

Composition de Physique, Filière MP

Rapport de MM. Florin CONSTANTIN et Thierry MELIN, correcteurs

Cette épreuve porte sur la description de quelques aspects de la fusion contrôlée au sein d'un tokamak : étude cinématique de la réaction de fusion, modélisation de la distribution de pression dans le tokamak, étude d'un procédé de chauffage de plasma, et technique de confinement magnétique des particules chargées.

Ces aspects étaient décrits en quatre parties totalement indépendantes. Les parties **II**, **III** et **IV** ont été très diversement traitées par les candidats selon leurs choix ou leurs affinités avec le sujet, avec deux conséquences. D'une part, des notes au-dessus de la moyenne ont pu être obtenues par des copies tout à fait "différentes", ayant privilégié l'un ou l'autre des aspects de ce problème. D'autre part, l'épreuve s'est avérée très sélective pour les candidats au-dessus de la moyenne, en faisant ressortir fortement les candidats capables d'aborder efficacement les quatre parties du problème dans le temps imparti.

Les notes N se répartissent selon le tableau suivant :

MP et PC

$0 \leq N < 4$	204	13,9%
$4 \leq N < 8$	541	36,8%
$8 \leq N < 12$	458	31,1%
$12 \leq N < 16$	211	14,3%
$16 \leq N < 20$	57	3,9%
Total	1471	100 %
Nombre de candidats : 1471		
Note moyenne : 8,26		
Écart-type : 3,99		

Quelques remarques générales :

Quelques questions nécessitant des réponses qualitatives (**III.1.c**, **IV.1.a**) ou quantitatives (**I**, **II.3.c** ou **IV.1.b** et **c**) donnent souvent le ton des copies quant à la qualité ou la rigueur des candidats. Nous rappelons ici quelques qualités essentielles attendues de la part de bonnes copies, et qui font au fil des questions partie intégrante du barème de notation d'une telle épreuve.

- la rédaction des réponses met en valeur ou permet au correcteur de juger le raisonnement et la démarche scientifique des candidats. Ceci est souvent flagrant sur des questions très proches du cours (par exemple **III.1.b**) pour lesquelles certains candidats omettent des calculs qu'ils considèrent probablement comme acquis, mais donnent des réponses non justifiées, qu'elles soient fausses ou correctes. La faculté

de rédiger de manière concise, c'est-à-dire rigoureuse mais sans développements excessifs, est souvent un trait propre aux bonnes copies.

- le bon sens physique doit être privilégié en permanence. Par exemple, une analyse critique des résultats des applications numériques obtenues aurait pu épargner nombre de candidats d'indiquer par exemple des vitesses supérieures à celle de la lumière en **I.2**, des pressions négatives en **II.3.c**, ou oublier les unités de mesure adaptées. Rappelons surtout que ce bon sens permet également aux candidats de pouvoir détecter rapidement bon nombre d'erreurs, et donc d'augmenter leur chance de succès.
- enfin, éviter de conclure 'sans transition' un calcul en échec ... par le résultat correct fourni par l'énoncé, comme l'ont par exemple fait de trop nombreux candidats à la question **IV.2.f**.

Partie I

1. Très peu de candidats ont fait d'emblée usage des lois de conservation de l'énergie et de la quantité du mouvement. L'énergie cinétique des particules créées a été très souvent calculée comme une fraction de E_f à partir de la stoechiométrie de la réaction de fusion, d'une loi proportionnelle avec les masses des produits de réaction, voir simplement d'une répartition moitié-moitié, et donc sans que les masses des particules y jouent un rôle quelconque ...

2. Cette simple application numérique aurait été menée à bien une fois que les valeurs des énergies cinétiques de **I.1** étaient bien déterminées. Certains candidats vigilants comparent spontanément leurs résultats numériques avec la célérité de la lumière pour justifier l'utilisation d'une approximation non-relativiste.

Partie II

1. Cette simple question de cours a été en général réussie. Toutefois, un nombre certain de candidats se sont mépris sur la charge du deutéron, ou ont confondu la masse volumique et la densité volumique des particules dans l'expression de la densité de courant, ou encore ont donné des expressions "au signe près".

2.a. Si l'expression de la densité des forces de Lorentz n'a pas posé de problèmes en général, le gradient de la pression semble plus difficile à appréhender. Par ailleurs, les raisonnements font souvent intervenir le poids des ions et des électrons dans un premier temps, mais tous les candidats se rendent compte ensuite que ce poids est négligeable dans le contexte de ce problème.

2.b. Question souvent réussie lorsque la question **II.2.a** l'a été. Si la majorité des candidats utilisent l'orthogonalité entre la direction du gradient de pression et les surfaces

isobares, certains admettent curieusement que les lignes de champ sont colinéaires aux lignes de courant...

3.a. Cette question de cours a été en général assez bien réussie, même si seulement un candidat sur deux environ fait usage de la symétrie cylindrique du problème pour justifier l'orientation du champ magnétique additionnel. Le calcul du champ à l'intérieur, voire à l'extérieur du tore pour les candidats les plus scrupuleux, a été bien traité. Certains candidats ont éludé la constante μ_0 dans l'expression du théorème d'Ampère, sans se soucier de l'homogénéité des équations.

3.b. Question sans difficulté, lorsque les questions **II.2.a** et **II.3.a** ont été réussies, et si un minimum d'attention a été accordé lors de l'intégration de l'équation différentielle de la pression.

3.c. Il s'agit ici d'une simple application numérique. Il est étonnant de voir des candidats qui, suite à un mauvais résultat en **II.3.b**, présentent sans souci au correcteur une valeur négative de la pression.

