

EPREUVE DE PHYSIQUE

Durée : 3 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le problème concernait l'effet Hall et en donnait deux applications.

Le sujet abordait des thèmes variés et couvrait plusieurs domaines du programme de première et de deuxième année :

- étude de l'effet Hall en régime statique ;
- étude de l'effet Hall en régime sinusoïdal ;
- application à un capteur de rotation d'un arbre de machine tournante ;
- application à un capteur de vitesse pour ESP.

COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

Comme pour les années précédentes, dans l'élaboration du barème, le jury s'est attaché à valoriser :

- les raisonnements effectués avec rigueur et cohérence ;
- les réponses claires et concises, soigneusement justifiées et rédigées ;
- la compréhension qualitative des phénomènes physiques mis en jeu ;
- l'analyse critique des résultats quantitatifs.

Il a en revanche sanctionné :

- l'utilisation indistincte de formules non justifiées ;
- les questions de cours non assimilées ;
- les résultats inhomogènes ou faux ;
- les réponses données sans justification ni commentaires ;
- les applications numériques délivrées sans unité ;
- l'écriture illisible et l'absence de rédaction.

ANALYSE PAR PARTIE

1^{ère} Partie : Etude de l'effet HALL

Cette partie comprenait deux sous parties, la première concernant le régime statique ; les copies ont été lamentables sur ce point. Beaucoup de candidats ont beaucoup de mal à écrire la relation vectorielle entre la densité de courant et la vitesse des électrons faisant intervenir la charge des électrons et leur densité volumique ; par exemple on a pu lire sur une copie « le module de V est négatif car les électrons vont dans le sens opposé ». Sont également observées beaucoup de relations inhomogènes, où il manque la charge ou la densité volumique. Pourtant l'étude qualitative de la conduction est vue au collège comme on peut le lire dans le programme : « *Le courant électrique est dû à un déplacement d'électrons dans le sens opposé au sens conventionnel du courant dans un métal* ».

A la question sur la force magnétique, il y a souvent confusion entre force magnétique, force de Lorentz et force de Laplace. Quant à la déviation des électrons, là encore c'est très mal expliqué, certains appliquent le PFD, d'autres encore raisonnent en module ! Dans une copie nous avons lu « les électrons sont déviés vers la face un ou deux selon leur charge ». Pourtant celle-ci était rappelée dans l'énoncé. D'année en année nous répétons aux futurs candidats qu'il faut lire le sujet attentivement, car souvent les points clés sont indiqués et c'était le cas cette année encore.

Il y a parfois confusion entre Le champ de Hall et le champ électromoteur et la relation champ-potentiel sous forme intégrale est souvent fautive. Les candidats ont du mal à écrire correctement la différence de potentiel sous forme intégrale, avec les bornes dans le bon sens, souvent le signe intégral est posé mais il n'y a pas de bornes ; faire l'intégration et prendre une primitive n'est pas la même chose. Le coefficient R_H demandé a souvent été donné en Ohm, et c'est révélateur d'un manque d'attention des candidats. Le sujet demandait d'analyser le signe ce coefficient, ce qui pouvait laisser penser qu'il y avait un problème particulier. Pour les applications numériques, la calculatrice étant interdite, il fallait parfois faire quelques approximations mais ils étaient toujours faisables sans trop de soucis. Il y avait une tolérance adéquate sur les valeurs numériques. Nous répétons qu'un résultat est compté juste s'il est donné avec la bonne unité et la plus simple possible. Le champ magnétique est donc attendu en Tesla (mais l'unité ne suffit pas, ainsi on a vu une valeur numérique de 10^{38} T !).

La question relative à la sensibilité a posé beaucoup de problème, c'est pourtant une notion clé pour tous les appareils de mesure. Dans le contexte du sujet il y avait deux réponses possibles. En section PSI, nous attendons des candidats des connaissances de base en métrologie. Ensuite venait une étude sur la variation de la mesure en fonction de la température, et on demandait d'évaluer une variation relative. Là encore, c'est une notion inconnue de l'immense majorité des candidats. On mesure le ravage des réformes successives. Le sujet demandait une relation entre la force de Laplace et la tension de Hall, cette question a été abordée assez souvent de manière correcte, les meilleurs candidats ont poussé l'analyse un peu plus loin qu'une simple vérification mathématique (la force de Laplace correspond à l'action du champ de Hall sur les ions).

