

Composition de Physique et Sciences de l'Ingénieur, Filière MP**Rapport de MM. Antoine CHAIGNE et Pierre KERVELLA, correcteurs.****Présentation du sujet**

Le sujet proposé cette année portait sur le fonctionnement de deux technologies de sustentation magnétique pour le transport ferroviaire. L'étude de chacune de ces technologies faisait l'objet de la partie II. Elle était précédée, en partie I, par la description de l'expérience fondamentale d'E. Thomson, où les questions portaient sur le rôle des différents paramètres électriques et mécaniques du système dans la lévitation.

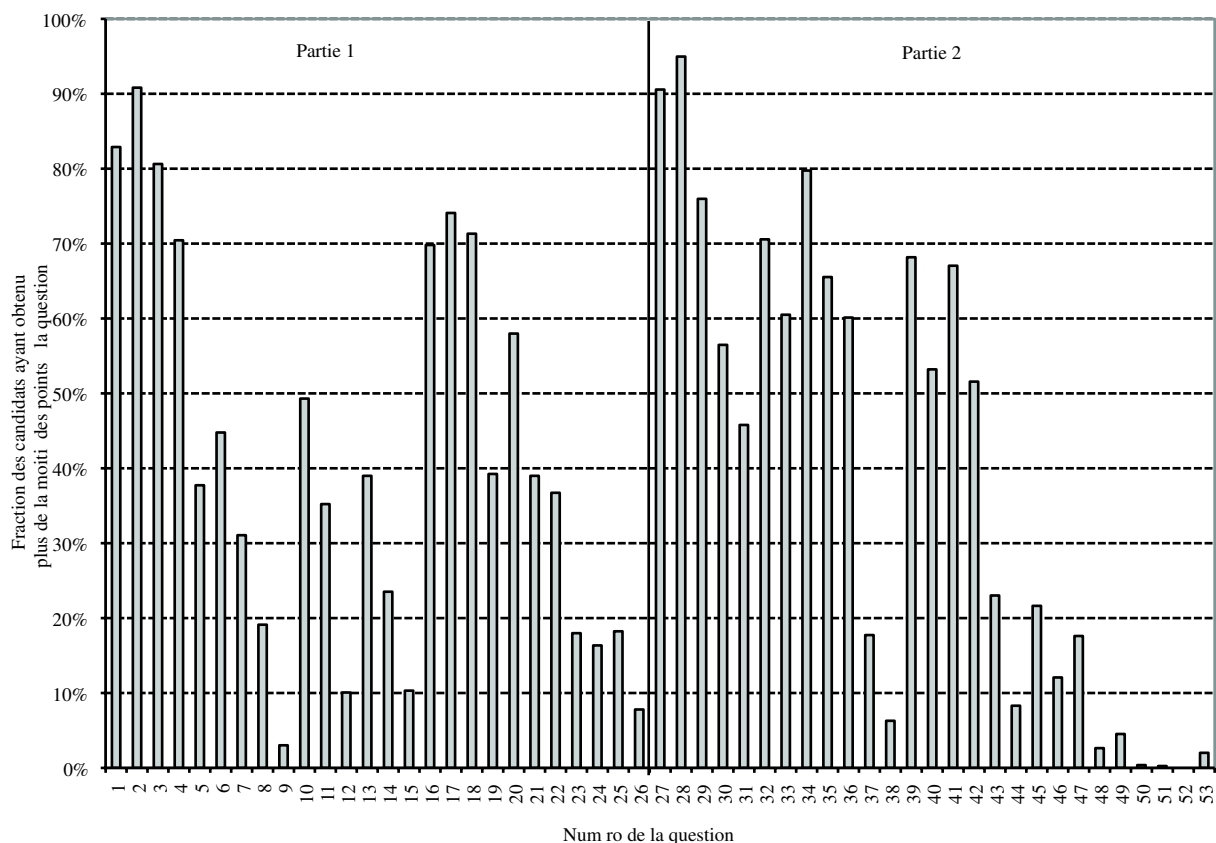
Dans le système EDS (sustentation électrodynamique), des bobines supraconductrices sont placées dans le train et des électro-aimants le long de la voie. L'interaction entre les aimants génère une force magnétique répulsive qui crée la lévitation. Dans un premier temps, le sujet consistait à montrer l'existence d'oscillations et la nécessité de les amortir par un système d'asservissement approprié tout en conservant une bonne précision. Il fallait également mettre en évidence l'existence d'un seuil de vitesse en-dessous de laquelle le train ne peut l'éviter, et donc conclure quant à la nécessité de munir le train de roues.

