thermique. Première case : u_n rarement trouvé (6 %). Deuxième case : $-P_{th}$ quasiment jamais donné (3 %). Un peu mieux pour $r_{th}c_{th} = 1/D$ (33 %) et pour n_0 (21 %).
- II.D.3. : pas compris du tout : quasiment personne ne reconnaît l'entropie créée par seconde.
Irréversibilité et effet Joule jamais évoqué non plus.

En conclusion de cette partie : si les questions d'électrocinétique sont relativement bien traitées, l'analogie avec la diffusion thermique n'a pas été vue, même par les très bons candidats.

À partir de là, les candidats, pris par le temps, se livrent à un « grappillage » très net.

Partie III - Étude d'un détecteur pyroélectrique

- III.A. : relation donnée par l'énoncé : certains candidats n'hésitent pas à mener des raisonnements totalement aberrants, pour retrouver à tout prix la relation proposée.
Seuls 30 % raisonnent correctement sur j polarisation.
- III.B.1. : la comparaison de e avec δ du I.C.3. est rarement vue (10 %). Quasiment personne ne fait correctement l'AN pour δ .
- III.B.2. : souvent bien fait (59 %).
- III.B.3. : même remarque qu'au III.A. Attitude lourdement sanctionnée. Seulement 20 % des candidats écrivent correctement la

conservation de l'énergie pour le film.

- III.B.5. : la relation obtenue facilement au III.B.4. doit être clairement utilisée (soit 17 %).
- III.B.6. : AN température juste dans 7 % des copies.
- III.C.1. : AN $i = 1$ pA importante pour la suite (juste dans 4 % des cas). Si quelques étudiants commentent bien : i difficile à mesurer, personne ne pense à relier cette faible valeur au fait qu'il s'agit de courants de polarisation.
- III.D.1. : suiveur reconnu par seulement 44 % des candidats. Les questions intéressantes sur l'utilité du suiveur, le choix de l'ampli op ne donnent la plupart du temps lieu qu'à des réponses vagues. (5 % de bonnes réponses)
- III.E.2. : ordre du filtre rarement précisé (13 % des cas) dans cette question très largement traitée. Beaucoup d'étudiants perdent du temps à étudier le comportement BF-HF alors qu'il suffit de regarder la figure 6.
- III.E.4.a. : unité de H : 6 % de bonnes réponses.
Pour f_0 : la moitié de la décade, ce qui correspond à 0,3 Hz (et non 0,5 erreur très fréquente).
- III.E.4.b. et c. : travail sur facteur de qualité très rarement bien mené.

Partie IV - Interférences d'ondes thermiques

Cette partie n'a donné lieu qu'à un grappillage désordonné.

- IV.A.1. : le caractère absorbant d'une face noire n'a pas été évident pour tous : 24 % de bonnes réponses. Beaucoup d'imagination pour trouver des réponses très fantaisistes...
- IV.A.2. : schéma avec foyers précisés souvent bien traité (36 % justes), et AN justes.
- IV.B.1. : si la relation est souvent donnée juste à l'intuition (58 %), seulement 20 % invoquent la continuité de la température à l'interface.
- IV.B.2. : très peu de candidats savent relier la conservation de l'énergie à sa conséquence sur les j_0 . Beaucoup d'erreurs de signe (16 % de réponses justes). Voir IV.B.5.
- IV.B.3. : 6 % seulement des candidats remarquent qu'on retrouve les ondes thermiques du I.C.
- IV.B.4. : l'argument de linéarité est rarement mis en avant pour justifier la réponse (12 %).
- IV.B.5. : des signes qui redeviennent justes... parce que c'est plus commode pour la suite (voir IV.B.2.). Attitude peu honnête, bien sûr sanctionnée.
- IV.C.1. : la fonction de transfert du déphaseur, ainsi que l'expression du déphasage, ont mis en difficulté une bonne proportion de candidats ayant abordé cette question.
- IV.C.3. : quasiment jamais traité.
- IV.D.1. : grappillage.
- IV.D.2. : définition de la longueur d'onde presque toujours fausse. Lien avec D_g jamais vu.
- IV.D.4. : et donc, personne ne comprend que ce protocole expérimental permet la mesure de D_g ...

Conclusion

Il est dommage que la fin du sujet n'ait pas pu être traitée : les résonances dues aux interférences multiples d'ondes thermiques dans la cavité où se trouve le gaz, constituaient une belle étude, originale et intéressante.

Même les très bons candidats n'ont pas traité cette partie intéressante à cause de la longueur du sujet.

D'un autre côté, le sujet présentait ainsi un aspect très varié, avec de nombreuses questions largement indépendantes, totalement conformes au programme. Cela a permis à tous les candidats de pouvoir valoriser leurs connaissances dans l'un au moins des domaines abordés.

Notons enfin que les étudiants devraient faire un effort pour se relire, corrigeant ainsi certaines fautes, même si le jury note qu'ils font globalement des efforts de rédaction et de présentation.

Physique II

Présentation du sujet

Le sujet est consacré à l'étude de la formation des stalactites.

La première partie commence par un modèle d'écoulement très classique, adapté ensuite au ruissellement sur une stalactite.

La seconde partie étudiait la formation d'une stalactite de calcaire dans une grotte. La croissance de la stalactite est pilotée par la diffusion du dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère.