

Session 2020 – Concours PSI – Épreuve Physique U (6h)
Jury : Camille Aron, Tom Bienaimé, Erwann Bocquillon

Moyenne : 7,13
Écart-type : 4,72

Descriptif du sujet :

L'épreuve de cette session portait sur certains aspects de la théorie du micromagnétisme et ses applications à une nouvelle génération de mémoires informatiques (Magnetic Random Access Memory, MRAM).

Le sujet était divisé en trois parties largement indépendantes.

La première partie traitait des aspects statiques, recensant les différentes contributions à l'énergie d'un domaine micromagnétique (dans un ordre de difficulté croissante), dérivant les équations régissant les états d'équilibre (équations de Brown), et les résolvant dans le cas d'une interface entre deux domaines à l'aimantation opposée.

La seconde partie concernait la dynamique de l'aimantation dans le cas où le champ de l'aimantation d'un domaine micromagnétique est spatialement uniforme. La seule précession de Larmor du vecteur aimantation autour de son champ magnétique effectif ne pouvant l'amener à relaxer vers un état d'équilibre, l'addition d'une contribution dissipative aux équations du mouvement s'imposait. On vérifiait par un calcul perturbatif que cette contribution (faible mais finie) permettait effectivement de rendre compte de la relaxation vers l'équilibre, avec pour effet une trajectoire en spirale du vecteur aimantation autour et vers la direction du champ magnétique effectif.

La troisième et dernière partie abordait une application du micromagnétisme aux mémoires informatiques à travers un dispositif où l'information est stockée sur l'aimantation d'un domaine micromagnétique. L'orientation de l'aimantation est manipulable via un échange de moment cinétique avec un courant électrique polarisé en spin qui traverse le dispositif. Les courants nécessaires pour aligner l'aimantation dans un sens ou un autre étaient calculés. Finalement, on envisageait les effets d'agitation thermique sous la forme d'une loi d'activation d'Arrhenius qui déstabilisent l'aimantation, et donc dégradent l'information préalablement stockée. On en déduisait une taille minimale du dispositif pour qu'il se comporte comme une mémoire fiable à température ambiante.

Remarques générales :

Fig. 1 -- Histogramme des notes

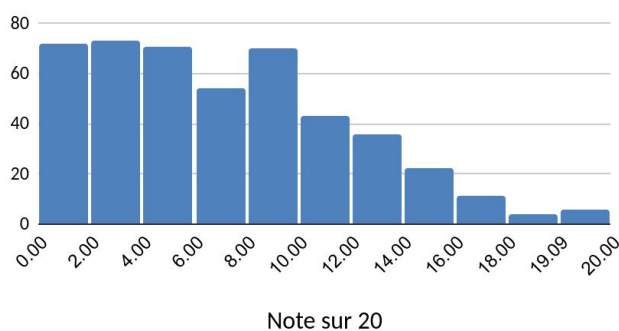
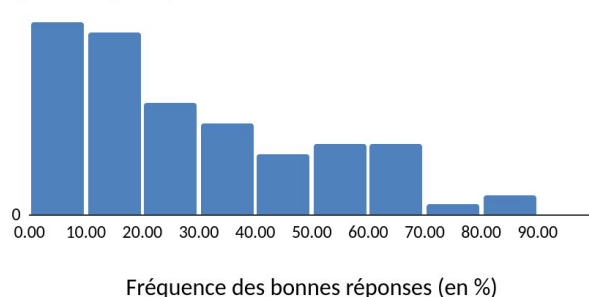


Fig. 2 -- Histogramme des fréquences de bonnes réponses par question



L'épreuve était adaptée pour classer les meilleurs candidats. La figure 1 présente l'histogramme des notes. Toutes les questions ont reçu une réponse satisfaisante au moins une fois. La figure 2 présente l'histogramme des fréquences de bonnes réponses par question.

Le jury est conscient du caractère exceptionnel de cette session 2020, tant du point de vue de la forme des épreuves que du niveau de préparation des candidats. En l'absence d'épreuves orales, le jury a porté un soin tout particulier à l'établissement d'un barème de correction précis et d'une procédure d'harmonisation rigoureuse.

Malgré ces conditions inhabituelles, le jury se félicite des bonnes copies qu'il a eu le plaisir de corriger, qui alliaient soin, rigueur et maîtrise du cours, ainsi qu'une bonne culture physique qui permettait une navigation plus aisée entre les concepts de ce sujet.

Les meilleures copies répondent de manière concise mais avec toutes les justifications nécessaires montrant que les points essentiels sont compris. Une réponse plus longue et moins précise pourra être comptée juste, si l'ensemble est correct, mais le surcroît de temps passé sera préjudiciable en empêchant les candidats d'aborder une part suffisante de l'épreuve. Nous avons constaté que certains candidats ont très bien traité une partie du sujet jusque dans ses questions les plus difficiles (par exemple la fin de la première partie qui demandait dextérité et autonomie), mais pas assez rapidement pour gagner des points sur les autres parties. Cette observation nous semble quelque peu regrettable mais il s'agit certainement d'une limite de la sélection des candidats par des épreuves écrites uniquement.