Dans le système EMS (suspension électromagnétique), le train muni d'électro-aimants est en suspension à une distance faible du rail (de l'ordre du centimètre). Dans cette partie, l'essentiel du travail consistait à montrer que le système est instable, et qu'il convient donc de contrôler la position relative train/rail par un circuit électrique qui régule le courant parcourant la bobine de l'électro-aimant solidaire de la rame.

Résultats des candidats

La table ci-dessous présente la répartition des notes des candidats français. La moyenne de l'épreuve s'établit à 9,70/20 avec un écart-type de 3,33. La répartition des notes est proche d'une loi normale, avec une médiane de 9,35 et une asymétrie de 0,34.

$0 \leq N < 4$	26	3 %
$4 \leq N < 8$	221	28 %
$8 \leq N < 12$	355	45 %
$12 \leq N < 16$	159	20 %
$16 \leq N \leq 20$	33	4 %
Total	794	100 %
Nombre de copies : 794		
Note moyenne :		
Ecart-type :		



La Figure présentée sur la page suivante donne le taux de réussite des candidats français à chacune des questions. Une question est considérée comme réussie sur ce graphique si le candidat a reçu au moins la moitié des points. Certaines questions ont été réussies par une grande partie des candidats, mais ne sont de ce fait pas celles qui ont fait la différence sur la notation finale. Ce graphique permet aussi de visualiser les différentes « portes d'entrée » qui étaient offertes aux candidats.

Comme l'année dernière, l'attention des futurs candidats est attirée sur le fait que des applications numériques fort simples ont fait perdre des points à une bonne partie des candidats. Il est rappelé que la valeur numérique d'une grandeur physique doit être obligatoirement suivie d'une unité, sans quoi le résultat est considéré comme faux. Les

unités de base du Système International sont bien sûr correctes et acceptées, mais il est indispensable de savoir (par exemple) qu'un champ magnétique s'exprime en Tesla (T) et une force en Newton (N). Faire suivre une valeur numérique de champ magnétique par la simple mention « SI » est considéré comme insuffisant.

Reprenant les termes de notre rapport de l'année dernière, nous souhaitons insister à nouveau sur l'importance de la qualité de la rédaction (précision, concision, propreté) dans l'appréciation d'une copie. Un raisonnement clair, concis et bien exprimé a bénéficié d'une notation plus favorable que la simple énonciation directe du résultat, même si celui-ci est juste dans les deux cas. La faculté d'une copie à présenter synthétiquement sa démarche dans la résolution de la question posée est une qualité scientifique au même titre que l'aptitude à réaliser des calculs complexes. Lorsqu'une démonstration est exigée, on ne peut se contenter de donner le résultat en une ligne sans expliquer la démarche. Les copies les plus réussies (plusieurs ont atteint la note de 20/20) se caractérisent toutes par une rédaction agréable et concise, ne sacrifiant rien à l'exactitude. L'utilisation de schémas adaptés a été encouragée dans la notation lorsque la question s'y prêtait.

Points particuliers

Nous détaillons dans cette partie les erreurs courantes des candidats, question par question.

Partie I : L'expérience d'E. Thomson

I.1. Considérations générales Les questions de cours **1 à 4** ont été généralement bien traitées. En revanche, à la question **5**, beaucoup de candidats n'ont pas vu que la résultante des forces radiales était nulle.

