

# Physique 1

## Présentation du sujet

L'épreuve porte sur l'étude de différents phénomènes physiques susceptibles d'intervenir lors d'une visite dans un parc d'attraction : étude d'un dispositif de freinage d'un wagon par induction, étude d'un dispositif électronique destiné à la mesure de la pulsation cardiaque et enfin étude très simplifiée de l'holographie.

Chacune de ces études fait l'objet d'une partie indépendante des autres. L'étude du freinage par induction évalue de nombreuses compétences en électromagnétisme et dans une moindre mesure en mécanique et en thermodynamique. L'objectif principal de cette partie est d'obtenir une évaluation d'un temps caractéristique du freinage dans le cadre d'un modèle simplifié. Il y a également des objectifs secondaires : justification de l'hypothèse consistant à négliger les effets du champ magnétique créé par les courants induits et une étude rapide de l'échauffement accompagnant le freinage.

L'étude de la mesure de la fréquence cardiaque utilise les connaissances du cours et des TP sur des montages linéaires et non linéaires à base d'amplificateur opérationnel. Le but de cette partie est de montrer la nécessité de concevoir un dispositif électronique adapté à la forme complexe du signal cardiaque afin d'en mesurer la fréquence.

L'étude de l'holographie repose sur un modèle très simple et évalue de nombreuses compétences du domaine de l'optique physique. La problématique abordée est très riche : après les hologrammes fins monochromatiques, sont étudiés leur utilisation en lumière polychromatique puis les hologrammes épais permettant d'obtenir des hologrammes colorés.

## Analyse globale des résultats et comportement des candidats

Le sujet est long : beaucoup de candidats n'ont abordé que deux des trois parties. La dernière partie, nettement plus difficile que les deux autres, a été beaucoup moins bien traitée. La difficulté des deux premières parties est tout à fait raisonnable et les candidats armés d'une bonne connaissance du cours, d'une bonne maîtrise des méthodes habituelles, ont pu valoriser leurs qualités, sous réserve d'une rédaction satisfaisante.

Le jury a noté quelques rares tentatives de grappillage de la part de candidats ne maîtrisant pas les bases de la discipline. Elles n'ont absolument pas été rentables. Les parties sont généralement abordées linéairement et dans l'ordre du sujet.

La partie I, très riche dans les thèmes abordés, permettait aux candidats de reprendre l'étude du freinage du wagon sous un nouvel angle quand ceux-ci étaient bloqués. Cette partie a été traitée entièrement et de manière satisfaisante par un certain nombre de candidats.

La partie II présentait une forte composante expérimentale. La fin de cette partie portant sur un comparateur à hystérésis a été plutôt bien traitée par les candidats connaissant bien leurs TP-cours sur le sujet car l'énoncé était assez directif. Cette partie n'a cependant jamais été traitée entièrement et de manière parfaite, même si certains candidats en ont très bien compris les enjeux.

Enfin la partie III, qui se voulait être une introduction à l'holographie, beaucoup plus difficile et exigeante, a été beaucoup moins bien traitée, et jamais dans son intégralité. Cette partie étant placée à la fin d'un sujet déjà long, sans aucun résultat intermédiaire, seuls les candidats très

solides ont pu tirer leur épingle du jeu. Globalement la question **III.A.3.b** a marqué un coup d'arrêt définitif à la progression des candidats dans le sujet.

La présentation des copies est globalement satisfaisante, même si un nombre minime de copies s'est vu sanctionner en raison d'une présentation grandement déficiente. Dans la ligne des années précédentes le jury a été particulièrement attentif aux justifications données et à la qualité de la rédaction.

## Commentaires sur les réponses

### Partie I : Freinage du train

**I.A.1** Il s'agissait d'une question de cours n'appelant pas de justification particulière. Le rôle du potentiel vecteur dans l'expression du champ électrique en régime quelconque est assez souvent méconnu. On attendait une justification pour le passage au cas statique.

