

## 2.2 - Épreuves écrites

### 2.2.A - PHYSIQUE I - Filière MP

#### I) REMARQUES GENERALES

Le sujet comportait deux parties indépendantes traitant d'ondes électromagnétiques. La première partie étudiait la propagation d'ondes appartenant à l'infrarouge proche dans une fibre optique, d'abord à saut d'indice puis à gradient d'indice. La seconde partie traitait du rayonnement d'antenne dans le domaine des micro-ondes et se terminait par l'étude de réseaux d'antennes.

Nous avons constaté que les difficultés rencontrées par les candidats proviennent essentiellement :

- de connaissances élémentaires insuffisantes en mathématiques, notamment en trigonométrie (par exemple lors de calculs de chemins optiques), mais aussi dans les développements limités, ou dans les raisonnements faisant intervenir des inégalités ;
- de connaissances confuses dans le domaine des ondes, qu'il s'agisse de la confusion entre pulsation et fréquence, de la notion d'ondes « en phase » souvent réduite à un seul déphasage nul alors que cela doit être vrai « modulo  $2\pi$  », ou des notations complexes ou réelles des champs qui se sont souvent fondues en d'étranges hybrides...

Bien des erreurs de calculs apparaissant à quelques lignes du résultat auraient pu être évitées par une relecture soigneuse de la copie.

Les correcteurs ont été sévères pour les candidats qui maquillent leur résultat afin d'arriver à la formule demandée. En revanche, ils considèrent avec bienveillance ceux qui constatent leur erreur de raisonnement, et font preuve de critique à l'égard de l'homogénéité de leur résultat ou de l'ordre de grandeur de leurs applications numériques.

En effet, on ne saurait que trop conseiller aux candidats de toujours vérifier l'homogénéité des relations trouvées, cela permettant bien souvent de déceler la plupart des erreurs de calculs (aux coefficients numériques près) et d'avoir quelques ordres de grandeur en tête.

L'oubli des vecteurs unitaires ou des flèches sur les grandeurs vectorielles est encore trop courant : si une grandeur vectorielle figure à gauche d'un signe "égal", la grandeur de droite doit aussi être un vecteur !

Une attention particulière doit être apportée à la vraisemblance de la direction et du sens du vecteur obtenu par une telle égalité : le vecteur de Poynting a souvent été indiqué comme colinéaire au vecteur unitaire  $\mathbf{e}_\theta$  ou à  $\mathbf{e}_\phi$  ou encore de sens opposé à  $\mathbf{e}_r$ .

Lorsque des arguments géométriques ou trigonométriques interviennent, le candidat ne doit pas hésiter à faire une figure, en y faisant intervenir les notations du texte et/ou les siennes le cas échéant.

Dans la partie d'optique, l'angle  $\theta$  défini par le texte a souvent été confondu avec son complémentaire.

Les candidats doivent également réaliser que les réponses aux questions demandant de rétablir un résultat fourni par l'énoncé ne sont pas évaluées de la même façon que celles consistant à établir une relation que le texte ne donne pas. Dans le premier type de questions, ce sont bien évidemment les qualités de la rédaction, la rigueur de l'argumentation qui sont prises en compte, et non pas l'obtention du résultat, parfois de façon plus ou moins miraculeuse, à la dernière ligne de calculs parfois illisibles et/ou inextricables.

L'amélioration de l'orthographe est certaine. Cependant certaines copies sont encore illisibles. Certains candidats oublient aussi dans leur élan de noter les numéros des questions, ce qui est impératif.

De façon générale, c'est la seconde partie qui a été la plus et la mieux traitée, ce qui laisse regretter que l'optique géométrique qui dominait la première partie (traitant de la fibre optique) n'ait pas semblé très fraîche dans la mémoire des candidats...

## **II) REMARQUES PARTICULIERES**

Ces remarques concernent les principales difficultés question par question :

