

Production et mesure de champs magnétiques.

Correcteurs : Arnaud Le Diffon¹ et Etienne Thibierge²

Montage présenté le vendredi 8 février 2013

Extraits des rapports du jury

Je vous rappelle que le rapport 2012 de l'épreuve de montage s'attache à présenter en détails les attentes et exigences du jury. Je vous encourage vivement à le lire.

2012 : L'utilisation de la sonde à effet Hall a été mieux maîtrisée et les expériences présentées plus variées. Les différentes stratégies de production de champ magnétique peuvent être mises en regard des applications éventuelles.

2010 : La sonde à effet Hall est souvent le seul instrument de mesure présenté dans ce montage. Trop de candidats ignorent son principe de fonctionnement. D'autre part, les mesures de champs magnétiques ne sont pas limitées à ceux qui règnent dans l'entrefer d'un électro-aimant.

2008 : Il est nécessaire de bien maîtriser le maniement de la sonde à effet Hall et pour cela connaître son principe de fonctionnement.

2005 : L'ordre de grandeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre être connu. Il en est de même de l'existence d'un décalage systématique du zéro d'une sonde à effet Hall également.

2000 : L'usage de l'électroaimant occasionne de grosses erreurs, souvent dues à la non-linéarité de la réponse des pièces en matériau ferromagnétique. Correctement alimentés, de petits électroaimants (comme ceux qui sont disponibles) créent pour un entrefer usuel ($e \simeq 1$ cm) un champ de l'ordre d'une fraction de tesla ($B \simeq 0,3$ T). Trouver des ordres de grandeur différents doit conduire à une analyse critique immédiate des opérations effectuées. De même la formule donnant B proportionnel à $1/e$, N et I suppose en particulier que la carcasse et l'entrefer forment un tube de flux de section constante, ce qui est rarement justifié, en particulier avec des pièces polaires tronconiques.

Commentaires généraux

Le montage présenté a montré un effort de pédagogie conséquent, et était bien présenté et agréable à suivre. Les expériences ont toutes été réalisées en direct et rendues bien visibles, c'est un point positif, attendu par le jury. Cependant, le montage présenté était trop court de quelques minutes.

On peut néanmoins regretter quelques erreurs et approximations dans l'utilisation du matériel, et un manque d'explications sur le fonctionnement des appareils utilisés pour produire ou mesurer les champs. S'agissant d'un montage, vous n'avez pas à démontrer de formules, mais il est indispensable d'expliquer les phénomènes physiques utilisés. Davantage d'explications permettrait d'atteindre le temps imparti.

Le tableau était très propre, mais il manquait des schémas des expériences. En particulier pour les champs tournants des axes non définis sont utilisés. Comme il était déjà bien rempli, il faut envisager de réduire la partie titres et texte.

Le choix de commencer par la production ou la mesure de champs est libre, il n'y a pas d'approche meilleure que l'autre. Vous aurez dans tous les cas besoin d'utiliser des résultats de la deuxième partie dans la première.

Retour sur le montage présenté

Introduction

Il est intéressant de contextualiser le montage en donnant des ordres de grandeur. On pourrait en donner d'autres que celui du champ terrestre. L'utilisation de la boussole est intéressante aussi, à condition que le Nord ne soit pas donné à 45° près ...

1) Production de champs magnétiques

1/ Champs fixes

Les expériences qualitatives avec les aimants permanents et la bobine ont été bien présentées. Il serait intéressant de donner une première conclusion à ce stade : les champs magnétiques sont produits par les courants et par la matière aimantée, et on peut coupler les deux pour les renforcer.

La construction d'un électroaimant de démonstration est intéressante sur le plan pédagogique. Il faudrait mentionner que le sens du courant dans les bobinages n'est pas choisi aléatoirement, de même que le matériau de la carcasse magnétique. On choisit un ferromagnétique doux pour avoir un champ rémanent faible, et maximiser la linéarité de $B(I)$. Il est important de montrer le sens du champ dans l'entrefer : c'est une grandeur vectorielle ! Toutefois utiliser cet électroaimant de démonstration pour réaliser des mesures quantitatives de B en fonction de I et e semble peu judicieux. Je trouve beaucoup plus pertinent d'utiliser l'électroaimant commercial.

