

06. Rapport relatif à la composition de physique

Généralités et commentaires portant sur l'ensemble du sujet

Cette épreuve porte sur deux aspects de l'électromagnétisme et est donc divisée en deux parties indépendantes.

La première propose une discussion approfondie de ce qu'on nomme communément l'Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires et une mise au point sur ce sujet avec les deux limites, électrique et magnétique¹. Après un court préambule historique, deux exemples « duaux » sont proposés. Il s'agit du condensateur plan et du solénoïde infini, tous deux en régime forcé sinusoïdal. Il en émerge progressivement l'idée d'une ARQS présentant deux caractères dominants. L'étude approfondie de ces deux régimes, électrique et magnétique, est ensuite envisagée et on est en mesure de conclure quant à la prédominance usuelle du régime magnétique.

La seconde partie s'attache à explorer divers points de vue relatifs à la propagation guidée dans un câble coaxial, composant d'utilisation courante. Une modélisation systématique de la propagation dans un tel guide est proposée. L'étude se limite au mode transverse électrique et magnétique (TEM). Il s'agit de faire comprendre les fondements du modèle électrocinétique (avec ou sans pertes), largement et souvent utilisé pour décrire la propagation du mode TEM. Une discussion et une interprétation de résultats expérimentaux sont enfin demandées aux candidats.

Le jury rappelle deux points importants :

Tout d'abord, il est en droit d'attendre de la part de futurs enseignants une qualité de rédaction minimale (cohérence et présentation), un niveau de correction linguistique suffisant (orthographe et syntaxe) ainsi qu'une réelle aisance dans l'expression. Il s'avère que des progrès restent à accomplir dans ce domaine.

Ensuite, le jury apprécie les candidats faisant l'effort d'aller au fond d'un problème, au lieu de papillonner d'une question à l'autre dans l'espoir (assez vain) de grappiller quelques points. Cette façon de faire, c'est-à-dire à rester à la surface des choses, n'est d'ailleurs pas réellement payante. Au contraire, à titre d'exemple, quelques candidats ont traité correctement quasiment toute la Partie I ou toute la Partie II, pratiquement sans aborder l'autre. Ils se sont vus attribuer une excellente note.

Comme les autres années, les correcteurs ont eu le plaisir d'avoir entre leurs mains d'excellentes copies qui prouvent que leurs auteurs possèdent à la fois une profonde connaissance du sujet ainsi que le savoir-faire nécessaire qui en permet la maîtrise. Malheureusement, les copies faibles restent encore trop nombreuses. Le souhait du jury et l'objectif de ce rapport sont qu'elle les soient moins.

¹ On pourra à ce sujet consulter avec profit les articles suivants :

- DOMPS A. Remarques sur l'approximation des régimes quasi-stationnaires en électromagnétisme. Bull. Un. Phys., février 2003, vol. 97, n° 851 (2), p. 159-170.
- DOMPS A. et ROUSSEAU G. Remarques supplémentaires sur l'approximation des régimes quasi-stationnaires en électromagnétisme. Bull. Un. Phys., novembre 2004, vol. 98

Commentaires spécifiques à certaines questions

Première Partie : Quelques aspects fondamentaux de l'électromagnétisme

A. Des équations de Maxwell.

I. Cette très brève question d'histoire des sciences est convenablement traitée. Toutefois, trop de candidats ont tendance à délayer leur réponse sur plusieurs pages. Il est pourtant évident que, dans une telle question, on attend un exposé en quelques lignes des idées clés.

II. L'électromagnétisme classique ne peut pas reposer uniquement sur les équations de Maxwell. Il faut leur adjoindre la loi de force de Lorentz ou un postulat énergétique (expression et signification physique du vecteur de Poynting par exemple).

B. De l'Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires

I.1.a Il n'est pas possible, en régime variable, de dissocier l'étude des propriétés de symétrie des champs électrique et magnétique : ils sont en effet créés par une seule et même source comportant charges et courants. Cela doit être pris en compte dans la discussion portant sur les symétries. En outre, des arguments fondés sur l'analyse des plans de symétrie et l'intersection de ceux-ci conduisent trop souvent par un raisonnement fallacieux au bon résultat (qui était donné). Enfin, l'orthogonalité des champs électrique et magnétique est souvent été invoquée. Il est vrai qu'elle est fréquente dans les systèmes présentant un haut degré de symétrie. Mais elle n'a aucun caractère fondamental ni ne découle des équations vérifiées par les rotationnels des champs électrique et magnétique.