Ensuite venait une analyse des lignes de champ et équipotentiels en absence puis en présence de champ magnétique. Certains candidats ont très bien répondu à cette question, d'autres ont fait n'importe quoi (lignes de champ circulaires...). Il faut que les candidats sachent que dans le barème il n'y a que des points positifs, mais si à une question on trouve deux réponses distinctes dans la copie (ce qui a été effectivement le cas cette année), la réponse est comptée fautive. Si la réponse est complètement à côté de ce qui est normalement attendu, l'impression du correcteur n'est pas très bonne sur la copie et cela peut influencer sur la notation d'une question ultérieure ou la réponse n'est pas tout à fait exacte.

La question A.12 à propos de la tolérance sur la position des points de soudure a posé beaucoup de difficulté. Une proportion infime de candidat a réellement compris ce qui était demandé. Des candidats ont trouvé des tolérances supérieures aux 3cm de la longueur de la plaquette jusqu'à 12,7 km ! ce qui laisse imaginer pour le moins que la question n'a pas bien été comprise).

La deuxième sous partie abordait l'effet Hall en régime sinusoïdal. Cette partie du problème a été globalement la mieux traitée, sans doute parce qu'elle correspondait bien à une partie identifiée du programme de deuxième année. Les équations de Maxwell étaient demandées en absence de charges, et dans l'ARQS. Certains candidats les ont données dans le cas général ce qui n'était pas demandé, dans ce cas ils n'ont pas obtenu les points correspondants. Nous renvoyons le lecteur au paragraphe sur la lecture du sujet. Venait ensuite l'établissement de l'équation de diffusion, qui a parfois confondue avec une équation de propagation (voire une

équation de dispersion dans le pire des cas). Il y avait une analyse sur la parité de la densité de courant induit. A cette question était attendu une analyse sur les symétries des causes et sur celles des effets. Pour bien des candidats l'analyse des symétries est faite uniquement sur les conséquences avec un raisonnement faux ; partant du résultat attendu et après quelques manipulations, le résultat est retrouvé formulé autrement ! Les correcteurs ne sont pas dupes, il faut bien que les futurs candidats le sachent.

La résolution de l'équation a été faite par une bonne part des candidats, mais certains ne savent pas intégrer correctement une équation du second ordre, ou la confondent avec celle d'un oscillateur harmonique. La plaquette n'étant pas de dimension infinie, les deux solutions en exponentielles coexistaient ce qui n'a pas été vu par tous les candidats (il y avait deux conditions aux limites).

La question B-7 faisait encore appel à l'étude des symétries. Les remarques précédentes s'appliquent également.

La fin de la première a rarement été faite jusqu'au bout. Nous rappelons aux futurs candidats que les questions entièrement faites sont valorisées d'un bonus. Il est donc préférable d'approfondir quelques questions plutôt que de papillonner sur le début de chaque partie. Ainsi la première partie à elle seule pouvait rapporter une note supérieure à trois fois la moyenne nationale sur l'épreuve entière, et égale à la note de la meilleure copie.

2^{ème} Partie : Applications de l'effet HALL

Cette partie comportait deux sous parties, la première abordait un capteur de rotation de machine tournante. Les premières questions demandaient dans des cas particuliers d'orientation du champ par rapport à la plaquette, la tension due à l'effet Hall et il fallait préciser entre quelles faces de la plaquette il fallait prendre la ddp. Bien évidemment, il fallait avoir lu l'introduction du sujet et décliner les résultats donnés par la première partie à ces situations nouvelles, avec d'autres notations, d'autres dimensions... Globalement, ces questions ont été faites assez correctement. Venaient ensuite la détermination de l'angle à partir des tensions relevées sur les faces de la plaquette. L'angle attendu faisait 240° , ce qui le plaçait dans le quadrant où l'Arc sinus, l'Arc cosinus et l'Arc tangente ne donnent pas le résultat sans précaution. L'immense majorité des candidats a trébuché dans la difficulté. Les questions suivantes demandaient les tensions du capteur pour une rotation uniforme, la tension maximale, le lien entre vitesse de rotation de l'arbre et fréquence de la tension du capteur. Il est surprenant de voir que même la relation fréquence-pulsation puisse être écrite de travers. La raison du feuilletage de l'arbre a été bien évoquée.

