

**Composition de Physique et Sciences de l'Ingénieur, Filière MP  
(X)**

**Présentation du sujet**

Le sujet proposé cette année traitait de la perception des mouvements à partir de l'étude d'un simulateur de conduite et de la propagation d'ondes électromagnétiques lumineuses dans les milieux non homogènes.

La première partie du sujet portait sur la propagation d'ondes électromagnétique dans des milieux non chargés non uniformes spatialement. Une méthode courante pour étudier cette propagation consiste à ignorer les termes de dispersion spatiale dans l'équation de propagation dans les milieux homogènes. Dans cette partie, le questionnement conduisait les candidats à vérifier si la méthode proposée était légitime ou non dans le cas d'une fibre optique et d'un milieu stratifié. Enfin une analogie avec la mécanique quantique était proposée. La seconde partie se concentrait sur l'étude d'un simulateur de conduite de moto. Après avoir vérifié l'amplitude des déplacements des trois actionneurs du simulateur pour respecter le cahier des charges, il était demandé aux candidats de mettre en place le modèle cinématique inverse du simulateur. Enfin, l'étude de la commande de ce simulateur pour retranscrire les impressions d'accélération au conducteur faisait l'objet de la dernière partie.

**Résultats des candidats français**

Le tableau 1 présente la répartition des notes des candidats. La moyenne de l'épreuve s'établit à 9,33 avec un écart-type de 3,87. La répartition est proche d'une loi Gaussienne.

$0 \leq N < 4$	66	8,42 %
$4 \leq N < 8$	223	28,44 %
$8 \leq N < 12$	308	39,29 %
$12 \leq N < 16$	146	18,62 %
$16 \leq N \leq 20$	41	5,23 %
Total	784	100 %
Nombre de copies : 784		
Note moyenne : 9,33		
Écart-type : 3,87		

**Tableau 1 : Résultat de l'épreuve P & SI filière MP**

La figure 1 illustre la fraction de candidats ayant abordé chaque question. Les 2 parties du sujet ont été abordées par les candidats de manière équilibrée. Cependant les questions nécessitant un esprit d'analyse ont été significativement moins abordées que celles davantage calculatoires ce qui est regrettable pour de futurs ingénieurs. Lorsque ces questions

ont été abordées elles ont été assez mal traitées par les candidats. Les dernières questions des sous-parties ont permis de départager les meilleurs candidats lorsqu'elles ont été bien traitées.

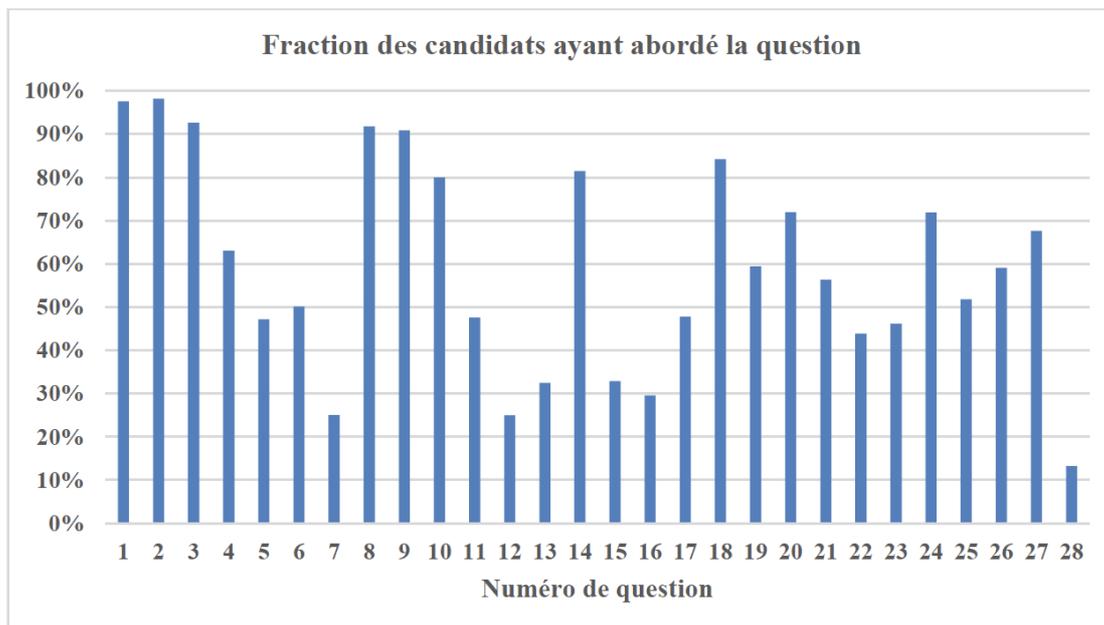


Figure 1 : Taux de réponse des candidats par question

La figure 2 donne le taux de réussite des candidats à chaque question. Une question est considérée comme réussie 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 pas celles qui ont fait la différence sur la notation finale.