1. Question rarement bien traitée. Beaucoup de candidats n'ont pas su convertir une bande de fréquences (donnée dans l'énoncé) en une bande de longueurs d'ondes (il suffisait d'utiliser la relation :  $\lambda = c/f$ ), avec de fréquentes confusions pour le MHz et le GHz. Très peu ont répondu de manière correcte au nom du physicien ayant produit et détecté des ondes électromagnétiques de l'ordre du GHz (les noms les plus fantaisistes ont été donnés : de Descartes à Einstein, en passant par Newton...) et la moitié des candidats a confondu l'infrarouge proche (800 nm-10  $\mu$ m) avec le proche ultraviolet.
2. Cette question et la suivante ont très souvent été correctement traitées lorsqu'elles étaient abordées.
3. Même si beaucoup sont arrivés au bon résultat, peu ont proprement effectué le développement limité attendu, se contentant d'utiliser la fonction arcsinus et de remplacer  $n_2$  par  $n_1 - \Delta$ . Un bon tiers des candidats traitant la question a oublié d'effectuer l'application numérique ou a calculé l'angle et non son sinus comme cela était demandé. L'ouverture numérique a parfois été exprimée en radians, voire même en degrés...
4. Cette question, dont le résultat était donné, exigeait une démonstration rigoureuse, expliquant en un minimum de lignes les étapes du calcul permettant d'arriver à l'expression du déphasage. Bien souvent, la différence de chemin optique entre P et P' a été bizarrement réduite à 2 fois celle entre B et C, la distance BC étant alors incorrectement égalisée à  $BC = a \cdot \cos\theta$  au lieu de  $BC = a/\cos\theta$  (expression correcte) ce qui permettait effectivement d'arriver au résultat, mais ne dupait pas les correcteurs... Quelques fois il a été astucieusement fait référence à l'analogie avec l'interféromètre de Michelson utilisé en lame d'air, mais la démonstration n'a pas été reprise dans ses grandes lignes. Une figure était la bienvenue, et son absence s'est parfois fait cruellement ressentir...
5. L'expression « en phase » a été assez souvent réduite à  $\varphi = 0$ , alors qu'il ne fallait bien entendu pas exclure les multiples de  $2\pi$ . On trouve aussi quelques fois :  $\varphi = m\pi$ , ou encore  $\varphi = (2m+1)\pi$ . Pour le nombre de modes, une majorité a oublié la condition de réflexion totale qui entraînait :  $\cos\theta \leq \cos\theta_L$  et qui était plus restrictive que  $\cos\theta \leq 1$ . Ces deux erreurs ont conduit les candidats à de mauvais résultats pour les deux questions suivantes.
6. Beaucoup de candidats se sont contentés d'exprimer une longueur d'onde de coupure ou ont confondu pulsation et fréquence. Un mauvais traitement des inégalités les a souvent conduit à mal conclure sur le comportement fréquentiel du filtre (passe-haut).
7. Question en général bien traitée lorsque la question 5 l'était.
8. Souvent mal traitée. La distance maximale parcourue a été souvent mal estimée ( $L/\cos\theta_L$  au lieu de  $L/\sin\theta_L$ ). La distance minimale correspondait bien entendu à  $\theta = 90^\circ$  et non  $\theta = 0$ , la remarque a été faite à la quasi unanimité, et appréciée. Par contre, trop de calculs de  $\Delta T$  ont été effectués avec comme célérité  $c$  au lieu de  $v = c/n_1$ , ce qui conduisait difficilement à un résultat ne dépendant ni de  $n_1$  ni de  $n_2$ . Ainsi, un certain nombre de candidats se sont permis d'approcher  $n_1$  ou  $n_2$  par 1 pour aboutir au bon résultat... La valeur de  $L$  n'étant pas donnée pour le calcul de  $R_{\max}^{\text{saut}}$ , un choix de valeur de la part du candidat a été valorisé.
9. On aurait souhaité que cette question soit traitée avec davantage de rigueur, qu'il s'agisse de la démonstration de la propagation du rayon lumineux dans un plan ( le fait que le rayon réfracté se trouve dans le plan d'incidence a très souvent été avancé par les candidats ayant abordé cette question ; par contre, la justification du fait que le plan d'incidence était toujours le même d'une réfraction à la suivante n'était presque jamais fournie. Le fait que le rayon entrant dans la fibre appartenait à un plan contenant l'axe (Oz) était pourtant un argument important pour étayer le raisonnement "de proche en proche" souvent proposé par les candidats) ou de l'équation différentielle demandée. Cette formule a été retrouvée à l'aide de méthodes mathématiques et trigonométriques étranges, comme par exemple des développements limités en  $dr/dz$ ...