**I.A.2** Là aussi aucune justification n'était attendue. Les relations demandées ne sont correctement données que par un candidat sur deux. Mais il est vrai qu'elles n'apparaissent dans le programme que comme un intermédiaire éventuel de présentation de l'induction dans le cas de Lorentz.

**I.A.3.a** 86% de bonnes réponses pour cette question qui ne demandait toujours pas de justification.

**I.A.3.b** De manière très surprenante cette question élémentaire a été très mal réussie (fautes de raisonnement, de signe, développements très compliqués à partir des équations de Maxwell et de l'équation de conservation de la charge) alors qu'un bilan élémentaire donnait directement que la somme des deux densités volumiques était nulle !

**I.A.3.c** Il fallait décrire très précisément la nature et le mouvement des charges dans chaque référentiel pour établir correctement les deux expressions des vecteurs densités de courant. La conclusion sur l'invariance de ce vecteur par changement de référentiels galiléens n'a été validée que si elle résultait des calculs précédents.

**I.B.1** Le jury attendait une réelle description qualitative de la causalité du phénomène. La loi de Lenz n'étant pas explicitement au programme, toute évocation d'un principe de modération a été valorisée. Le jury note de grosses confusions entre force de Laplace et force de Lorentz : un nombre conséquent de candidats imagine une charge portée par le wagon, sans remarquer que la force de Lorentz serait alors verticale et ne pourrait freiner le wagon... D'autres évoquent à tort, implicitement ou explicitement, des forces magnétiques entre l'aimant et le métal.

**I.B.2.a** Question normalement sans difficulté mais correctement traitée par moins d'un candidat sur deux. Le lien entre l'intensité et le vecteur densité de courant est rarement évoqué ce qui conduit à des expressions fausses et en particulier non homogènes.

**I.B.2.b** Les candidats savent en moyenne ce qu'est, du point de vue mathématique, une circulation mais ont du mal à appliquer la définition au cas concret présenté. De nombreuses erreurs dans le schéma demandé : très souvent la tension  $U$  est celle aux bornes d'un fil qui ferme le circuit ! Quelques confusions également dans les sens des flèches de tension et d'intensité.

**I.B.2.c** Même remarque que précédemment sur le circuit. Pour la possibilité d'exprimer la résistance  $R$  du reste de la plaque, le jury attendait bien sûr de véritables arguments physiques et pas simplement « je ne pense pas qu'il soit facile d'exprimer  $R$  ».

**I.B.3** Le calcul de la résultante des forces de Laplace n'a été fait que par un candidat sur trois. Le jury attendait de ceux qui ont utilisé la formule correspondant à une modélisation filiforme

une justification puisque précisément la modélisation était volumique. Pour affirmer qu'il s'agissait d'une force de freinage il ne faut pas se contenter de voir un signe – dans la formule, il faut aussi s'assurer du signe de tous les termes présents. À cet égard une relation faisant simplement apparaître l'intensité  $I$  sans indications supplémentaires, ne permettait pas de conclure.

Il fallait enfin faire un bilan correct et exhaustif des actions, préciser dans quel référentiel on travaillait (puisque il y en avait deux), et utiliser explicitement l'absence de frottement pour obtenir une équation différentielle aboutissant à l'identification du temps caractéristique demandé.

Pour les inconvénients de cette méthode de freinage la simple évocation d'un « grand » temps de freinage est bien sûr insuffisante. On pouvait évoquer le fait que, dans ce modèle, la vitesse ne s'annule jamais, que le freinage est plus efficace à grande qu'à faible vitesse, qu'il faut des champs magnétiques forts pour avoir un temps de freinage court, ce qui est délicat à réaliser, que le freinage ne peut avoir lieu qu'en certains points pré-déterminés du trajet...

**I.B.4** Des arguments étaient donnés par le texte lui-même et ils ont souvent été repris. De rares candidats sont allés nettement plus loin dans la réflexion et en ont été justement récompensés.

