

MP15 – PRODUCTION ET MESURE DE CHAMPS MAGNÉTIQUES

19 janvier 2017

*L'état magnétique est assez près de la mort pour me
contenter.*
E. A. POE

Théo Sépulcre & Louis Villa

Commentaires du jury

En résumé : savoir comment fonctionne une sonde à effet Hall, et ne pas présenter que ça.

Bibliographie

↗ *le nouveau poly*, **Dieu**

↗ *Dico de physique expé IV*, **Quaranta**

→ contient tout, mais ne sera pas là le jour j!

→ regarder "magnétostatique", "electroaimant", "champ magnétique" et "fluxmètre", tout y est.

Expériences

☞ Bobines de Helmholtz

☞ Electroaimant

☞ Fluxmètre

☞ sonde à effet Hall

Table des matières

1	Production d'un champ	1
1.1	Bobines de Helmholtz	1
1.2	Electro-aimant	2
2	Mesure de champs	3
2.1	Fluxmètre	3
2.2	Capteur à effet Hall	4

Introduction

Les champs magnétiques sont à l'origine de nombreuses possibilités techniques de grande importance : boussoles, moteurs et génératrices de courants, capteurs, voire systèmes lévitants ... d'où la nécessité de savoir les produire, les contrôler, les mesurer. Le champ magnétique est un champ vectoriel : selon l'utilisation, il peut être nécessaire de contrôler sa norme, son sens, son gradient (par exemple pour des pièges magnétiques) ... Nous illustrerons ces différentes situations.

1 Production d'un champ

1.1 Bobines de Helmholtz

Bien que toujours présentes dans les polys des années précédentes, les manip introductives sur le champ créé par un aimant permanent ne nous paraissent pas cruciales (on ne démontre pas de grande capacité expérimentales avec ça ...) on commence tout de suite avec les bobines de Helmholtz, qui permettent d'illustrer la production d'un champ uniforme et d'un gradient uniforme.



Bobines de Helmholtz

🔧 le poly

⌚ 10 minutes

on cartographie le champ sur l'axe avec un teslamètre (à ce stade, cet appareil n'est pas détaillé, et est donc réduit à "un bâton magique qui donne le champ"). Il y a 2 configurations possibles : soit "Helmholtz" : les bobines sont parcourues par le même courant, et le champ B est (relativement) constant entre les bobines. la loi est :

$$B = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N I}{R}$$

Avec R le rayon et l'écartement des bobines. On fait varier I et on mesure B , pour faire une régression linéaire, et comparer la pente avec la valeur théorique (ce qui vérifie au passage la valeur de μ_0).

soit anti-Helmholtz : les bobines sont parcourues par des courants opposés : on obtient un gradient constant sur l'axe de la bobine. Cette fois, on mesure B en fonction de x . Au premier ordre, la loi est :

$$B = \frac{48}{25\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N I}{R^2} x$$

On fait une régression linéaire. Il est également possible de mesurer les variations de champ plus loin du centre et de vérifier les ordres supérieurs.

- **Important** : il faut utiliser le teslamètre Jeulin (celui à section carrée), l'un des teslamètres de la collection ne précise pas la direction dans laquelle il mesure le champ, et est donc parfaitement inutile.
- le champ est très uniforme : les droites sont très belles, même avec un travail peu soigné sur l'alignement du tesla-mètre.

1.2 Electro-aimant

Les bobines de Helmholtz ne permettent pas d'obtenir des champ forts (quelques milli-Teslas au mieux). Pour des champs plus forts, on peut utiliser un électro-aimant. On peut commencer par illustrer le principe sur un électro-aimant maison : on monte deux bobines sur un U feuilleté. Au lieu de fermer le cadre métallique (comme pour un transformateur), on pose deux pièces polaires en fer doux pour bobines sur le cadre, pour laisser un entrefer. Le champ magnétique créé par les bobines est canalisé vers l'entrefer, c'est le principe de l'électro-aimant. On ne fait pas de

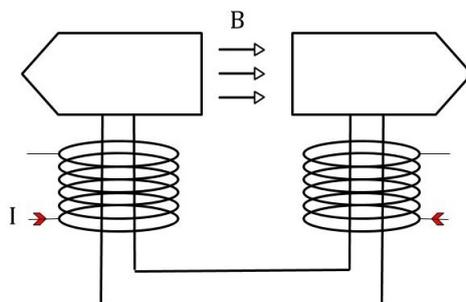


FIGURE 1 – principe de l'électro-aimant maison

mesures sur ce système, seulement du qualitatif. On passe rapidement à l'électro-aimant tout fait.



Électro-aimant

⚡ 10 minutes

⊖ le poly

On branche l'électroaimant ayant le plus fort ampérage admissible (9A), branché à un générateur de puissance (pouvant monter à 10A) et un rhéostat (10Ω) pour la tranquillité d'esprit. Toujours avec le Tesla-mètre, on vérifie deux lois (avec les pièces polaires planes!) :

$B = f(I)$ est linéaire. On peut regarder la saturation du milieu magnétique à haute intensité. La courbe servira de courbe d'étalonnage pour la sonde à effet Hall.

