

## 2.2 - Épreuves écrites

### 2.2.A - PHYSIQUE I - Filière MP

#### I) REMARQUES GENERALES

Ce problème comportait quatre parties qui étaient très largement, voire totalement indépendantes les unes des autres.

La partie I mettait essentiellement en œuvre des notions de mécanique du point, issues du programme de la première année.

La partie II traitait toujours de mécanique, mais faisait intervenir aussi des éléments de la mécanique du solide, au programme de 2<sup>ème</sup> année.

La partie III, qui abordait l'effet dynamo, utilisait des connaissances de magnétostatique au programme de MPSI et faisait ensuite intervenir l'induction et les forces de Laplace, au programme de MP.

La partie IV était pratiquement une question de cours sur la propagation des ondes électromagnétiques dans les plasmas, issue du programme de MP.

Ce problème faisait donc appel à des connaissances correspondant à des domaines variés du programme de physique des deux années de classes préparatoires. Nous ne saurions trop rappeler aux candidats qu'ils sont évalués non seulement sur le programme de "Spéciale", mais également sur celui de "Sup".

La lecture des copies a suggéré aux correcteurs les remarques et conseils suivants :

- présentation des copies : il convient de veiller à la lisibilité, de faire un effort de mise en évidence des résultats, de passer une à deux lignes entre les différentes questions afin d'aérer la présentation ; enfin, il faut absolument numéroté la question que l'on traite et éviter de se tromper dans cette numérotation !

- présentation des calculs : ils ne doivent en aucun cas prendre l'allure d'un fouillis inextricable ; concis, structurés et argumentés, ils doivent présenter les étapes utiles à la compréhension de leur développement, en faisant clairement apparaître le point de départ, les hypothèses du texte là où elles interviennent pour justifier le passage à la ligne suivante, de même lors de l'utilisation éventuelle d'un résultat précédent. La conclusion doit être soulignée, voire encadrée : l'usage de la règle est à promouvoir...

- qualité de la rédaction : les candidats doivent comprendre que les réponses aux questions demandant d'établir un résultat fourni par l'énoncé ne sont pas évaluées selon les mêmes critères que celles consistant à établir une relation que le texte ne donne pas. Dans le premier type de questions, ce sont bien évidemment la qualité de la rédaction et la rigueur de l'argumentation qui priment sur l'obtention d'un résultat, parfois de façon plutôt miraculeuse, au terme de calculs illisibles et / ou inextricables (voir plus haut). D'une façon plus générale, aucune affirmation dogmatique, même assenée avec force et conviction, ne saura jamais revêtir un quelconque caractère de preuve !

- rigueur des notations : l'oubli des flèches sur les grandeurs vectorielles est encore trop courant et les égalités entre vecteurs et scalaires sont à proscrire...

- illustration des raisonnements et des réponses : même s'ils ne sont pas explicitement demandés par l'énoncé, les schémas clairs (et donc de dimensions "supra-philatéliques" !) sont toujours bienvenus pour indiquer la direction et le sens d'une force (ex : la force de Laplace demandée à la question 19), voire indispensables pour préciser les conventions d'algébrisation relatives à une f.e.m. induite ou à un courant (cf. questions 18, 19, 22) ;

- attitude (auto)critique : il convient de vérifier, à chaque fois que c'est possible, la vraisemblance d'un résultat : par exemple, une force de Laplace est orientée conformément à la "règle des trois doigts". Si elle résulte de phénomènes dissipatifs (induction et effet Joule), son action ne saurait être motrice (cf. question 21) !

- applications numériques : elles constituent pour le candidat une occasion de gagner rapidement un complément de points non négligeable. C'est donc une erreur stratégique de ne pas les fournir lorsque le résultat littéral a été établi. Elles ne demandent qu'à être mis en œuvre avec les valeurs fournies par le texte. Encore faut-il faire attention aux unités : l'unité SI de longueur n'est pas le kilomètre, celle de masse est bien le kilogramme, celle des angles est le radian et non le degré. Quant au nombre de chiffres significatifs (sauf rarissime exception), on ne doit jamais recopier l'intégralité des chiffres affichés par la calculette, la précision d'un résultat étant directement liée à celle des données ayant servi à l'établir. Il est également impératif d'indiquer les unités, sous peine de nullité de la réponse !

- qualité de finition : il faut absolument éviter les réponses "en kit", sur le mode "do it yourself", mais présenter les résultats sous une forme aboutie : à titre d'exemple, la question 10 demandait l'expression des forces d'inertie de Coriolis en fonction des grandeurs  $m$ ,  $\Omega$ ,  $\overline{SM_1}$ ,  $\overline{SM_2}$ , et  $\dot{\theta}$ ; la

réponse  $\mathbf{f}_{c2} = -2 m \Omega \dot{\theta} \overline{e_z} \wedge (\overline{e_z} \wedge \overline{SM_2})$  pouvait à la rigueur être considérée comme un point de départ pour la réponse, mais en aucun cas comme un résultat final ;

- "aide-mémoires" : les correcteurs veulent également mettre en garde les candidats contre l'utilisation des résultats et formules stockés dans la mémoire des calculatrices. La 3<sup>ème</sup> loi de Kepler, la relation de dispersion vérifiée par les ondes électromagnétiques dans les plasmas, voire même la valeur de  $c$  avec 10 chiffres significatifs, sont autant d'exemples qui n'ont guère fait illusion, mais qui ont à chaque fois jeté un voile de suspicion sur l'honnêteté du candidat...