1. arnaud.le_diffon@ens-lyon.fr

2. etienne.thibierge@ens-lyon.fr, <http://perso.ens-lyon.fr/etienne.thibierge>

Pour caractériser complètement l'électroaimant, il est important montrer le cycle d'hystérésis complet, dû à l'utilisation d'un ferromagnétique. Celui-ci ne peut s'obtenir qu'en variant le courant dans un sens fixé, et en retournant le teslamètre pour faire la mesure (voir le paragraphe dédié). L'électroaimant marron semble donner un cycle d'hystérésis plus marqué que l'électroaimant gris, à vérifier !

Attention aux incertitudes de mesure avec le multimètre. Si le digit fluctuant donne une incertitude plus grande que l'incertitude intrinsèque du multimètre, c'est bien lui qu'il faut considérer. En revanche il faut le préciser à l'oral, pour montrer que vous savez calculer l'incertitude attachée à un multimètre. Pour information, les multimètres Fluke 187 sont plus précis que les Fluke 85 utilisés lors de la présentation (mais ne changeraient rien à l'incertitude ici).

2/ Champs tournants

Cette partie a été bien traitée. Les expériences étaient bien choisies et leur réalisation probante.

Un message sur lequel il faudrait insister est que grâce à la linéarité des équations de Maxwell, jouer sur la structure de la distribution de courants permet de jouer sur la structure du champ magnétique obtenu.

II) Mesure de champs magnétiques

1/ Sonde à effet Hall

Il est nécessaire d'expliquer qualitativement le mécanisme de l'effet Hall, ce qui a été plutôt bien fait. Le choix du matériau (semi-conducteur dopé n) doit être justifié, ce qui a là aussi été bien fait. Les défauts d'une sonde de Hall (dissymétrie des soudures) doivent être connus et présentés.

C'est bien de dire qu'une sonde à effet Hall peut être miniaturisée, cependant elle ne fait pas rigoureusement une mesure locale. Le champ mesuré est moyenné sur la distance séparant les deux points entre lesquels on mesure la tension de Hall. De plus on ne mesure pas non plus systématiquement la norme de \vec{B} , mais plutôt sa composante orthogonale à la sonde, dont le positionnement est donc important.

Attention à l'utilisation de matériel « sophistiqué ». Le générateur utilisé dispose d'un bouton pour couper le courant différent du ON/OFF et possède un système de régulation de courant l'empêchant de dépasser la valeur de contrainte. Le jury ne connaissant probablement pas ce modèle particulier, je pense que l'impression donnée d'éteindre et de rallumer le générateur n'est pas très bonne. Il serait plus prudent de dire à l'oral que le générateur utilisé est spécialement construit pour. L'aspect mise en scène pédagogique n'est pas à négliger.

2/ Fluxmètre

Le fonctionnement du fluxmètre doit être mieux expliqué, en faisant explicitement référence au phénomène d'induction et à la loi de Faraday. De même il faut expliquer le choix d'un intégrateur et ses limitations, qui contraignent *a priori* la durée de l'expérience, qui doit

être courte devant son temps de dérive et rapide devant l'inverse la fréquence de coupure de l'intégrateur, sans quoi le signal n'est pas intégré.

La façon de réaliser l'expérience n'est pas très convaincante. Une première raison est que prendre la référence du fluxmètre à l'intérieur de l'électroaimant à $I = 0$ revient à oublier le champ rémanent, ce qui est maladroit dans ce montage. Une deuxième raison est pédagogique : telle que réalisée, l'expérience laisse penser que pour mesurer un champ avec un fluxmètre il faut être capable d'éteindre ce champ, ce qui est un non-sens. Une présentation plus convaincante consiste à laisser l'électroaimant allumé et à bouger le fluxmètre à la main pour l'amener dans l'entrefer et le ressortir, et à regarder la tension de sortie de l'intégrateur en mode ROLL sur un oscilloscope.

