

## Composition de Physique 2, Filière PC

Rapport de Mme Nathalie PALANQUE-DELABROUILLE et M. Laurent SCHOEFFEL, correcteurs.

Le problème propose une étude de la réflexion et de la transmission d'une onde électromagnétique par des milieux conducteurs. La première partie traite de la propagation de l'onde dans un plasma d'extension infinie. Un certain nombre de concepts sont introduits progressivement dans cette partie, liés à la notion de polarisation. La deuxième partie, plus difficile, recouvre divers aspects quasi indépendants des interactions entre porteurs à l'intérieur du plasma, d'un point de vue électronique d'une part et d'un point de vue thermodynamique d'autre part. La dernière partie est plus classique et elle propose l'application d'éléments du cours au cas d'une couche d'épaisseur nanométrique. On peut noter par ailleurs que les trois parties sont relativement indépendantes, ce que beaucoup de candidats ont constaté, abandonnant rapidement la deuxième partie pour s'attarder sur la troisième. Nous notons par conséquent et apprécions que les candidats aient lu et abordé l'ensemble de l'épreuve.

Les notes des candidats français se répartissent selon le tableau suivant :

|                         |      |       |
|-------------------------|------|-------|
| $0 \leq N < 4$          | 50   | 3,9%  |
| $4 \leq N < 8$          | 455  | 35,4% |
| $8 \leq N < 12$         | 582  | 45,2% |
| $12 \leq N < 16$        | 177  | 13,8% |
| $16 \leq N \leq 20$     | 23   | 1,8%  |
| Total                   | 1287 | 100 % |
| Nombre de copies : 1287 |      |       |
| Note moyenne 8,90       |      |       |
| Écart-type : 3,02       |      |       |

De manière générale, les candidats ont bien traité la première partie (65% des points attribués en moyenne), ont rencontré beaucoup de difficultés dans la seconde (30% des points en moyenne alors que c'était la partie la plus longue et donc celle qui contribuait le plus à la note totale), et ont manqué de temps pour avancer significativement dans la dernière (35% des points attribués en moyenne).

## Partie I

Les difficultés principales de cette partie viennent de l'introduction des polarisations dues aux charges du milieu considéré, en distinguant les contributions des électrons de conduction et des électrons élastiquement liés.

1) La grande majorité des candidats ont bien répondu à cette question, en donnant quelques arguments justifiant les relations demandées.

2) Cette question a dérouté un grand nombre de candidats qui n'ont pas compris la factorisation suggérée en s'arrêtant à l'expression équivalente développée. D'autre part, nous constatons une erreur fréquente d'un facteur deux dans le carré de la pulsation plasma, dû à la double prise en compte des charges libres : à la fois dans la densité de courant libre et dans la polarisation (libre). Notons que l'expression de l'équation de propagation étant donné dans l'énoncé, les candidats ont pu poursuivre le problème même sans avoir obtenu l'expression de la pulsation plasma.

3) Question de cours toujours bien traitée.

4) La continuité du champ électrique tangentiel était une question de cours traitée sans difficulté. Celle de la dérivée de  $E$ , que l'on pouvait obtenir soit par la continuité de  $B$ , soit par l'équation de propagation, a posé plus de problèmes.

5) Question calculatoire bien traitée.

6) Très peu de candidats ont répondu correctement à cette question. Rares sont ceux qui ont pensé à utiliser la valeur limite quand la longueur d'onde tend vers zéro, la plupart s'étant lancés dans d'inextricables calculs à partir de deux couples de valeurs (longueur d'onde et coefficient de réflexion).

## Partie II

Cette partie regroupe en quelques questions des notions très variées du programme, comme la mécanique (avec l'énergie potentielle, le travail d'un champ, la quantification du moment cinétique), et la thermodynamique (avec les notions de température, de potentiel chimique et d'équilibre thermodynamique). Cette diversité a dérouté la plupart des candidats, l'énoncé étant, de plus, relativement dense, ce qui rajoutait une difficulté supplémentaire.