Comme trop souvent, plusieurs remarques déjà faites dans les précédents rapports ont été ignorées par une grande partie des candidats. Le jury incite fortement les candidats à l'École Normale Supérieure à lire attentivement les rapports pendant leur préparation.

Nous énumérons ici rapidement quelques unes de ces remarques :

- le soin apporté à une copie influence fortement l'opinion du correcteur sur celle-ci. Une copie bien organisée, une écriture lisible, des résultats soulignés ou encadrés, facilitent le

travail d'évaluation du correcteur. Si des passages doivent être rayés, il convient de le faire proprement.

- la rédaction scientifique doit être précise et rigoureuse : les pages de calcul enchaînées sans le moindre connecteur logique sont à proscrire. On attend des candidats d'expliquer leur raisonnement, pas de calculer aveuglément. Le jury a notamment sanctionné les "passages en force" sur les questions faisant appel à l'analyse vectorielle. Cette année encore, le jury a remarqué un nombre significatif de copies assez longues et saturées de calculs mal justifiés, avec une majorité de réponses incorrectes.

- l'écueil opposé est aussi à éviter : les questions pour lesquelles le sujet appelle à répondre de manière brève et qualitative ne doivent pas donner lieu à des développements trop longs.

- un résultat non homogène est un résultat faux. On évitera ainsi les résultats mêlant valeurs numériques et expressions littérales, ces mélanges perdant généralement toute trace d'homogénéité. De même, il faut bannir les expressions de type « vecteur = scalaire ». Le sujet nécessitait une rigueur particulière dans la manipulation de vecteurs (aimantation, etc.) et de leurs composantes. Une proportion non négligeable de candidats a mélangé allègrement les deux notions.

- le nombre de chiffres significatifs dans une application numérique fait partie intégralement de la question.

- Le barème est choisi de sorte à n'attribuer que peu de points à des réponses dispersées aux questions « faciles » et à favoriser le traitement correct d'une partie dans son intégralité.

Remarques sur les questions du sujet :

Q4 : Cette question a rarement été correctement traitée (moins de 10% des copies). La justification de l'annulation du terme de premier ordre a été omise la plupart du temps. Les "passages en force" ont été sanctionnés.

Q7/8/13 : ces questions, assez simples aux yeux du jury, ont donné lieu à beaucoup d'approximation. Les positions d'équilibre liées aux énergies Zeeman et d'anisotropie ont trop souvent été vues comme identiques.

Q18 : Les candidats ont ici trop souvent mal répondu en oubliant la dépendance de H_m en M . Le résultat obtenu différait alors d'un facteur 2 avec la solution donnée dans l'énoncé, ce qui a été mis trop rapidement sur le compte d'une erreur d'énoncé. Ce type d'erreur est cependant rare.

Q21 à Q24 : cette série de questions, portant sur les parois de domaine, n'a été que très rarement traitée correctement dans sa totalité car relativement ardue techniquement. Les copies réussissant à obtenir l'épaisseur de la paroi sont souvent de très bonnes copies.

Q25 : l'unité d'un moment cinétique est erronée dans 20% des copies !

Q31 à Q38 : malgré des titres de paragraphes assez explicites, les candidats n'ont pas toujours su faire le lien entre invariance (ou non) par renversement du temps et le caractère dissipatif (ou non) de la dynamique.

Q39 à Q44 : ces questions demandaient au candidat de calculer, pas à pas, la susceptibilité magnétique, et la trajectoire en spirale de la magnétisation. Le calcul de la susceptibilité a dans l'ensemble été bien mené. En revanche peu de candidats ont su ensuite en déduire les

équations paramétriques de la trajectoire, et la représenter graphiquement. Ceux-ci ont été récompensés de cet effort.

Q45 à Q51 : le calcul des différentes quantités des Q45 à Q50 a correctement été effectué dans 15% des copies, mais seulement moins de 5% des candidats ont correctement répondu à la Q50, qui ne nécessitait pourtant aucun calcul supplémentaire mais uniquement une bonne compréhension du phénomène physique en jeu et des résultats obtenus aux questions précédentes. Le barème a favorisé les copies correspondantes.

Q52 à Q59 : située en fin de sujet, cette série de questions peu calculatoires a peu été traitée, même si ceux qui s'y sont aventurés ont plutôt bien répondu. 1% des candidats peuvent se targuer d'avoir correctement répondu à la Q59 qui clôturait le sujet avec une estimation de la taille typique d'un bit de MRAM.