

# EPREUVE ECRITE DE PHYSIQUE

ENS : LYON CACHAN

*Durée : 4 heures*      *Coefficients : LYON 4 CACHAN 5*

MEMBRES DE JURYS : = A.-E. BADEL, F. CHARRA, P.-R. DAHOO, E. LEVEQUE, F. TREUSSART

## Commentaires généraux

L'épreuve portait sur la propagation de la lumière près d'interfa= ces métalliques. L'objectif final était la comparaison des modes de propagation dans des guides d'ondes pour une fréquence optique à ceux, vus en cours, pour une fréquence micro-ondes. Dans une première partie, on étudiait la propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu conducteur. On demandait « au passage » d'établir les conditions = de propagation des ondes dites de *plasmon* et d'en étudier les propriétés. La deuxième partie permettait d'établir l'existence d'ondes guidées à l'interface, dites *pl= asmons de surfaces*, et de décrire en détail ces ondes. Enfin, on analysait dans la troisième partie, les modes de propagation formés par la combinaison de deux plasmons de surface, dans un guide d'onde plan de conductivité finie. Le p= assage par continuité aux modes TE, vus en cours, lorsqu'on faisait tendre la conductivité vers l'infini permettait de conclure.

Le problème était assez long et très peu de candidats ont= eu le temps de traiter de manière approfondie la troisième parti= e. La répartition des notes montre cependant que l'épreuve= a permis de bien départager les candidats. Quelques excellentes copies sont très nettement sorties du lot.

Beaucoup de candidats ont opté très tôt pour la stratégie consistant à sélectionner des questions isolées, jugées faciles, parfois même dans le désordre. Il faut savoir cependant que l'opiniâtreté mise à résoudre les questions en suivant le fil de l'énonc&eac= ute; a souvent conduit à de meilleures notes, même pour un nombre inférieur de question abordées.

La difficulté principale de l'épreuve était de ne pas se laisser distraire des aspects physiques du problème par le formalisme mathématique. Beaucoup de candidats se sont lancés dans des calculs fastidieux, lorsqu'une analyse physique de la question leur aurait permis de s'orienter vers des démonstrations simples et directes. Seule la question 29, en fin de dernière partie, nécessitait de longs calculs.

Très peu de candidats ont su établir des liens avec les modes de propagation du guide d'onde rectangulaire, malgré plusieurs invitations dans ce sens. Par exemple, le terme d'onde longitudinale n'a pas été opposé au terme d'onde transverse dans le guide rectangulaire.

Comme souvent, nous devons attirer l'attention sur le respect de l'homogénéité des expressions littérales. Par exemple, une majorité de candidats a remplacé une densité volumique par une densité surfacique dans une équation de continuité sans se poser plus de questions. L'homogénéité est aussi particulièrement maltraitée lors des comparaisons d'ordres de grandeurs, où l'on compare volontiers  $\epsilon_0$  des grandeurs dimensionnées telles que des fréquences ou des conductivités.

## Commentaires détaillés

### Première partie : Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu conducteur homogène

1. Si l'expression des équations de Maxwell est bien connue des candidats, leurs significations physiques l'est beaucoup moins. Les paraphrases telles que « l'équation relie les variations spatiales du champ électrique aux variations temporelles du champ magnétique » n'ont pas été retenues comme une signification physique.

2. Trop de candidats ont commencé par reproduire la méthode vue en cours conduisant aux équations de propagations dans le vide, et ne se sont rendu compte qu'après plusieurs pages d'équations que cela ne menait pas au résultat demandé.

3. Si les candidats manipulent avec brio les vecteurs complexes quand il s'agit de mathématiques pures, leur usage en physique en déroute plus d'un ! Rappelons par exemple que deux vecteurs complexes peuvent avoir simultanément un produit scalaire et un produit vectoriel nuls sans qu'aucun des deux ne soit nul. Un minimum de rigueur a été récompensé.

Enfin, assez peu de candidats ont noté la particularité de l'onde, qui était de posséder un champ électrique parallèle à la direction de propagation. Parmi eux, une minorité a relié le terme d'« ondes longitudinales » proposé à celui des ondes transverses, ou des modes transverses du guide d'onde, possédant un champ électrique perpendiculaire à la propagation.

7. Alors qu'il était précisé dès l'introduction que le problème concernait des ondes électromagnétiques aux longueurs d'onde optiques, des erreurs de plusieurs ordres de grandeurs dans les pulsations ou les longueurs d'ondes ne suscitaient en général aucun étonnement. Les limites entre différents domaines du spectre électromagnétiques sont très mal connues. On a même vu quelques erreurs sur l'ordre de leur succession, telles que les micro-ondes placées au-

delà, en fréquence, de l'UV !

Par ailleurs, très peu de candidats ont montré de manière quantitative pourquoi le modèle de conductivité infinie devient invalide aux fréquences optiques.

Dans plusieurs copies, une conductivité était considérée comme infinie lorsqu'elle était supérieure à 1, sans que les questions d'homogénéité semblent poser problème.

10. La signification de la composante imaginaire d'un vecteur d'onde est très mal comprise, particulièrement lorsque celle-ci n'est pas parallèle à sa composante réelle. Le terme d'onde évanescente est assez méconnu.

### Deuxième partie : Propagation d'une onde électromagnétique le long d'une interface métallique

12. La nature physique du milieu semble avoir été oubliée par des candidats dans leurs tentatives de justification de l'absence de courants surfaciques. Encore une fois la formulation mathématique a pris le dessus.

13. Même remarque que pour la question 3 concernant la rigueur dans l'utilisation des vecteurs complexes. Beaucoup d'étudiants ont tenté d'utiliser des arguments de symétrie en faisant des hypothèses arbitraires sur les éléments de symétrie des sources, alors que celles-ci n'étaient pas connues a priori.

16. La plupart des candidats ont essayé d'appliquer, sans changement, la relation de continuité de la charge volumique au cas de charges surfaciques, passant outre l'inhomogénéité du résultat ainsi obtenu.

19. Cette question de culture scientifique et technique a été l'occasion d'un festival de perles, telles que le laser émettant de la lumière grise. Les étudiants des classes préparatoires semblent plus concernés par les applications des lasers décrites dans les sujets de concours des années précédentes que par les lecteurs de CD et de DVD. Ces dernières applications, bien que représentant l'essentiel du marché des lasers, n'ont pratiquement jamais été citées.

20. Cette question devait faire remarquer que l'onde était proche d'une onde transverse du côté du vide et d'une onde longitudinale du côté du métal. Les seuls candidats ayant traité ce point se sont bornés à donner une expression littérale exacte du rapport entre composantes transverses et longitudinales du champ électrique, sans aller jusqu'à évaluer celui-ci. De simples considérations d'ordres de grandeurs suffisaient à conclure très rapidement, sans passer par ce calcul fastidieux.

21. Le vecteur de Poynting est donné dans des unités « folkloriques ».

### Troisième partie : Propagation d'une onde électromagnétique dans un guide d'onde formé de deux interfaces métalliques

-

26-28. Ces questions pouvaient en partie être traitées en admettant le résultat de la question

précédente.

-

29. Si quelques candidats ont abouti aux expressions justes pour cette question très calculatoire, très peu ont su les exploiter pour décrire le comportement des modes de propagation électromagnétique.

-

32. Les représentations des modes symétrique et antisymétrique de la question 27 permettaient de faire le lien avec les modes du guide d'onde rectangulaire.

-