1.1) Question simple toujours bien traitée; il suffisait de faire le cumul des forces citées dans l'énoncé.

1.2,1.3,1.4) Questions de cours sans problème, souvent correctement traitées.

**2.1)** Question délicate. Par des arguments intuitifs, un quart environ des candidats ont trouvé la configuration demandée. Par contre, peu ont obtenu l'expression de l'énergie totale, négligeant fréquemment, à tort, l'interaction entre les deux électrons (du même ordre de grandeur que celle entre l'un des électrons et la charge centrale). Sans cette expression, il n'était pas possible de résoudre intégralement les sous-questions suivantes de **II.2**. Notons que seules les bonnes copies ont continué la **partie II** au-delà de cette question.

**2.2)** La notion de quantification du moment cinétique n'a pas posé de problème mais les erreurs de la question précédente empêchaient de déterminer le rayon  $R$  correct. Toutefois, des points partiels étaient attribués pour toute démarche logique.

**2.3)** Plus proche du cours, le système à deux charges a rassuré certains candidats qui ont tenté de résoudre cette question.

**2.4)** L'application numérique nécessitait bien évidemment les réponses aux questions **2.2)** et **2.3)**, donc seuls quelques points partiels (ordre grandeur raisonnable et unités correctes) ont pu être attribués. La relation Energie/Température a souvent donné lieu à des réponses fantaisistes : certains ont associé l'état fondamental au zéro absolu et d'autres à la température ambiante!

**3.1)** La partie de la question concernant le calcul de limite quand  $T$  tend vers zéro n'a posé aucun problème. La moitié des copies environ ont bien traité la suite de cette question en donnant une expression correcte (parfois parachutée) pour le potentiel chimique de  $X^-$ .

**3.2,3.3)** Questions relativement simples mais traitées de façon très approximative avec des simplifications abusives, notamment sur les masses des trois espèces. Nous nous attendions à ce que plus de candidats ayant atteints cette question obtiennent les relations de conservation correctes.

**3.4)** Question qui se déduisait directement des précédentes.

**3.5)** Question quasiment jamais abordée.

## Partie III

Cette partie est assez linéaire, n'introduit aucun concept difficile, il suffisait de se laisser guider par l'énoncé et de s'appliquer dans les calculs. La majeure partie des candidats ont abordé au moins le début de cette partie.

**1)** Question de cours très simple (85% des points attribués en moyenne).

**2)** Cette question découle directement de la précédente à condition de gérer correcte-

ment les expressions matricielles (40% des points attribués en moyenne).

**3)** Beaucoup de candidats ont su donner la fréquence de résonance à partir de l'énoncé de cette partie.

**4)** Application numérique simple et qui pouvait être effectuée à partir des expressions données dans l'énoncé. Pourtant, les unités (eV en particulier) ont dérouté une bonne partie des candidats qui se sont retrouvés à comparer des fréquences avec des dizaines d'ordre de grandeur de différence. Les candidats devraient de plus être attentifs à ne pas donner une unité farfelue, ni même un SI pour l'application numérique d'une quantité sans unité (ici, le paramètre alpha).

**5)** Quand cette question a été abordée, elle l'a été en général avec un certain succès.

**6, 7)** Questions rarement parfaitement traitées, mais plus de la moitié des points ont été attribués aux candidats ayant extraits des informations pertinentes de la Figure proposée. Très peu de candidats (moins de 5%) ont abordé la dernière question du problème.

## **Conclusion**

Ce problème était difficile et ne comportait que très peu de véritables questions de cours. La plupart des questions nécessitait un peu de recul par rapport à ce qui a été vu en classe. Aussi, nous avons apprécié des approches même intuitives mais faisant preuve de sens physique plutôt que des calculs désordonnés. Les meilleures copies sont celles qui n'ont pas perdu pied dans la deuxième partie, qui s'est révélée assez discriminante. La troisième partie, pourtant plus simple, nécessitait également une certaine clarté pour mener les calculs à bien.