## **II) REMARQUES PARTICULIERES**

Ces remarques concernent les principales difficultés, question par question.

### **PARTIE I**

1. La précision du référentiel choisi pour conduire l'étude a rarement été donnée. Lorsqu'elle l'était, le référentiel choisi était souvent le référentiel terrestre, alors que la suite de la question était manifestement traitée dans le référentiel géocentrique. Rappelons que la mention "galiléen" ne définit pas le référentiel d'étude, mais une qualité que l'on prête au référentiel choisi doit être défini par ailleurs (Kepler, Copernic, géocentrique, terrestre, etc.). Il n'était pas non plus inutile dans cette question de préciser la base de projection utilisée. Cette question a donné lieu à de très fréquents "parachutages" de la 3<sup>ème</sup> loi de Kepler. La confusion entre l'altitude  $h$  et le rayon orbital  $R + h$  a été le fait de bien des candidats. De fait, trop de candidats ne se sont pas donné la peine d'établir correctement l'expression de  $T$  et  $v$  en fonction de  $h$ .

2. La résolution de cette question a souvent été très confuse et a souvent servi à trouver  $v(h)$  pour la question précédente... Beaucoup de candidats ont ferraillé pour rétablir l'expression du potentiel en  $-1/r$ .

3. Cette question, plutôt bien traitée dans l'ensemble, a donné lieu à quelques confusions entre sinus et cosinus, voire tangente. Pour l'application numérique, il semble que certains candidats n'aient pas veillé à l'unité d'angle définie sur leur calculatrice (degré au lieu de radian), très importante lorsqu'une formule fait intervenir un arccosinus...

4. Egalement bien traitée en général, cette question a suscité chez certains candidats des problèmes d'applications numériques (probablement liés au calcul d'arccosinus en degrés au lieu de radians, comme à la question précédente...).

5. La notion de satellite géostationnaire devient parfois très douteuse, et lorsque la définition est proprement donnée, on voit apparaître des résultats totalement fantaisistes. Tous les candidats ne savent pas retrouver l'altitude d'un satellite géostationnaire. Il s'agit pourtant d'un exercice du niveau de la classe de Terminale ! L'altitude de 36000 km est souvent apparue sans calcul, sortie tout droit de la mémoire... du candidat ? On a également appris que la Terre tourne sur elle-même en 365 jours et des applications numériques ont conduit à des satellites se trouvant hors du système solaire sans que cela choque beaucoup le candidat... Avoir laissé les distances en km a été la principale source d'erreur... La mauvaise couverture des régions polaires et de latitudes élevées est peu mise en avant comme inconvénients des satellites géostationnaires.

6. La dimension de  $\alpha$  a donné lieu à bien des fantaisies, dont certaines, parfaitement exactes, auraient mérité quelques simplifications (par exemple :  $[\alpha] = \text{N.s}^2.\text{kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$ ). Le travail de la force gravitationnelle a souvent été considéré comme nul (alors que le résultat de la question, même erroné, conduisait à une variation de l'altitude, via une équation différentielle en  $h(t)$ ...). L'écriture du théorème de l'énergie cinétique qui s'ensuivait était donc nécessairement fausse (on aboutissait notamment à une élévation de l'altitude par frottement !). On a pu aussi découvrir des calculs d'énergie potentielle pour la force de frottement !

7. Cette question fut rarement bien traitée, malgré le fait qu'une des sous-questions relevait de la simple application de "la règle de 3". Le calcul exact de  $\alpha$ , par la résolution de l'équation différentielle en  $h(t)$  a rarement été fait.

8. Cette question fut très rarement abordée, et avec un succès encore plus rare.

## **PARTIE II**

9. Question correctement traitée en général.

10. Cette question a révélé que la notion de forces d'inertie reste très floue pour beaucoup de candidats. Une erreur de signe dans le résultat de la force centrifuge et de la force de Coriolis était fréquente, ainsi que l'oubli de la masse  $m$  dans l'expression des forces d'inertie. Le référentiel de dérivation a souvent été omis dans l'expression de la vitesse figurant dans l'accélération de Coriolis, de même que le facteur 2.

Il convient également de développer les expressions du type  $-m(\vec{\Omega} \wedge (\vec{\Omega} \wedge \vec{r}))$  en  $m\Omega^2 \mathbf{r}$ .

11. Cette question a été de manière très regrettable l'occasion de maintes et vaines tentatives d'escroqueries portant sur l'établissement de l'expression du couple  $\Gamma$  donnée par le texte.

12. Cette question et les deux suivantes ont été assez bien comprises, mais le signe de  $\Gamma$  était souvent faux. Parfois, néanmoins, il a été intuitivement introduit le signe -.