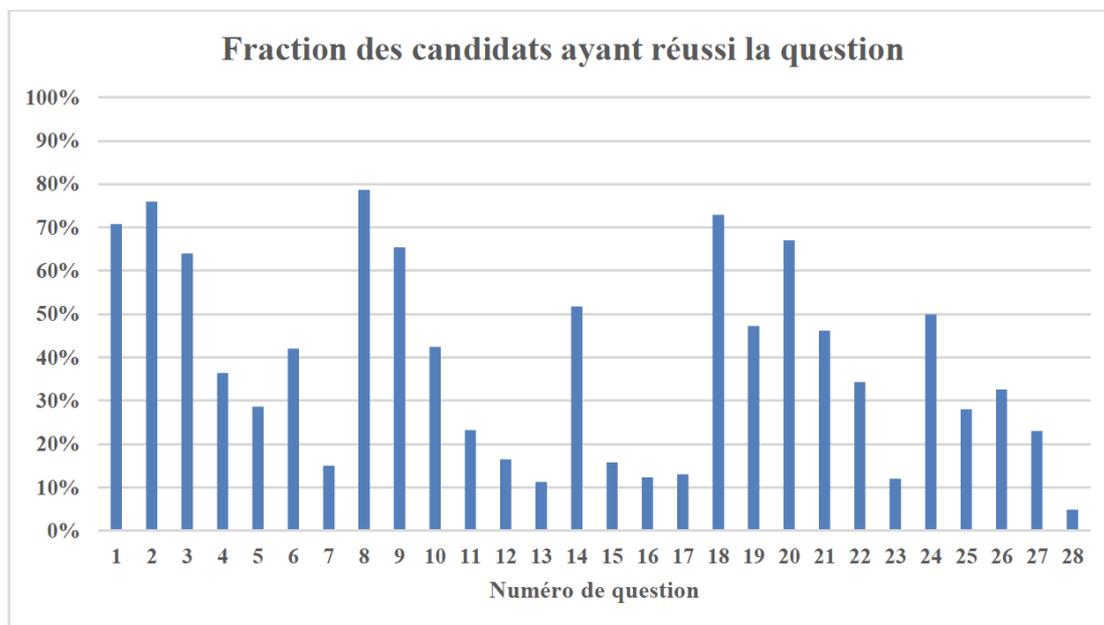


Figure 2 : Taux de réussite des candidats par question

Les taux de réussite aux questions montrent une baisse suffisamment significative de la qualité de rédaction des réponses pour qu'elle soit mentionnée. En effet, la majorité des questions nécessitaient de faire preuve de réflexion pour répondre correctement à l'intégralité de la question.

Comme chaque année, 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.

Reprenant les termes des rapports des années précédentes, nous souhaitons insister à nouveau sur l'importance de la qualité de la rédaction (précision, concision et 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 du résultat juste.

Enfin, des questions ont été mal traitées par manque de rigueur assez surprenant pour des candidats de filière MP tel que :

- La réponse proposée n'est pas en adéquation avec l'intitulé de la question suite à une mauvaise lecture de la question.
- Lors de l'établissement d'une relation, certains candidats n'ont proposé qu'un terme de l'égalité sur les deux attendus.
- Il existe des confusions entre unités et dimensions de grandeurs physiques.
- Une analyse dimensionnelle justifie une relation physique.

## Partie I : Propagation dans les milieux non homogènes

### I.1 Fibre optique à profil parabolique

Cette partie avait pour objectif de vérifier la cohérence de l'hypothèse qui consistait à négliger le terme de dispersion spatiale dans l'équation de propagation d'une onde électromagnétique monochromatique.

Les trois premières questions ont été globalement bien traitées mais ont été caractérisées par le manque de rigueur mentionné ci-dessus. L'analyse du champ électrique à énergie finie a été couramment remarquée par les candidats. Avec les changements de variables proposés, l'équation (6) du sujet s'apparentait à l'équation de Schrödinger d'une particule dans le potentiel 2D,  $\mu$  est de la forme  $2(N + 1)$ , avec  $N \in \mathbb{N}$  dans ce cas  $\mu_{\min}$  valait bien 2. Pour la question 5 il suffisait de reprendre l'expression de  $\mu$  entier positif, pour en déduire qu'il existait une pulsation critique limite afin que la propagation ait lieu. Une valeur de  $\mu = 157$  permettait de vérifier l'application numérique et de justifier qu'on se trouvait assez éloigné du fondamental. La question 6 ne posait pas de problème particulier en analysant la relation définissant  $\mu$ .

La question 7 a été très peu abordée et encore moins bien réussie, en utilisant les coordonnées cylindriques dans l'expression de l'équation 4 et dans le calcul du terme  $\vec{E} \cdot \overrightarrow{\text{grad}} \ln(n^2)$ , il était possible de montrer après quelques calculs que dans le cas du mode fondamental de la fibre le terme de dispersion spatiale était effectivement négligeable.

