

Rapport du jury PC 2018

Épreuve Physique C

Membres du jury : M. Berhanu, A. Bres, F. Levrier

1 Éléments statistiques

- 401 copies rendues
- Note minimale : 2,5
- Note maximale : 20
- Moyenne : 9,41
- Écart-type : 3,78

Les 50 meilleures copies (typiquement celles des candidats admissibles à Ulm) vont de 13,9 à 20, pour une moyenne de 16,37 et un écart-type de 1,89.

2 Généralités

Le sujet de cette session portait sur la physique des ondes gravitationnelles.

La première partie questionnait d'abord leur influence sur la matière (dilatation et contraction des longueurs). Considérant une distribution quelconque de masse, et usant d'une analogie électromagnétique, on arrivait à la formule du quadripôle d'Einstein. On se focalisait ensuite sur un système binaire (analogue aux mesures faites par VIRGO) pour déterminer les caractéristiques du signal émis, avant de finalement revenir aux données réelles du système GW150914.

La seconde partie s'intéressait à la détection des ondes gravitationnelles par des dispositifs interférentiels. On commençait par s'interroger sur le filtrage mécanique du bruit auquel sont soumis les miroirs. Une étude simplifiée du résonateur optique (de type Fabry-Pérot) était ensuite proposée, permettant d'établir les ordres de grandeurs de la puissance récoltée ainsi que la forme des signaux de sortie. Enfin, un retour à l'interféromètre de Michelson permettait de traiter la question de la sensibilité du dispositif, et de son lien avec sa longueur et la qualité de ses miroirs.

Enfin, la dernière partie se penchait sur le problème du bruit de mesure. L'étude du bruit de grenaille, lié à la statistique Poissonienne de la distribution de photons, était d'abord menée. On présentait ensuite le bruit lié à la pression de radiation. Enfin, les deux effets étaient combinés afin d'encadrer la sensibilité du détecteur.

Cette année, le jury a été particulièrement peiné de constater le peu d'intérêt qu'accordaient les candidats à l'homogénéité de leurs résultats. Ainsi, il n'a pas été rare de croiser des $1/R^2 \ll 1$, des $v_g = \sqrt{v_\phi} = c$, ou même un $\omega^{\frac{5}{3}} \ll c$. Ces erreurs sont systématiquement pénalisées.

À l'inverse, le jury se félicite d'avoir trouvé dans les meilleures copies une bonne maîtrise du cours de base, des expressions homogènes et pertinentes, et un sens physique certain. Le recul sur les notions acquises en classes préparatoires est indispensable pour aborder cette épreuve qui, bien qu'originale dans son contenu, n'exige rien qu'un élève ne sache après deux ans en CPGE.

Il est attendu d'élèves présentant les concours des grandes écoles (et pas que ceux des Écoles Normales Supérieures) d'être au fait des règles fondamentales de présentation. Les copies raturées, recorrigées plusieurs fois, sans espace entre les questions, sans mise en avant des résultats, où les raisonnements doivent être suivis à l'aide de flèches (!), toutes ces raisons, ensemble ou individuellement, sont autant de motifs de ne pas accorder de points. Une copie n'est pas un brouillon de réflexion mais un moyen de communication avec le correcteur.

3 Remarques particulières

Q1 : Alors que le formulaire donnait le périmètre terrestre (40 000 km), une fraction non-négligeable des candidats n'a apparemment pas remarqué qu'un trajet de 10 000 km amenait nécessairement le voyageur du pôle Nord à l'Équateur.

Q3 : Le jury a apprécié la grande quantité d'exemples d'ondes transverses fournis par les candidats, prouvant une culture physique riche. Cependant, il souhaiterait préciser que les exemples suivants n'en sont pas : les ondes sonores, les ondes de marées, les ondes sismiques (en général).

Q4 : Il n'est pas acceptable à ce niveau de faire un développement limité sur une quantité matricielle, du moins pas sans justification. Les démonstrations acceptées sont celles qui passent aux coefficients pour faire le développement, avant de revenir à la notation matricielle à la fin.

Q5 : Le sujet imposant la notation h_{xx}, h_{yy}, \dots toute réponse impliquant h (seul) a été systématiquement refusée. Un candidat doit être à même de distinguer dans sa copie les quantités scalaires, vectorielles et matricielles.

Q6 : Trop souvent pour cette question, les candidats se sont lancés dans des démonstrations à rallonge pour arriver à la conclusion (triviale?) qu'une onde obéissant à l'équation de D'Alembert devait avoir $v_\phi = v_g = c$. Les candidats arrivés rapidement à cette conclusion sont peu nombreux.

Q7 : Lorsque le sujet demande «À quelle grandeur physique Q est-il homogène », la mention de grandeur physique est essentielle. À ce titre, répondre $[Q] = ML^2$ est non-pertinent, quand le terme de moment d'inertie était attendu.

Q8 : Cette question, certes calculatoire, a été très peu traitée correctement. Le jury s'étonne que des élèves de CPGE ne soient pas capables de mener correctement un développement limité à l'ordre 2. Dans trop de cas, les candidats se sont arrêtés un ordre trop tôt, ou n'ont pas suffisamment développé leur réponse.