**I.B.5** Le lien entre des densités de courants surfaciques et volumiques n'est évoqué et exploité correctement que par moins d'un candidat sur trois. Concernant l'établissement du champ magnétique créé par la nappe de courants, l'étude des invariances et symétries était fondamentale. On n'insistera jamais assez sur le fait que, pour pouvoir être exploités en un point quelconque  $M$  de l'espace, les plans de symétrie ou d'antisymétrie doivent contenir ce point. À titre d'illustration on a rencontré très souvent le raisonnement faux suivant : le plan de la nappe est un plan de symétrie (la précision « de la distribution de courants » est très souvent omise) donc le champ magnétique lui est perpendiculaire... Pour exploiter correctement le théorème d'Ampère il est indispensable de bien décrire le contour et son orientation. Seul un candidat sur vingt arrive à une expression correcte du champ magnétique ! Les candidats parvenus à cette expression l'exploitent correctement pour estimer s'il était justifié de négliger le champ magnétique dû aux courants induits (avec les valeurs numériques fournies on était dans une situation intermédiaire).

**I.B.6.a** Une évocation de l'effet Joule était attendue

**I.B.6.b** Le jury attendait une utilisation justifiée du premier principe. Des erreurs d'applications numériques dues souvent à l'oubli de la prise en compte du nombre de plaques  $N$ . Attention également au nombre de chiffres significatifs.

**I.B.6.c** Question élémentaire, à condition de se limiter à un ordre de grandeur : à cet égard, 87,8 s n'est pas acceptable.

**I.B.6.d** Le jury attendait une définition précise du système étudié et l'évocation du principe utilisé. L'écriture du bilan thermique est souvent incorrecte, en particulier pour des questions d'homogénéité : l'unité de  $h$  était donnée et levait toute ambiguïté. Certains candidats ont voulu à tout prix placer la démonstration de l'équation de la chaleur, ce qui était hors de propos puisque la température de la plaque était par hypothèse uniforme. La signification de  $h$  était ambiguë et pouvait amener l'apparition d'un facteur 2 dans l'équation différentielle et dans le temps caractéristique. Les deux réponses ont été acceptées.

Le jury attendait pour la conclusion une comparaison explicite entre le temps constaté expérimentalement (question **I.B.6.c**) et celui prédit dans ce modèle de refroidissement. Cet aspect de la question a parfois été mal compris.

## Partie II : Mesure de la fréquence cardiaque

**II.A.1** Il était beaucoup plus rapide de raisonner asymptotiquement directement sur le circuit que sur la fonction de transfert. Il ne suffit pas de faire les substitutions correspondantes et de conclure laconiquement par « donc  $s_1 = e_1$  ». Le jury a valorisé les candidats qui ont précisé qu'on ne pouvait pas, après cette simple étude, affirmer le caractère réjecteur, mais simplement constater que cette hypothèse était plausible.

**II.A.2** Seul un candidat sur deux donne la bonne valeur numérique (attention aux chiffres significatifs, là encore). Il s'agissait ici de faire disparaître les signaux de fréquences 50 Hz dus au secteur EDF, et non pas de rejeter les fréquences sonores correspondant aux cris des passagers, ou aux vibrations du train...

**II.B.1** Très peu de candidats explicitent le problème d'adaptation d'impédance nécessaire entre les deux circuits. Le suiveur est correctement proposé par un candidat sur trois, mais seul un candidat sur sept en fait un schéma correct (très souvent l'entrée non inverseuse est mise à la masse).

**II.B.2)** Comme à la question **II.A.1** et en particulier en basse fréquence, il faut expliciter les raisonnements amenant à la conclusion «  $s_2 = 0$  », en évoquant l'idéalité de l'amplificateur opérationnel et son fonctionnement linéaire.

**II.B.3** Question normalement sans difficulté. Cependant les 60 ou 200 battements par minute sont souvent devenus des fréquences de 60 ou de 200 Hz, ce qui modifie nettement les conclusions... Certains candidats ont affirmé que la fréquence de coupure haute était trop élevée et donc non compatible. Aucun candidat n'a d'ailleurs fait de commentaire sur cette dissymétrie entre les fréquences de coupure basse et haute.

