

Banque PC Inter-ENS/X/ESPCI – Session 2025

Rapport sur l'épreuve de Physique C

Erwan Allys, Lionel Foret, Gabriel Hétet, Jordan Philidet

*Épreuve de 6h, spécifique à l'ENS de Paris, option physique.
Coefficient : 41% du total d'admissibilité, 6% du total d'admission.*

Descriptif du sujet

Le sujet porte sur l'énergie électromagnétique des distributions de charges et de courants. Il est divisé en deux grandes parties, très largement indépendantes l'une de l'autre, la première traitant de l'énergie électrostatique de systèmes de charges immobiles ou en déplacement quasi-statique, dans lesquels l'effet du champ magnétique peut être négligé ; et la deuxième de l'énergie magnétique associée aux distributions de courants.

La première partie mène les candidats à exprimer d'abord l'énergie électrostatique d'un système de charges ponctuelles en partant seulement de l'expression de la force électrostatique (**partie 1.1**), avant d'étendre la description à une distribution continue de charges (**partie 1.2**). Les candidats sont ensuite menés à comprendre que la description continue entraîne des termes divergents au passage à la limite d'une charge ponctuelle, et à introduire et manipuler la notion de charge nivelée pour contourner le problème (**partie 1.3**). Enfin, la **partie 1.4** propose de retrouver des résultats précédents dans le cas de sphères concentriques chargées, à l'aide cette fois d'un raisonnement sur les travaux subis par chaque partie du système.

La deuxième partie mène d'abord les candidats à étudier les déplacements de circuits rigides à courant constant dans un champ magnétique stationnaire (**partie 2.1**). Le sujet propose ensuite une étude énergétique des distributions continues de courants en partant des travaux subis par les charges mobiles lors de l'établissement de ces courants (**partie 2.2**). Les candidats sont ensuite invités à appliquer cette formulation au cas d'un ensemble de circuits filiformes (**partie 2.3**), et enfin à faire le lien entre l'énergie magnétique d'un circuit et l'énergie cinétique des charges qui composent son courant électrique (**partie 2.4**).

Commentaires généraux

Après harmonisation avec l'épreuve de chimie B, la moyenne des copies s'élève à 10.1, avec un écart-type de 2.8. Il convient cependant de noter qu'un grand nombre de candidats (environ 60%) a obtenu une note inférieure à la moyenne, et qu'une large majorité de copies ne traite correctement que très peu de questions. 525 copies ont été rendues, en augmentation par rapport aux années précédentes. Malgré le grand nombre de copies de faible niveau et ayant traité peu de questions, le jury note cependant un nombre suffisant de copies satisfaisantes, que la progressivité du sujet a permis de classer correctement.

Comme les années précédentes, le jury ne saurait trop insister sur la nécessité pour les candidats de lire attentivement l'énoncé complet de chaque question, de manière à ne pas accidentellement donner de réponse hors sujet, ni à ne passer à côté d'une partie de la question. De même, toute réponse doit être justifiée (par un raisonnement, par l'appel à une loi physique, un théorème, ...), même lorsque cela n'est pas explicitement demandé par le sujet. Il convient de rappeler que l'excès inverse, consistant à proposer une justification longue de plusieurs pages, est rarement conseillé : une justification concise et allant à l'essentiel sera toujours préférable.

Le jury souhaite aussi particulièrement attirer l'attention des candidats sur l'importance d'une présentation soignée, d'une écriture lisible, d'une maîtrise minimale de la langue française (notamment sous forme de phrases), et surtout sur l'importance de faire des schémas propres et à taille lisible. Le jury a trop souvent dû se résoudre à accepter de ne pas comprendre certaines phrases ou certains schémas, avec à la clé une sanction très facilement évitable par les candidats.

Enfin, il convient de rappeler que les candidats doivent s'en tenir aux notations définies dans l'énoncé, même lorsque celles-ci diffèrent de celles auxquelles ils sont habitués. Le jury a trop souvent remarqué la propension

des candidats à introduire des grandeurs sans les définir, sous le prétexte fallacieux que la notation utilisée est habituelle et va de soi.

Remarques spécifiques

Partie 1.1

Q1) Erreur de signe fréquente sur le résultat, qui pourtant devrait être bien connu. Le résultat est justifié correctement dans seulement 50% des copies. La justification est soit manquante, soit incomplète, soit fait intervenir des notations pas définies : grad (sans indice), \vec{r} (sans indice).

Q2) Beaucoup de candidats donnent l'expression de la force demandée en invoquant le principe d'action-réaction, ce qui n'est pas l'esprit de la question, dont le but est de montrer que les deux forces dérivent de la même énergie potentielle d'interaction.

Q3) Seulement 50% des candidats ont compris qu'il fallait mettre un facteur 1/2 devant la somme pour éviter le double comptage des énergies d'interaction de paires de charge. Cette erreur entraînait des réponses fausses à toutes les questions suivantes de cette partie. Il n'était pas précisé explicitement que a devait être un facteur numérique et $V_{i \rightarrow j}$ un potentiel. Toute réponse équivalente à celle attendue a été acceptée. Cependant, les candidats ayant proposé des réponses équivalentes, où $V_{i \rightarrow j}$ n'est pas un potentiel, ont souvent connu des difficultés dans la suite.

Partie 1.2

Q7) La différence entre les formulations continue et discrète, à savoir que cette dernière ne prend pas en compte l'interaction des charges avec elles-mêmes, a rarement été donnée par les candidats.

Q8) Déterminer les modifications des énergies n'a pas posé de problème à la plupart des candidats, en revanche, les commentaires des résultats ont très rarement été pertinents.

Q9) Dans ce type de question, il est indispensable que toutes les étapes du calcul soient présentes sur la copie pour obtenir le point.