10. La valeur  $F(1) = 1$  s'obtenait par continuité de  $n(r)$  en  $r = a$ . Il ne fallait pas utiliser  $F(u) = u^2$  qui était un exemple de profil d'indice. Le graphe a parfois été mal interprété et on a pu ainsi avoir comme réponse  $F(1) = 1,41$  qui était en fait  $n(r=a)$ ... L'ouverture numérique se retrouvait en écrivant qu'en  $r=a$  le rayon lumineux devait arriver tangentiellement à la gaine, soit :  $(dr/dz)(r=a) = 0$ . Cette partie de la question a été peu traitée, mais assez souvent avec succès pour ceux qui s'y sont hasardés.
11. Très peu abordée, et avec fort peu de succès. La plupart ont bien remarqué que le portrait de phase devait être fermé pour avoir une fonction  $r(z)$  périodique, mais l'étude du portrait de phase en elle-même a été très rarement bien traitée.
12. Question en général bien traitée. On rappelle que le rapport de deux débits est nécessairement sans unité.
13. Question de cours en général traitée, peut-être de manière un peu trop longue parfois (on ne demandait pas de refaire les démonstrations du cours !), mais il a assez souvent été oublié de mentionner  $r \gg \lambda$  et  $\lambda \gg d$  (taille caractéristique du dipôle). Attention aux abus de notations du type " $r \gg |\Delta r|$ ".
14. Question bien traitée dans l'ensemble. On pouvait aussi la déduire d'une simple analyse dimensionnelle.
15. L'expression du déphasage  $\varphi$  était donnée, mais sa démonstration a dans l'ensemble été correctement réalisée, sans escroqueries notables. Un schéma était apprécié. Lorsque l'expression de  $\varphi$  était établie à partir d'une figure géométrique, peu de candidats ont rappelé que les droites (OM) et (PM) étaient quasi parallèles.
16. D'affreux mélanges entre notations complexe et réelle du champ  $\mathbf{E}(M,t)$  et surtout l'oubli, soit du déphasage  $\varphi$  soit de la dépendance spatio-temporelle de la phase en  $(t-r/c)$ . Malgré cette dépendance de la phase en  $(t-r/c)$  et un facteur  $1/r$  dans l'amplitude du champ résultant, il restait une dépendance en  $\sin \theta$  dans l'amplitude de  $\mathbf{E}(M,t)$ , qui ne permettait pas de l'assimiler exactement à une onde sphérique. Peu de candidats ont fait cette remarque, ceux-ci en ont été gratifiés par les correcteurs.
17. Question encore plus rarement bien traitée, abandonnée en cours de chemin, de manière plus ou moins honnête. Les correcteurs ont été très scrupuleux sur cette question dont le résultat était donné, mais qui bien menée demandait plusieurs lignes de calculs et une certaine rigueur, dont la notation a tenu compte.
18. Peu de candidats ont pensé à mentionner que l'onde n'était plane que *localement*. Dire qu'à grande distance une onde sphérique est plane est une aberration. On attendait l'expression du vecteur de Poynting non seulement en fonction de  $E$ , mais aussi en fonction de  $r$ ,  $\theta$  et  $t$ ... La plupart des candidats ne s'est pas donné la peine de remplacer  $E$  par son expression.
19. Question sans difficulté majeure. Il eût été souhaitable de bien préciser sur quelle variable on moyennait le  $\sin^2(\omega(t-r/c))$  et les bornes d'intégration pour  $\theta$  et  $\varphi$ . L'obtention de l'expression de la puissance rayonnée  $P_r$  tenait souvent du tour de passe-passe.
20. Cette question et la suivante pouvaient être traitées même sans avoir répondu aux précédentes. En général, le résultat était obtenu par calculatrice sans trop de problème. Par le calcul, une étourderie commune a été d'oublier d'élever le  $[0,95 \sin^2 \theta]$  au carré. Dans ce cas, on obtenait  $A = 1,9$  au lieu de 1,2.
21. La résistance a été déterminée sans difficulté. On regrette que tout le monde n'ait pas pensé à utiliser l'unité de résistance habituelle, l'ohm.
22. Beaucoup ne savent pas représenter un diagramme de rayonnement en coordonnées polaires, et tracent  $\rho$  en fonction de  $\theta$ ... D'autres ont reproduit le diagramme vu en cours, mais sans préciser l'axe (Oz) ou la direction de l'antenne, ni même l'angle  $\theta$ ...

23. Les questions suivantes ont toutes été très peu abordées, mais lorsqu'elles l'ont été, par leur analogie avec les réseaux, elles ont en général été assez bien comprises et valorisantes pour ces candidats. Pour l'expression du champ  $\mathbf{E}_0(M,t)$ , il suffisait de remplacer  $\theta$  par  $90^\circ$  dans l'expression générale, mais il aurait été aussi apprécié de remplacer  $\mathbf{u}_{r/2}$  par  $-\mathbf{u}_z$ . Le champ  $\mathbf{E}_p(M,t)$  a parfois été bien exprimé de manière simple, à l'aide de  $p$ ,  $\Phi$  et  $\mathbf{E}_0(M,t)$  mais le déphasage introduit par l'écart entre les distances (OM) et ( $A_p M$ ) a souvent été oublié.
24. Le résultat du calcul semblait évident pour la plupart des candidats abordant cette question, par analogie avec les réseaux. Les correcteurs se sont montrés très indulgents sur cette question.
25. Question bien traitée lorsque les candidats s'y sont aventurés.
26. 27. et 29. Ces questions ont été traitées de manière assez qualitative, à l'aide de souvenirs sur les réseaux et des courbes fournies.
28. Question très peu traitée et avec peu de succès.

### **III) CONCLUSION**

Ce sont toujours les mêmes :

- Lire le texte et le relire au cours de la résolution car des informations sont souvent données que l'on occulte en première lecture, et des résultats donnés par la suite peuvent conforter le candidat dans ses propres résultats.

- Eviter des commentaires trop longs, hors sujets et des calculs non demandés (démonstration de formules de cours).

- Réfléchir sur le résultat d'un calcul (homogénéité d'une formule, ou ordre de grandeur et *unité* pour les applications numériques).

- S'appliquer à rédiger correctement et rigoureusement, de manière succincte mais claire, et soigner la présentation des résultats mais aussi des numéros de questions.

- Donner les résultats en fonction des variables précisées dans le texte si tel est le cas.

- Ne pas rester bloqué trop longtemps sur une question ou une partie. Passer à la suivante et y revenir en fin d'épreuve. Souvent les réponses aux questions précédentes s'éclairent à la lumière des questions suivantes, et les problèmes incluent fréquemment des questions qui peuvent être traitées indépendamment des autres.