I.2. Modélisations de la première série d'expériences Les questions **7 et 8** ont été assez peu abordées. Par ailleurs, une proportion significative de candidats n'ont pas remarqué que si l'inductance propre est nulle, le courant et le flux sont en quadrature. La question **9** qui faisait clairement appel au sens physique des candidats a malheureusement suscité la plupart du temps des réponses fantaisistes. À la question **10**, nous avons été surpris de constater beaucoup d'erreurs dans l'écriture de la loi des mailles, dont la plus fréquente est l'absence des termes dus aux inductances mutuelles. Evidemment, la suite du problème devenait problématique dans ces conditions. À la question **11** plusieurs candidats se sont noyés dans des calculs inutiles, alors qu'il suffisait d'exprimer les réponses en fonction des modules et des phases donnés dans l'énoncé. Seul un petit nombre de candidats ont réussi à montrer le résultat de la question **12** de manière élégante, c'est-à-dire en montrant la proportionnalité sans passer par le calcul exact qui était lourd. Signalons également que l'application numérique de la question **13** était accessible, même si la ques-

tion **12** n'avait pas été démontrée auparavant. De bonnes réponses ont été données à la question **14** dans l'ensemble, même si certains ont oublié que le poids double quand on prend 2 spires au lieu d'une. À la question **15** il était nécessaire de se reporter à l'expression de la force pour savoir lequel des deux effets (poids ou conductivité) l'emportait. L'intuition ne suffisait pas.

I.3. Modélisations de la deuxième série d'expériences Les questions **16 à 25** de la partie I.3 ont été généralement bien traitées. Par contre, des explications parfois fantaisistes ont été parfois données à la question **26**.

Partie II : Commande en lévitation

II.1 Modélisation et stabilité du système EDS À la question **27**, qui était fort simple, certains candidats ont oublié de préciser les unités. D'autres ont représenté la force pour les $z < 0$. Enfin, nous avons pu lire dans plusieurs copies la force exprimée en Joule/m ! Les questions **28 à 31** ont été plutôt bien traitées par la majorité des candidats. Le développement limité de la **29** a été nettement plus sélectif et a donc eu des conséquences importantes sur le classement final de la copie. Les réponses aux questions **32 à 37** ont été plutôt satisfaisantes en moyenne. Parmi les erreurs fréquemment rencontrées, signalons l'absence de la courbe de phase en fonction de la fréquence dans les diagrammes de Bode. Cette erreur est notée depuis plusieurs années, avec une amélioration encore peu significative. Signalons que les questions **39 et 40** pouvaient être traitées indépendamment des précédentes. À la question **40**, beaucoup oublient de calculer numériquement la vitesse minimale du train. Même si la plupart des réponses concluent quant à la nécessité de disposer de roues, on en trouve tout de même plusieurs qui trouvent « dommage que le train frotte sur le rail dans les gares » et d'autres qui plaident pour « un système de lévitation complémentaire sur les quais » !

II.2 Train à suspension électromagnétique (EMS) Les questions **41 et 42** ont été bien traitées en moyenne. On a relevé tout de même de nombreuses copies où les unités de champ magnétique sont fantaisistes (en Henry, en Weber). À partir de la question **43**, le pourcentage de questions traitées décroît fortement. Néanmoins, plusieurs candidats ont réussi à grappiller des points précieux dans cette dernière partie où plusieurs réponses pouvaient être obtenues rapidement sans calculs excessifs (surtout aux questions **43 à 49**). À la question **43**, l'erreur la plus fréquente est l'erreur de signe au dénominateur. Sans le signe « moins », l'interprétation de la stabilité devient caduque, de même que le diagramme de phase à la question **44**. Comme pour la question **29**, une sélection certaine entre les copies est due ici à l'aptitude à effectuer un calcul de petites variations. Les questions **50 à 52** n'ont quasiment pas été traitées. Par contre, plusieurs candidats ont abordé avec succès la question **53** à laquelle il était facile de répondre compte tenu des principaux résultats du problème.

Conclusion Dans l'ensemble, on peut indiquer que beaucoup de points ont été perdus par suite de manque de soin dans les applications numériques. Celles-ci sont également très révélatrices du degré de compréhension des phénomènes par les candidats. Pouvoir écrire sans sourciller, par exemple, que la position d'équilibre de l'anneau, dans l'expérience d'Elihu Thomson, est supérieure à 10 kms n'indique pas un grand sens de réalisme physique.