**II.B.4** Question d'application des lois élémentaires de l'électrocinétique. Il est frappant et regrettable de noter que seul un candidat sur dix justifie correctement, ne serait-ce qu'une fois, leur utilisation (diviseur de tension, théorème de Milman). Deux candidats sur trois arrivent aux bonnes expressions.

**II.B.5** Un raisonnement permettant de relier les fréquences de coupures du passe-bas et du passe-haut aux fréquences de coupure du passe-bande était souhaité. Le jury a accepté une large gamme de valeurs pour les composants, en rejettant cependant les valeurs trop éloignées de la pratique habituelle.

**II.B.6** L'aspect modulaire de la conception du passe-bande, permettant de modifier une des trois caractéristiques par le changement d'un seul composant n'a été vu que par moins d'un candidat sur dix.

**II.C.1** Expliquer le fonctionnement du circuit ne pouvait se limiter à « c'est un comparateur simple ». On attendait la justification du fonctionnement en régime de saturation, puis l'explicitation de la valeur de sortie en fonction de l'entrée. Enfin, la réponse du circuit au signal cardiaque nécessitait un schéma.

**II.C.2** Il fallait évoquer l'absence de rétroaction négative pour justifier le fonctionnement non linéaire du circuit (dire que l'entrée est sinusoïdale et que le potentiel de l'entrée inverseuse est constant ne permet pas de conclure). La question était très guidée et donc plutôt réussie pour un thème généralement difficile.

Cependant, quelques candidats ayant les bonnes expressions ne savent pas les exploiter correctement pour tracer la réponse du circuit au signal cardiaque. Les diverses dénominations du montage ont été acceptées.

**II.C.3** Cette question de conclusion de l'étude était l'occasion de tester la compréhension des candidats sur la problématique de la partie. Globalement, un peu plus d'un candidat sur dix a parfaitement compris les enjeux, les tenants et les aboutissants, et a su exprimer ses conclusions clairement.

**II.D** Question nécessitant sans doute des connaissance en dehors du champ propre de la physique. Dans les dispositifs réels il existe des filtres destinés à éliminer les signaux correspondant à l'activité d'autres muscles que le cœur.

### Partie III : Holographie

**III.A.1.a** Question très élémentaire.

**III.A.1.b** Le jury attendait une description précise de l'objet. Par exemple une lame à faces parallèles.

**III.A.1.c** Le calcul complet n'était pas nécessaire. En revanche, il fallait évoquer la cohérence des deux ondes et l'égalité de leurs amplitudes pour pouvoir utiliser directement la formule de Fresnel.

**III.A.1.d** Question normalement simple.

**III.A.2** Des difficultés pour tracer de manière qualitativement juste une grandeur sinusoïdale de valeur moyenne non nulle. La transparence de l'hologramme aurait dû inciter les candidats à penser à un réseau, caractérisé par son pas.

**III.A.3.a** Question bien plus délicate qu'il n'y paraît. Rien dans l'énoncé ne laissait supposer que la largeur de l'hologramme était notablement plus petite que sa longueur. En conséquence un argument, manifestement directement issu du cours et sans réflexion, du type « pupille de type fente allongée » était incorrect. De même que la simple comparaison de  $L$  à la longueur d'onde. Il fallait en fait comprendre que la taille caractéristique de l'hologramme selon  $Ox$  était son pas, lui-même de l'ordre de la longueur d'onde, et non la largeur.

**III.A.3.b** L'énoncé du principe de Huygens-Fresnel fut correct pour environ un candidat sur trois. Le calcul qui suit, dont le résultat n'était pas donné, relativement technique, fut mené partiellement à bien par environ un candidat sur sept. Comme il y a plusieurs conventions pour l'écriture mathématisée du calcul de la diffraction, il y avait une ambiguïté sur l'identification du terme en  $\phi_0$ . Le jury en a bien sûr tenu compte. L'interprétation de ce terme et la description de ce que voit un observateur ne furent quasiment jamais correctes.

