

**Composition de Physique, Filière MP
(XULC)**

**Rapport de MM. Freddy BOUCHET, Tristan BRIANT, François DEVREUX
et Nicolas TABERLET, correcteurs.**

La composition de physique portait cette année sur les techniques de résonance magnétique nucléaire, utilisées notamment en imagerie médicale (IRM). Elle faisait appel principalement au cours d'électromagnétisme, et dans une moindre mesure à ceux de thermodynamique et de mécanique.

Les notes des candidats se répartissent selon les données du tableau suivant :

$0 \leq N < 4$	142	7,90 %
$4 \leq N < 8$	552	30,72 %
$8 \leq N < 12$	655	36,45 %
$12 \leq N < 16$	372	20,70 %
$16 \leq N \leq 20$	76	4,23 %
Total	1797	100 %
Nombre de copies : 1797		
Note moyenne : 9,22		
Ecart-type : 3,81		

Dans l'ensemble, la partie II relative à la supraconductivité a été traitée avec succès. Les résultats sont plus mitigés pour les parties I et III et franchement faibles pour la partie IV qui a été peu et mal traitée. De manière générale, les candidats ont trop souvent tendance à se lancer sans réfléchir dans des calculs algébriques (où ils risquent de se perdre) plutôt que de procéder à une analyse de la question posée qui peut leur apporter une solution plus simple, plus sûre et plus rapide.

I. Production de champs magnétiques intenses et homogènes

I.1 Plus de la moitié des candidats oublient de mentionner l'invariance par rotation autour de l'axe z de la composante j_θ .

I.2 En affirmant que $\mathbf{B}$ est selon z , beaucoup de candidats considèrent le solénoïde comme infini, ce que ne supposait nullement le texte.

I.3 L'intégration de la formule de Biot et Savart conduit de nombreux candidats à leur perte, alors que l'utilisation du théorème d'Ampère fournissait une solution élégante sans aucun calcul.

I.4 Beaucoup se contentent de donner la puissance par unité de volume. Quelques-uns posent une intégration sur z, r et θ pour calculer le volume du tore.

I.5 Il n'était pas franchement nécessaire d'effectuer une dérivation, source d'éventuelles erreurs de calcul, pour conclure que $(R_2 + R_1)/(R_2 - R_1)$ est minimum lorsque le rayon R_1 est nul.

I.6 Des calculs erronés conduisent certains candidats à annoncer des valeurs assez surprenantes pour la puissance d'un radiateur électrique, le record étant de 150 GW.

I.7 Il ne suffisait pas d'affirmer qu'il fallait augmenter le rayon externe du solénoïde pour minimiser l'élévation de température, il fallait le justifier par des considérations physiques sur sa capacité thermique, ou mieux sur sa capacité d'échange avec l'extérieur.

I.8 & I.9 La plupart des candidats ont vu la raison de la rupture de l'antisymétrie et tracé correctement l'allure du champ magnétique, mais peu ont proposé des solutions efficaces pour pallier la non-axialité et l'inhomogénéité du champ.

I.10 Les candidats (peu nombreux) qui traitent cette question parviennent à démontrer l'homogénéité de B_z , mais beaucoup plus rarement la nullité de B_r .

II. Utilisation de supraconducteurs

II.1 – II.3 Questions faciles, très largement réussies. Certains candidats vérifient par l'équation aux dimensions que λ est bien une longueur. C'est un excellent réflexe.

II.4 Comme toujours, les applications numériques, peu nombreuses dans ce problème, jouent des tours à une proportion non négligeable de candidats (environ 30%).

II.5 & II.6 Questions faciles également. Cependant, l'orientation du champ magnétique et celle de la densité de courant ne sont pas toujours précisées et certains n'hésitent pas à affirmer que le résultat explique bien l'effet Meissner alors qu'ils ont obtenu une solution en $\cos(x/\lambda)$ ou une valeur de λ égale à 10^8 m à la question II.4.

III. Moments magnétiques et aimantation

III.1 Plus de 20% des copies comportent une erreur de signe ou proposent un produit vectoriel à la place du produit scalaire pour l'expression de l'énergie d'interaction.

III.2 Les réponses sur l'orientation du moment magnétique qui minimise l'énergie ne sont pas toujours en accord avec l'expression de l'énergie donnée à la question précédente.

III.3 Il en est de même pour l'expression de cette même énergie en fonction de θ et ϕ . La notion d'angle solide reste floue pour beaucoup de candidats : on trouve $d^2\Omega$ proportionnel à r ou à r^2 ou encore égal à $d\theta d\phi$.

III.4 Application numérique simple très majoritairement réussie.

III.5 La réponse était quasiment incluse dans la question.

III.6 Question un peu technique qui n'a été traitée complètement que par une faible minorité de candidats. Les correcteurs ont toutefois accordé une partie des points aux réponses exactes à un coefficient numérique près.

III.7 La plupart des candidats savent que le couple est donné par le produit vectoriel du moment magnétique et du champ, l'ordre des termes étant plus flou.

III.8 Beaucoup d'erreurs de signe dans l'expression de la fréquence de Larmor en fonction du champ.

III.9 Un certain nombre de candidats donnent l'expression de la pulsation cyclotron apprise en cours, sans tenir compte qu'il s'agit ici de protons et non d'électrons, ce qui les conduit à une erreur de trois ordres de grandeur dans l'évaluation de la fréquence angulaire.

IV. Résonance magnétique

IV.1 La question comportait deux aspects, la généralisation du résultat de la question III.8 en présence du champ $\mathbf{B}_1(t)$ et la sommation des moments individuels pour obtenir l'aimantation. Certains candidats procèdent plus par affirmation (le résultat étant donné dans l'énoncé) que par démonstration.

IV.2 Le changement de repère pose problème à beaucoup de candidats. A partir de cette question, le taux de réponses diminue fortement (sauf question IV.6).

IV.3 & IV.4 Questions qualitatives qui demandaient de prendre un peu de recul par rapport aux équations pour dégager ce qu'elles signifiaient concrètement. Un exercice que les candidats n'aiment pas et pratiquent mal.

IV.5 Beaucoup de candidats ne savent pas situer correctement le domaine de fréquence dans le spectre électromagnétique.

IV.6 Question de cours indépendante des résultats précédents. Les unités données pour la norme du vecteur de Poynting sont parfois fantaisistes (Joule, Watt,...).

IV.7 La question n'était pas difficile si l'on avait su traiter correctement la question IV.4.

IV.8 Celle-ci l'était un peu plus. Il fallait comprendre que l'inhomogénéité du champ magnétique $\mathbf{B}_0$ avait pour effet de disperser les fréquences de Larmor et, par voie de conséquence, les orientations des moments magnétiques dans le repère tournant.

IV.9 Seules quelques excellentes copies ont expliqué correctement le principe de l'écho de spin qui permet de refocaliser toutes les composantes de l'aimantation, même en présence d'inhomogénéité du champ $\mathbf{B}_0$.

IV.10 L'intégration formelle de ces équations différentielles ne posaient pas de difficultés, mais le tracé des courbes de variation des aimantations nécessitait de comprendre ce qu'elles représentaient.

IV.11 Très peu de copies ont traité cette ultime question qui était pourtant abordable à partir de la question IV.10, même si l'on n'avait pas totalement compris les subtilités de l'écho de spin.