### I.2 Mode TE dans un milieu stratifié

Les questions 8 (considérée comme une question de cours) et 9 nécessitaient un minimum de rigueur pour obtenir les points associés. Lors de la correction de la question 10, il a été surprenant de constater que certains candidats en 2<sup>ème</sup> année de CPGE ne connaissaient pas les longueurs d'onde du domaine visible. Considérant «  $k_0$  grand » i.e.  $\lambda_0$  très petite devant les dimensions caractéristique du problème abordé, les équations  $(\frac{dS}{dz})^2 = n^2(z)$  et  $\frac{dS}{dz} = n(z)$  s'établissaient sans difficulté particulière. Lorsque  $n$  est constant le terme  $S''$  s'annulait dans la question 11 et  $A$  vérifiait l'équation  $A'' + 2ink_0A' - \kappa^2A = 0$ . On retrouvait alors les résultats classiques.

Les questions 12 et 13 ont été peu abordées et assez mal traitées par les candidats souvent par manque de rigueur en voulant répondre trop rapidement sans justifier. L'amplitude de  $A$  ne variant presque pas, on obtenait un champ électrique caractéristique des ondes planes progressives avec  $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$  et  $\vec{K}$  formant un trièdre direct.

### I.3 L'approximation semi-classique en mécanique quantique : une analogie

La question 14 n'a pas posé de problème particulier aux candidats n'ayant pas fait d'erreurs de calculs et ayant répondu à l'intégralité de la question. En supposant que  $\sigma(x) \approx \sigma_0 + \frac{\hbar}{i}\sigma_1$  on obtenait  $2\sigma_0'\sigma_1' + \sigma_0'' = 0$  ce qui permettait d'aboutir à la relation demandée. Enfin si on échantillonnait le mouvement d'un oscillateur harmonique classique à des instants régulièrement espacés, le mobile était plus souvent repéré au bord (où sa vitesse est nulle) qu'au centre où sa vitesse est maximale.

## Partie II : Simulateur de conduite de véhicule à 2 roues

### II.1 Modèle géométrique et cinématique inverses de la plateforme du simulateur

La question 17 consistait à déterminer la course de chaque vérin pour respecter les amplitudes angulaires définies dans le cahier des charges. Le faible taux de réussite à cette question s'explique par la non-réalisation de schéma qui permettait pourtant de visualiser les relations entre les courses de vérin et les amplitudes angulaires recherchées. Certains candidats n'ont eu aucun problème à encadrer sur leurs copies des courses de vérin de 200 m pour un simulateur de moto.

Les questions 18 à 22 avaient pour objectif de mettre en place le modèle cinématique inverse du simulateur permettant d'exprimer les vitesses de déplacement des vérins à

partir du torseur cinématique de la plateforme. Ces questions traitées rigoureusement à partir des formules de dérivation vectorielle et des indications données dans l'énoncé conduisaient à l'établissement de l'équation (19).

## II.2 Introduction à la perception

La question 23 nécessitait une analyse de la commande du simulateur. La double intégration de l'accélération transitoire permettait de déterminer la position désirée à envoyer à la plateforme. La composante d'accélération obtenue après filtrage passe bas permettait de définir l'angle d'inclinaison de la plateforme par rapport à la direction de la pesanteur (canal Tilt). Pour que la rotation soit effectivement perçue par l'utilisateur de la plateforme, il convenait de limiter sa vitesse. Enfin le canal HF permettait d'extraire la partie Haute fréquence de la vitesse angulaire qui était ajoutée à la vitesse issue du canal tilt puis intégrée pour obtenir l'angle de rotation désiré à envoyer à la plateforme.

A la question 24, l'application du théorème de la valeur finale à la position de la plateforme conduisait à une position  $P_\infty = \frac{K A_m}{\omega_n^2}$  ce qui ne permettait pas un retour à la position neutre ( $P_\infty = 0$ ) tout comme pour un filtre d'ordre 1.

Les dernières questions ont été assez mal traitées résultant certainement de la fatigue des candidats arrivant en fin d'épreuve.

Connaissant  $P_m$ , le choix de  $\omega_n$  était immédiat à partir du résultat précédent.

Le choix de  $\omega_f$  résultait d'un compromis entre retour rapide à la position neutre et respect des contraintes perceptives. Plus  $\omega_f$  était grand plus le retour était rapide lorsque la plateforme se déplaçait. On trouvait à l'aide de la courbe un déplacement maximum de 9,5 cm qui était en accord avec la course des vérins calculée à la question 17.

La réponse à la question 27 nécessitait le tracé de la réponse impulsionnelle à un système du second ordre amorti qui pouvait se déduire de la figure 10 (réponse à un échelon) en définissant la tangente à l'origine qui était une droite de pente non nulle.  $K$  étant homogène à une vitesse  $H$  correspondait au déplacement maximum réalisé avant retour à la position neutre. Le régime étant amorti, le déplacement serait maximum pour  $\zeta = 1$ .

Pour la dernière question, le canal tilt n'était pas utile car rotation et déplacement étaient liés, ainsi toute rotation s'accompagnerait nécessairement d'un déplacement perceptible par le conducteur. Ainsi le canal tilt générerait de fausses restitutions.