Q11 : Certains candidats ont pensé bernier le jury en calculant a posteriori la bonne dimension de ε_0 qui leur permettrait d'obtenir une puissance. Malheureusement pour eux, le jury n'est pas dupe, et les points n'ont pas été accordés. De manière générale, les candidats gagneraient à être plus honnêtes dans leurs copies, et devraient prendre conscience que le jury, plus expérimenté, détecte presque toujours les tentatives malhonnêtes. Celles-ci ne le mettent par ailleurs pas dans de bonnes dispositions pour le reste de la correction.

Q13 : Le jury souhaite rappeler que l'hypothèse de système isolé conduit directement au fait que le barycentre du système est en translation rectiligne uniforme (ou immobile, naturellement). Énoncer que cette hypothèse veut dire que chacune des masses possède une accélération nulle est une erreur de mécanique élémentaire. Par ailleurs, la masse totale est conservée car chaque masse est constante comme l'annonce le sujet, pas parce que le système est isolé.

Q16 : Si le jury est souvent bienveillant sur la question des facteurs numériques (quand ceux-ci sont proches de l'unité), il a été particulièrement vigilant à ceux-ci dans cette question. La distance entre les deux masses était de $2r$, il fallait bien entendu le prendre en compte. Tout résultat non-homogène (bien trop fréquent) a été sanctionné.

Q17 : Savoir que l'énergie potentielle de gravitation est négative (lorsque son origine est prise nulle à l'infini, ce qui était précisé par le sujet) paraît faire partie des connaissances de base en mécanique du point. Malheureusement, une partie significative des candidats semblait l'ignorer.

Q22 : L'étude du rayonnement dipolaire ayant disparu des programmes, démontrer que la taille typique de la distribution est faible devant la longueur d'onde n'est pas véritablement du cours. Cependant, montrer que le rapport de ces deux quantités se ramène à celui de la vitesse typique de la distribution sur la vitesse de la lumière demandait une ligne de calcul. Toute démonstration passant ce point et ne parvenant à démontrer ce qui était demandé qu'au prix d'une application numérique (souvent fautive, dimensionnellement et numériquement) a été ignorée.

Q23 : Lorsqu'une quantité, ici h , est proportionnelle à $r^2\Omega^2$, et si r dépend de Ω , il est rigoureusement faux de prétendre que h croît avec Ω . Peu de candidats se sont inquiétés du comportement de $r(\Omega)$ avant de répondre à cette question. En utilisant la question 16, on savait que $r \propto \Omega^{-2/3}$, et par conséquent $h \propto \Omega^{2/3} \propto \nu^{2/3}$.

Q24 : La valeur typique de h ($\approx 10^{-21}$) étant donnée quelques lignes plus loin (début de la partie 2), il convenait de s'interroger sur des résultats fantaisistes. Le jury a ainsi pu se voir proposer une grande quantité d'exposants, allant de -90 à +60. Un tel manque de clairvoyance est préjudiciable.

Q26 : Environ un quart des candidats seulement parvient à trouver l'équation du pendule simple forcé. Que ce pourcentage soit si faible est inquiétant pour des élèves de Mathématiques Spéciales composant pour le concours des Écoles Normales Supérieures.

Q27 : Les candidats ayant abordé cette question ont trop souvent pensé qu'il suffisait de se placer dans le référentiel du point d'attache, non-galiléen, et de considérer que la force supplémentaire était la pseudo-force d'inertie d'entraînement. Ce faisant, il fallait cependant transformer x en $x - x_f$ (repère relatif), et le terme d'accélération venait annuler cette

pseudo-force, le nouveau terme venant de la projection du poids qui se traduisait finalement par une force supplémentaire Mgx_f/l . Un autre choix consistait à rester dans le référentiel du laboratoire, galiléen, où l'accélération s'écrivait toujours \ddot{x} , mais l'angle était devenu $\frac{x-x_f}{l}$, et donnait le même résultat.

Q29 : Trop peu de candidats ont reconnu ici la condition dictant que l'onde étudiée était en fait monochromatique.

Q31 : Les bilans fantaisistes d'énergie électromagnétique ont systématiquement été dépréciés. Les candidats ont souvent essayé dans cette question de plaquer un raisonnement de cours (où 3 ondes sont présentes) sur le cas d'étude (où 4 ondes sont présentes).

Q32 : Les justifications pour cette question sont souvent fantaisistes. Le facteur -1 n'est certainement pas dû au fait que « l'onde se propage vers les x décroissants ». Le facteur de phase est souvent très mal justifié, de même que le signe de son argument. Une rigueur minimale et l'application des notions de bases sur les ondes progressives auraient pourtant dû permettre aux candidats de donner une démonstration propre de cette formule.

Q46 : Le verbe « Vérifier » devait inciter les candidats à présenter une démonstration mathématique de la valeur de la moyenne et de l'écart-type d'une distribution Poissonienne. Une partie des candidats se sont fendu d'un simple « On sait que ... » et n'ont par conséquent pas reçu de points sur cette question.

Q47 : Cette question est l'occasion de rappeler que toute notation supplémentaire doit être définie par le candidat dans sa copie. Ainsi, la réponse $\Phi_R = R\Phi_0$ n'a été acceptée que lorsque le candidat expliquait que $R = 1 - T$.

Q55 : On peut regretter que sur cette question classique de cinétique des gaz, les candidats qui l'ont abordée aient parfois oublié le facteur 2 dans l'expression du transfert de quantité de mouvement.