Venait ensuite un moteur synchrone diphasé pour lequel on demandait un schéma équivalent compte tenu des valeurs des tensions mesurées à vide, des résistances et des conventions choisies sur le schéma. Cette question s'est révélée très sélective est nécessitait d'avoir bien compris le phénomène d'induction. A partir d'un bilan de puissance le couple électromagnétique devait être établi, et le lieu des points donnant un couple constant devait être tracé pour aboutir sur les courants optimaux d'alimentation de la machine et ce qu'il fallait faire pour les obtenir à partir de signaux des capteurs. Ces questions n'ont été traitées entièrement correctement que par une infime partie des candidats.

La deuxième sous partie concernait un capteur de vitesse pour ESP. Deux capteurs à effet Hall décalés dans l'espace étaient face à une roue dentée métallique, et délivraient des tensions sinusoïdales déphasées. Les premières questions demandaient de quoi dépend la période de ces tensions et quel était le rapport entre décalage spatial et distance entre deux dents du pignon. Ces questions furent très mal faites, pourtant elles relèvent du bon sens et de la compréhension du phénomène de propagation. Venait ensuite un comparateur à hystérésis, sa caractéristique et des chronogrammes sur un document réponse fourni. Si l'étude du

comparateur à été relativement bien faite, les chronogrammes ont été bien souvent négligés. Ceux qui les ont faits ne savent pas toujours tracer correctement une sinusoïde, ni tracer un signal en retard ou en avance par rapport à un autre ; ce sont pourtant des notions de bases et il est déplorable de voir que ce n'est pas acquis.

ANALYSE DES RESULTATS

Malgré un barème adapté à la diversité et au grand nombre de questions et favorisant les questions proches du cours, les résultats constatés sont loin d'être satisfaisants, d'autant que la longueur de l'énoncé avait notablement diminué par rapport aux années précédentes. Le niveau général des connaissances a été jugé insuffisant par les correcteurs. Les réponses fournies sont souvent très approximatives, non justifiées, dénotant des connaissances trop superficielles. La simple lecture de graphes, a fortiori leur utilisation, pose des difficultés à bon nombre de candidats.

Après le traitement informatique d'usage, la moyenne s'élève à 8,56 sur 20, avec un écart-type de 4,16. Les correcteurs, dans leur globalité, constatent que de nombreux candidats voient leur note finale constituée d'un grappillage de points sans vraiment avoir compris l'enchaînement des questions. Rappelons que des points de bonus sont accordés par les correcteurs aux candidats qui ont été critiques quant à leurs résultats et qui ont conclu une partie entière de l'épreuve sans faute au fil d'une réelle composition.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

La préparation du concours est fondée sur un apprentissage régulier et approfondi du cours, cet apprentissage s'effectue par une approche équilibrée entre la théorie et l'expérience : la démarche expérimentale effectuée dans le cadre des travaux pratiques est incontournable et riche d'informations pour la compréhension des phénomènes physiques. Il apparaît inadmissible que les questions proches du cours sur lesquelles s'appuie le raisonnement ne soient pas ou mal traitées par les candidats.

La préparation à la formation d'ingénieurs privilégie une démarche scientifique empreinte de rigueur, elle s'accommode mal de l'apprentissage réducteur d'une collection de formules plus ou moins bien corrélées. L'usage de la calculatrice sera à l'avenir prohibé pour cette épreuve.

Rappelons que tout résultat non justifié ne permet pas l'attribution des points.

La résolution du problème nécessite un minimum de technicité calculatoire que le candidat se doit de maîtriser même si son utilisation reste réduite dans le cadre du concours. Pour autant, le candidat ne doit pas se contenter de répondre mathématiquement aux questions posées, il doit argumenter, rédiger sa réponse de manière précise, dégager le sens physique de ses résultats et effectuer l'analyse critique du phénomène étudié. Le caractère pertinent des solutions se doit d'être souligné. Le choix des sujets abordés évalue la curiosité, le sens de l'observation, le réalisme du candidat et son adaptabilité face au monde naturel et technique en perpétuelle évolution.

L'ultime recommandation et sans doute la première au jour de l'épreuve est une lecture préalable attentive, sans précipitation, de l'énoncé : les réponses à bon nombre de questions ou les orientations relatives à la bonne marche à suivre pour la résolution du

problème sont souvent glissées par le concepteur dans des phrases introductives ou de liaison entre les paragraphes successifs. Le candidat trouvera dans la formulation des questions et bien souvent dans les données numériques les clés de son raisonnement.