La limitation majeure du fluxmètre (moyennage spatial) a été bien précisée. Une façon de le montrer pourrait être de mesurer un champ magnétique inhomogène, par exemple entre les pièces tronconiques d'un électroaimant, et de comparer le résultat à celui donné par la sonde de Hall.

Il faut éviter de faire un calcul d'incertitude à la va-vite et non préparé pour perdre du temps. Ça ne trompera pas le jury :)

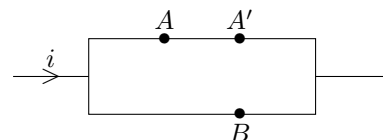
Conclusion

La conclusion doit récapituler les points abordés dans le montage. Ici il faudrait explicitement comparer entre elles les méthodes de production et de mesure de champ, ce qui n'a pas été vraiment fait.

Mesure du champ dans l'entrefer d'un électroaimant avec une sonde de Hall

Cette expérience nécessite un protocole réfléchi pour éviter les erreurs systématiques. Le jury y est particulièrement vigilant et le mentionne dans tous les rapports.

Une sonde à effet Hall n'est pas idéale à cause d'un défaut d'alignement des soudures. La différence de potentiel U_{AB} mesurée entre les deux soudures A et B contient alors la tension de Hall U_H entre A' et B et un terme ohmique U_{ohm} entre A et A' , dû au passage d'un courant i dans la sonde. Pour s'affranchir de U_{ohm} , il faut retourner la sonde et prendre la différence des deux tensions. Le champ magnétique vu par la sonde est alors inversé et la tension mesurée devient $-U_H + U_{ohm}$.



Inverser le sens du courant dans l'électroaimant permettrait de s'affranchir du problème de la même façon ... sous réserve que $\vec{B}(-I) = -\vec{B}(I)$. Ce n'est pas rigoureusement vrai, car l'électroaimant est siège d'un phénomène d'hystérésis : la valeur du champ obtenue pour un courant donné dépend de la façon dont le courant a été amené à cette valeur.

En pratique l'hystérésis dans l'électroaimant est faible, et il n'est pas garanti que l'incertitude associée à l'hystérésis soit plus grande que l'incertitude associée au positionnement de la sonde de Hall par rapport aux inhomogénéités du champ dans l'entrefer, qui est faible également avec les pièces plates. On peut donc penser que les deux méthodes sont équivalentes.

Cependant dans le cadre de ce montage je crois qu'il est très préférable de retourner la sonde de Hall, sans toucher au courant dans l'électroaimant. Faire le contraire pourrait laisser penser que pour mesurer un champ avec une sonde de Hall il faut pouvoir le renverser, ce qui est un non-sens sur le plan pédagogique. Au vu de la remarque précédente, l'approche peut toutefois être différente dans le cadre du montage sur les semi-conducteurs, à vous de juger !

En tous les cas, vous devez avoir en tête ces deux sources d'erreur, et justifier votre protocole en en tenant compte.

Questions

Les questions à la suite d'un montage portent quasi-exclusivement sur les protocoles expérimentaux et les me-

sures que vous avez réalisées.

Des questions sur l'utilisation et les applications des champs magnétiques peuvent vous être posées : ayez un minimum de culture électrotechnique !

L'écriture de la tension de Hall $U_H = \frac{B}{nqa}i$ (notations du poly) donne une définition naturelle à la *résistance de Hall*. C'est une résistance de par son unité, mais attention, elle n'en a pas toutes les propriétés physiques. En particulier, interpréter le produit $R_H i^2$ comme la puissance dissipée dans la sonde de Hall n'a aucun sens, puisque i et U_H sont mesurées dans des directions perpendiculaires.

Conclusion

Les expériences proposées dans ce montage y ont toutes leur place, et le plan proposé est cohérent. Il faut cependant apporter plus de soin et de rigueur dans la justification et l'application des protocoles, et dans l'explication du fonctionnement des appareils choisis.

Si vous avez d'autres questions, nous restons à votre disposition par mail, en TP ou dans de futures séances de correction.