4.a. La majorité des candidats ont obtenu la valeur numérique de la température requise pour la fusion thermonucléaire, ou du moins son ordre de grandeur. Les plus vigilants n'ont pas été intimidés par l'ordre de grandeur du résultat et font des commentaires physiques de bon sens.

4.b. Très peu de candidats ont pu déterminer la durée qui permet que le critère de Lawson soit vérifié.

Partie III

1.a. La dérivation du champ à partir du potentiel électrique a trop souvent été donnée au signe près.

1.b. Lorsque la question **III.1.a** a été réussie, la plupart des candidats se sont contentés d'un calcul aboutissant à une équation différentielle indépendante du temps. L'énergie du système a été souvent déterminée en la "primitivant", sans préciser le choix de l'origine de l'énergie potentielle.

1.c. Une fois le résultat du **1.b.** entériné, les candidats ont discuté le signe de l'énergie totale, ce qui leur a permis ensuite d'identifier les mouvements possibles. Le peu de commentaires physiques rencontrés dans les copies montre que le concept de portrait de phase est souvent mal utilisé, malgré son avantage incontestable pour la discussion requise. Les rares candidats qui ont tracé le portrait de phase ont essayé de s'appuyer sur l'exemple du pendule simple traité en cours, et qui a été adapté plus ou moins brillamment. Très peu de copies ont donné une équation exemptée d'erreurs pour la courbe séparatrice entre les deux types de mouvement. Cette question a été l'une des plus sélectives du sujet.

1.d. On s'est souvent contenté ici d'effectuer le changement de référentiel et de consta-

ter une conséquence du mouvement oscillatoire des particules piégées. Très peu de candidats ont saisi l'occasion de mettre à profit le tracé du portrait de phase effectué à la question précédente.

2.a. Il est étonnant de constater le nombre de candidats qui n'ont pas su tracer ce graphique correctement et avec rigueur : axes sans étiquette, représentation uniquement pour $v_x > 0$, allure d'exponentielle décroissante. Très peu de candidats estiment l'ordre de grandeur de la largeur de la Gaussienne.

2.b. Les candidats ont remarqué en général un effet de changement de la distribution de vitesses au voisinage de la vitesse de phase. Le raisonnement demandé ici restant en définitive assez simple sur la base du graphe établi au **2.a.**, cette question a pu être abordée avec succès par des copies n'ayant pas traité le **III** dans son intégralité.

2.c. Les réponses ont pu être aussi diverses qu'étonnantes : la vitesse de la lumière ("justifiée" par le fait que la température est proportionnelle avec un carré d'une vitesse), ou encore, la vitesse correspondant à $p(v_x)$ maximale. Ces réponses témoignent des difficultés des candidats en thermodynamique.

Partie IV

1.a Simple question de cours. La conservation de l'énergie mécanique a été démontrée par la plupart des candidats, bien que certains aient pu affirmer le contraire.

1.b Il s'agit ici encore d'une question de cours, certes calculatoire, et qui a été diversement réussie par les candidats : des équations du mouvement incomplètes ou à un signe près, voire avec des dépendances quadratiques. L'allure (hélicoïdale) de la trajectoire, ainsi que le sens de giration ont été rarement explicités.

1.c Applications numériques souvent réussies, bien qu'il faille rester toujours vigilant quant à la pertinence des ordres de grandeur, des signes (ici toujours positifs), des unités de mesure...

1.d Beaucoup de candidats auraient pu éviter des erreurs sur le signe du résultat à l'aide d'un dessin précisant le sens de giration et le sens du moment magnétique μ associé.

1.e Question bien réussie, quoique quelquefois au signe près, par l'ensemble des candidats.

2.a Les justifications associées à la dérivation du vecteur \vec{b} ont été souvent oubliées.

2.b Simple application du principe fondamental de la dynamique utilisant les résultats de **IV.2.a**.

2.c Lorsque le résultat est déjà donné dans l'énoncé, il serait souhaitable que les candidats prennent le soin de détailler chaque étape du calcul.

2.d Les copies prennent souvent uniquement en compte la contribution de la vitesse transverse dans l'expression de l'énergie cinétique, puis affirment que cette vitesse est constante, et donc μ aussi.

2.e La force induite par la composante transverse de la vitesse a été rarement explicitée.

2.f Question calculatoire qui a été réussie par peu de candidats. Comme le résultat était donné, il aurait été souhaitable que les candidats détaillent rigoureusement toutes les étapes du calcul ainsi que les approximations effectuées.

3.a Les candidats font bon usage des symétries pour déterminer l'orientation du champ magnétique. Curieusement, certains ont utilisé la loi de Biot-Savart pour calculer le champ dans le tore en sommant les champs générés par chaque spire.

3.b Peu de candidats ont déterminé correctement l'expression de la composante transverse de la vitesse et formulé les commentaires demandés.

3.c Il est étonnant de constater le nombre de candidats qui n'ont pas employé les bonnes expressions pour des composantes en coordonnées cylindriques de l'accélération.

3.d Question de cours, réussie par la plupart des candidats.

3.e Si la première intégration a été réussie par une majorité de candidats, la seconde étape d'intégration a été moyennement réussie et le lien avec l'énergie cinétique a été rarement explicité.

3.f Relativement peu de candidats ont répondu bien à cette question.

4.a Très peu de candidats y ont répondu, bien qu'un simple dessin indiquant les composantes des champs magnétiques issues des différentes sources auraient pu les aider.

4.b Question qui demandait la compréhension de la démarche de l'ensemble du sujet et ouvrait la porte vers beaucoup de commentaires physiques. Quelques candidats ont justifié comment une particule guidée par les champs magnétiques reste confinée dans le tore.