I.5.d. Les candidats ayant procédé à une exégèse de la formule donnant le champ électrique et ayant remonté les calculs pour répondre aux questions précédentes sans comprendre ce qu'ils faisaient, n'ont évidemment pas été récompensés.

II.1. Le solénoïde infini ne peut être défini qu'en comparant deux longueurs.

III.3 et 4. Les grandeurs instantanées complexes comme les champs électrique et magnétique ainsi que les courants sont à peu près maîtrisées et correctement utilisées. Il n'en est malheureusement pas de même des grandeurs énergétiques. Trop de candidats multiplient sans précautions des grandeurs complexes et rendent le résultat obtenu réel de façon plus ou moins explicite ou illicite.

Une telle erreur n'est pas admissible à ce niveau de recrutement. Les futurs candidats devront réfléchir aux hypothèses autorisant, ou non, l'emploi de la notation complexe. Il s'agit d'un point important mais surtout d'ordre technique qu'il n'est pas très difficile de maîtriser pourvu qu'on y consacre un peu de temps.

IV.1, 2 et 3. On attend ici une simple relecture des résultats obtenus dans les deux cas du condensateur et du solénoïde, pour mettre au jour les deux limites de l'ARQS.

VI. Cette question constitue l'aboutissement de la partie I. Elle est hélas peu réussie. Il s'avère que trop de candidats sont peu habitués à raisonner en termes d'ordres de grandeur. C'est pourtant là une compétence essentielle d'un physicien.

Par ailleurs, ordre de grandeur ne signifie pas absence de rigueur. Rappelons que pour les vecteurs, les notions d'inégalité (ou de relation d'ordre) et de rapport n'ont aucun sens.

Enfin, des inégalités affirmées sans justification et sans explicitation de leur dépendance par rapport aux paramètres sans dimension α et β ne sont pas satisfaisantes.

VI.3. On pourrait penser que l'équation de Maxwell-Ampère permet de donner la réponse à cette question. Il n'en est rien. Cela a probablement égaré les candidats.

La solution est fournie grâce à l'utilisation conjointe de la jauge de Lorentz et de la définition de l'ARQS. Une autre démonstration, physiquement équivalente mais peut-être plus concrète, passe par une distinction soignée entre les échelles de variation des champs et les longueurs caractéristiques.

VI.5. Beaucoup de candidats pensent que l'ARQS électrique est plus fréquente, car « les effets du champ magnétique sont négligeables devant ceux du champ électrique ».

Cela est vrai dans certaines conditions qui ne sont pas vérifiées ici. La notion clé est la neutralité des conducteurs, ce qui conduit à la conclusion inverse.

Deuxième Partie : Propagation guidée dans un câble coaxial

B. Mode TEM d'un câble coaxial : étude théorique et expérimentale

I.1 Peu de candidats ont vu que le champ électrique étant radial, et le champ magnétique orthoradial, aucune contrainte ne leur était imposée par les conditions aux limites. La non-dépendance en z des amplitudes traduisait simplement l'absence de dissipation.

I.2. Le fait que les champs électrique et magnétique vérifient la relation $\vec{B} = \vec{k} \times \vec{E} / \omega$ n'implique pas que l'onde est plane. Ce n'était manifestement pas le cas ici.

I.5 Même remarque que ci-dessus pour les grandeurs énergétiques complexes.

III.3 et 4. Peu de candidats semblent avoir effectué des expériences de propagation d'ondes le long d'un câble coaxial. Il est clair que ceux qui disposaient d'un savoir-faire expérimental étaient avantagés par rapport aux autres dans ces questions. Le jury rappelle donc que les épreuves écrites peuvent aussi tester des compétences expérimentales.

IV. Cette partie se proposait de prendre en compte la dissipation due à l'effet Joule dans les conducteurs. Elle était plus délicate que les précédentes. Elle a néanmoins été abordée avec succès par quelques brillants candidats.