**III.A.3.c** Question mal traitée car l'hypothèse de l'énoncé a été mal utilisée : il ne s'agissait pas de montrer qu'un des trois termes prédomine (ce qui est d'ailleurs faux), mais de montrer que les pics des trois sinus cardinaux sont suffisamment séparés pour que dans le calcul de l'intensité les termes « croisés » soient négligeables. L'intensité est alors la somme des trois intensités dues à chaque terme.

**III.A.4.a** Il fallait comprendre l'influence de la longueur d'onde de l'onde éclairant l'hologramme et la distinguer de celle ayant servi à le fabriquer. Il ne suffisait donc pas de substituer  $\lambda_1$  à  $\lambda_0$  !

**III.A.4.b** Même constat que pour **III.A.3.c**.

**III.A.4.c** Il fallait faire apparaître les deux modifications principales : translation de la position des pics des sinus cardinaux et élargissement de la largeur de ces pics.

**III.A.5.a** et **III.A.5.b** Comme les arguments nécessaires pour répondre à ces questions n'ont quasiment jamais été établis dans les questions précédentes, ces questions n'ont donné des points

qu'à une dizaine de candidats. Rappelons, car cela semble nécessaire, qu'une réponse comme « non » à la question **III.A.5.b** ne saurait satisfaire le jury.

**III.B.1.a** De très nombreuses confusions entre déphasage et différence de marches (d'où des réponses non homogènes). L'indice de la gélantine a très souvent été oublié.

**III.B.1.b** Il s'agissait de redonner les arguments du cours sur les réseaux pour déterminer les directions dans lesquelles on peut observer de la lumière.

**III.B.2.a** La configuration géométrique était inhabituelle, et peu de candidats ont su s'y adapter.

**III.B.2.b** L'intégration ne posait pas de problème, mais il fallait faire attention à la paramétrisation :  $z$  variait entre 0 et  $d$ .

**III.B.2.c** La question n'a pas été très bien comprise. Il s'agissait de montrer qu'il y a deux directions autour desquelles on peut observer de la lumière, puis, en tenant compte des valeurs numériques, de montrer que l'étalement angulaire autour de ces directions est très faible.

**III.B.2.d** Quelques candidats ont compris que la direction de l'optique géométrique était sans intérêt.

**III.B.3** Un très petit nombre de candidats ont établi correctement la loi de Bragg.

**III.B.4** Il fallait avoir bien appréhendé ce qui précédait pour comprendre le rôle sélectif en longueur d'onde que joue l'hologramme et décrire ce que voit un observateur.

**III.B.5.a** Quelques candidats sont capables de relier les longueurs d'onde correctement aux couleurs correspondantes et d'y voir un ensemble de couleurs primaires, nécessaires à la synthèse additive des couleurs.

**III.B.5.b** Le jury attendait bien sûr un argument d'incohérence temporelle.

**III.B.5.c** Certains candidats ont eu l'intuition de la réponse sans pouvoir vraiment la justifier. Une vingtaine de copies s'est vue attribuer des points à cette question.

## Conclusions

Ce sujet, relativement long et à la dernière partie relativement peu guidée, abordait des points importants du programme de physique des classes préparatoires. Il a permis aux candidats qui connaissent les résultats du cours, qui savent les appliquer et qui rédigent correctement, d'exprimer toutes leurs qualités et de valoriser leur investissement dans l'étude de la physique. En particulier, la recherche approfondie d'une ou deux parties permettait d'avoir une note honorable.

Comme les années précédentes, le jury insiste sur la nécessité de justifier, de manière concise cependant, les résultats utilisés, les démarches suivies. Ceci permettra aux candidats de bien se faire comprendre des correcteurs d'une part, et d'autre part de s'assurer que leurs raisonnements sont solides et étayés, ce qui doit leur donner confiance dans la poursuite de la résolution des problèmes. Des points de justification et de rédaction sont malheureusement trop souvent perdus par les candidats se contentant de donner un résultat dont le jury ne sait d'où il sort.

Le jury conseille par ailleurs aux candidats de formuler des commentaires pertinents, même quand ils ne sont pas demandés explicitement. Le jury sait valoriser ces initiatives.