Q10) L'explication du signe, qui fait suite à la discussion attendue à la question 7, a, elle aussi, été rarement donnée. Il s'agissait de questions difficiles. Plus étonnant, la dernière partie de la question, beaucoup plus simple et renvoyant à des connaissances de bases en mécanique, a donné lieu à un grand nombre de réponses incorrectes, les candidats faisant un lien entre signe de l'énergie et sens de la force.

Q11) L'obtention d'une énergie infinie a troublé une partie des candidats.

Q12) La deuxième partie de la question nécessite des manipulations d'intégrales qu'il faut mener avec rigueur. Dans ce type de calcul, il est indispensable d'écrire de façon lisible toutes les étapes.

Partie 1.3

Q13) Les schémas proposés sont souvent trop peu soignés. La question a pour but de montrer que la notion de « charge nivelée » présentée dans l'énoncé a été comprise. Le schéma doit convaincre le correcteur que le candidat a compris ce dont il s'agit.

Q15*, 19*, 20*) Les questions étoilées demandaient de présenter des raisonnements, s'appuyant sur des équations et/ou des principes physiques, mais sans développement calculatoire. Elles ont souvent été laissées de côté alors qu'elles pouvaient rapporter des points sans trop de difficulté, les critères pour l'attribution de points étant moins exigeants que sur d'autres questions. Globalement, les copies donnent l'impression que les candidats ne sont pas à l'aise (pas préparés ?) à ce type de questions. La question 15 a été plutôt bien traitée. Pour la question 19 le raisonnement était souvent incomplet. Une coquille était présente dans la question 20 : il était demandé de montrer que l'énergie d'interaction est décroissante, alors qu'elle est croissante puisque les charges sont de signes opposés. Quelques candidats ont noté l'erreur. Cette coquille a malheureusement perturbé les candidats sur les questions 21 et 22, conduisant à des réponses fausses. Le barème a bien sûr tenu compte de l'erreur dans l'énoncé.

Partie 1.4

Q23) Pour une simple question de cours (application du théorème de Gauss pour calculer le champ créé par une sphère chargée), le nombre de réponses incorrectes apportées à la sous-question a) est étonnant. Par ailleurs, les candidats sont trop souvent passés à côté de la discontinuité du champ en présence d'une distribution surfacique

de charge, ce qui a invariablement mené non seulement à une expression incorrecte du champ créé par $\bar{\Sigma}$, mais aussi à de mauvaises réponses aux questions 24 et 25.

Q27) La seconde partie de la question, qui ne nécessitait qu'une compréhension modérée d'une loi physique élémentaire (la troisième loi de Newton), a été trop peu traitée.

Q28) Cette question nécessitait un raisonnement rigoureux, consistant typiquement à amener chaque sphère depuis l'infini et à effectuer un bilan d'énergie à chaque étape. Les candidats ont rarement raisonné de cette manière, et se sont souvent contentés de supposer sans justifier que l'énergie finale s'écrit comme une somme d'énergies propres et d'une énergie d'interaction. Le manque de rigueur a parfois mené à des réponses incorrectes.

Q29) Le désaccord, fréquent, avec le résultat donné par l'équation 13, a peu ému les candidats.

Partie 2.1

Q34) Les raisonnements sur cette question ont généralement cruellement manqué de rigueur, la plupart des candidats s'étant contentés d'écrire que l'intégrale de $d\Phi_c$ le long de la trajectoire du circuit devait probablement être égale à $\Delta\Phi$. Malgré le fait que cela mène au bon résultat, ce traitement cavalier de la physique a été systématiquement sanctionné.

Q35) Les candidats ont parfois du mal à relier correctement la variation d'énergie d'un système au travail fourni (ou reçu), avec à la clé des erreurs de signe rédhibitoires, dans cette question comme dans un grand nombre d'autres questions à travers le sujet.

Q37) Le caractère un peu plus calculatoire de la première partie de la question par rapport au reste du sujet a pu rebuter. Il est regrettable que cela ait empêché nombre de candidats de traiter la seconde partie de la question (le calcul du travail des forces de Laplace par le théorème de Maxwell), qui, elle, ne demandait quasiment aucun calcul.

Q38) Cette question demandait certes des développements poussés. Mais elle était clairement analogue à la question 23, qui, elle, a été traitée beaucoup plus souvent, et dans laquelle le raisonnement à déployer est clairement détaillé par le sujet. Il est donc surprenant que cette question ait été aussi peu traitée (même incorrectement). Les questions 39 et 40 ont également été très rarement traitées.

Partie 2.2

Q41) Les justifications sur cette question (montrer qu'une distribution de courant ne peut pas rayonner) ont été rares.

Q43) Il s'agissait de faire un bilan énergétique simple, mais la formulation de la question pouvait donner lieu à des stratégies très variées rendant l'évaluation difficile.

Les questions des parties suivantes ont été traitées avec succès par un très faible nombre de candidats.

Partie 2.3

Q49-50) Ces deux questions ne faisaient pas appel à des calculs poussés mais simplement à une bonne compréhension des critères définissant les tubes de champ. Très peu de bonnes réponses, mais ceux et celles qui les ont traitées s'en sont généralement bien sortis.

Q50) Peu de candidats ont répondu à cette question qui ne nécessitait qu'une compréhension modérée d'une loi physique élémentaire. C'était une application directe du théorème d'Ampère.

Partie 2.4

Q57) Dans cette partie, il était demandé de bien justifier l'incompatibilité entre électromagnétisme et relativité générale. Parmi les candidats qui sont allés jusqu'à cette partie, seule une petite minorité a répondu correctement à cette question. Il fallait faire attention au signe du vecteur vitesse de l'électron dans le référentiel en translation rectiligne uniforme.