13. La discussion sur la stabilité a été quelques fois curieuse. Les candidats ont bien identifié la position d'équilibre stable comme correspondant à la valeur nulle de l'angle (comme cela était indiqué dans le texte), même si cela était totalement contradictoire avec le résultat qu'ils avaient trouvé (suite à l'erreur de signe dans l'expression du couple de rappel)...

14. Les candidats qui ont abordé cette question l'ont fait généralement avec succès.

15 et 16. Ces questions n'ont pour ainsi dire jamais été abordées et encore moins correctement menées à bien.

## **PARTIE III**

17. Peu de copies présentaient clairement et/ou de manière exacte l'orientation du champ magnétique terrestre sur le schéma demandé. Pratiquement aucune copie ne comportait de remarque relative aux pôles magnétiques réels présents au Nord et au Sud géographiques.

18. La force électromotrice induite est parfois apparue sous la forme de la loi de Faraday  $e = -\frac{d\phi}{dt}$ , alors que la situation ne présentait aucun circuit fermé. Un schéma simple aurait été le bienvenu pour préciser la convention d'algébrisation concernant la f.e.m. obtenue. L'erreur concernant la longueur de la tige ( $2l$  et non  $l$ ) a souvent été rencontrée.

19. Un schéma précisant le sens du courant et l'orientation de la force de Laplace était indispensable à un exposé correct de cette question. Fort peu de candidats ont hélas pris cette initiative.

20 à 24. Ces questions n'ont été abordées avec un certain succès que dans les très bonnes copies. Les valeurs numériques proposées étaient souvent fausses.

## **PARTIE IV**

25. Concernant les importances relatives de la force magnétique et de la force électrique, la condition  $\frac{v}{c} \ll 1$  a été souvent affirmée sans justification. On rappelle qu'on ne peut physiquement comparer que deux grandeurs de même dimension. Ainsi la condition  $v \ll 1$  ou  $vB \ll 1$  ne voulait pas dire grand chose. Concernant les expressions des vitesses  $\vec{v}_e$ ,  $\vec{v}_i$  et de la densité volumique de courant  $\vec{j}$ , il était maladroit de repasser en notations réelles. La propreté de la résolution laissait souvent à désirer.

26. L'argument  $\rho = 0$  n'a pas toujours été mis en avant ni justifié lors de l'écriture, puis de l'utilisation des équations de Maxwell, ni lors de l'établissement de l'équation de propagation du champ électrique. La relation de dispersion, presque toujours exacte, émergeait souvent miraculeusement après des considérations pas toujours très rigoureuses, voire parfois totalement erronées.

27. La relation entre fréquence et pulsation n'est pas connue (et c'est sur plus de la moitié des candidats !). On a pu découvrir du  $f = \omega$  ou  $f = 2\pi \omega$ ... La discussion sur la condition de propagation qui relevait du cours a souvent été bien menée.

28. Cette question a été bien traitée dans l'ensemble. Mais certaines copies présentaient de flagrantes erreurs d'homogénéité comme  $v_g v_\phi = 1/c^2$ , dues à des erreurs de calcul... Ajoutons que le fait que  $k$  dépende de  $\omega$  ne suffit pas à justifier le caractère dispersif du milieu ! De même, dire que la relation entre  $k$  et  $\omega$  n'était pas « simple » ne constituait en rien une preuve rigoureuse de la dispersivité du milieu...

29. Cette question qui comportait une application numérique aisée et une évaluation d'ordre de grandeur n'a été que très peu souvent abordée.

30. Cette question a été très rarement abordée et pratiquement jamais avec succès.

Globalement, la partie IV n'a pas été aussi bien traitée qu'elle aurait dû l'être, sachant qu'il s'agissait d'une question de cours, à l'intérieur de laquelle on guidait le candidat par des questions intermédiaires classiques.

## **III. CONCLUSION**

Nous reprendrons les conclusions des précédents rapports sous forme de conseils généraux qui aideront les candidats à mieux aborder les sessions à venir :

- lire et relire le texte en cours de résolution, car des informations, non décelées en première lecture, peuvent être utiles voire indispensables à une bonne résolution du problème. De même, des résultats donnés par la suite peuvent conforter le candidat dans ses propres résultats ;
- éviter les commentaires trop longs, hors sujets, et les calculs non demandés ;
- réfléchir sur le résultat d'un calcul (homogénéité, ordre de grandeur, unité et précision) ;
- donner les résultats en fonction des variables précisées par le texte à chaque fois que tel est le cas, sinon toujours essayer de simplifier au maximum l'expression du résultat ;
- s'appliquer à rédiger correctement et rigoureusement, de façon concise mais claire, en soignant la présentation des résultats et la numérotation des questions ;
- Ne pas rester trop longtemps bloqué sur une question ou une partie. Passer à la suivante, en changeant de page ou de feuille, de manière à pouvoir y revenir en fin d'épreuve, tout en présentant les questions dans l'ordre de leur numérotation. Souvent, les réponses aux questions posées s'éclairent à la lecture ou à la résolution des questions suivantes. Les problèmes incluent fréquemment des questions qui peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.