$B = f(1/e)$ (e l'entrefer) est linéaire. (pour mesurer e , le palmer ne rentre pas dans la cavité ... il faut mesurer l'écart entre les grosses plaques et retirer cet écart à $e = 0$).

Quelques points importants :

- il y a une aimantation rémanente à courant nul, mais difficile de désaimanter le milieu magnétique pour s'en débarrasser ... On doit donc faire un modèle affine.
- sur l'un des électro-aimants, le nombre de spires n'est pas indiqué (même dans la notice ...) difficile de commenter les pentes obtenues.
- ne pas laisser de courants supérieurs à 2A trop longtemps dans les bobines.

On peut, illustrer l'importance de la forme des pièces polaires en montant les pièces tronconiques : le champ est plus intense mais moins uniforme.

Enfin, on montre qualitativement que le Tesla-mètre mesure bien une composante d'un champ vectoriel : quand on change l'orientation de la sonde, la valeur mesurée change.

2 Mesure de champs

2.1 Fluxmètre

Nous avons pour l'instant escamoté le problème de la mesure d'un champ : nous présentons deux possibilités : le flux-mètre et la sonde à effet Hall.

Le fluxmètre exploite le fait que, au bornes d'une spire conductrice, apparaît une ddp égale à la variation flux magnétique. Intégrer ce signal permet de remonter à la valeur de B . Cependant, il est difficile de faire des intégrateurs parfaits. L'astuce habituelle de l'électronique consistant à construire des pseudo-intégrateurs, qui se comportent comme souhaité au-delà d'une certaine fréquence, n'est pas utilisable ici : on veut intégrer des signaux de fréquences arbitrairement faibles ! On utilise le circuit suivant :

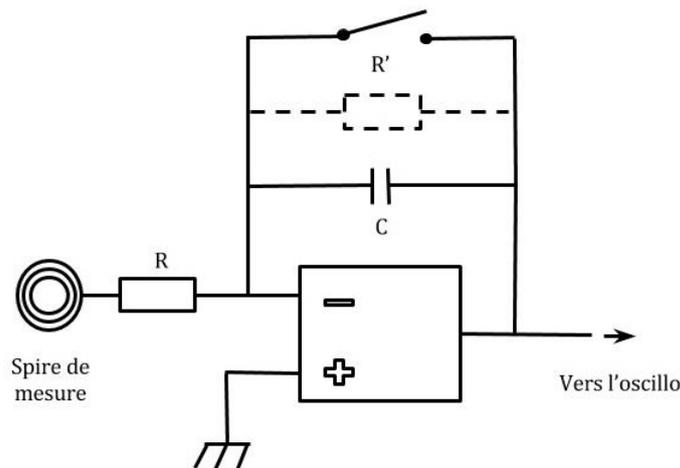


FIGURE 2 – circuit intégrateur. $C = 1\mu\text{F}$, $R = 10\text{k}\Omega$, $R' = 10\text{M}\Omega$

Fluxmètre

⚡ le minutes

⊖ 10 poly

On réalise ce montage ^a. Il faut d'abord régler grossièrement l'offset de l'AO : on relie les bornes + et - et on essaie d'annuler la tension de sortie. Ensuite, on fait l'intégrateur avec R', on ajuste à nouveau l'offset pour que le signal de sortie ne dérive plus. Enfin, on enlève R', et on ajuste encore l'offset. L'interrupteur permet de remettre à zéro l'inéluctable dérive. Attention! toujours remettre à zéro avec la sonde loin de tout champ magnétique!

Il faut à présent calibrer la sonde : on peut utiliser les bobines de Helmholtz, dont nous connaissons le champ créé. On place la sonde au centre des bobines (du mieux que l'on peut. La précision est discutable mais le résultat final est correct). On trace $I_{\text{bobines}} = f(U_{\text{sonde}})$ pour obtenir une droite, ce qui étalonne notre capteur et vérifie sa linéarité. On compare la pente à :

$$U = \frac{BNS}{RC}$$

où les coefficients N et S , le nombre de spire et la surface d'une spire, sont écrit sur la sonde. ^b

^a. les faibles utiliserons des boîtiers d'intégration tout faits. Honte à eux.

^b. attention, sur notre sonde, S désignait en fait NS !

Le fluxmètre réalise une mesure absolue du champ (il n'est pas nécessaire de l'étalonner précédemment avec un autre appareil de mesure). Il réalise une mesure moyenne sur la surface de la sonde : c'est un avantage pour mesurer des champs là où la sonde du tesla-mètre ne peut pas aller (on met la sonde autour d'un aimant pour obtenir le champ "dans l'aimant"). Mais la mesure est d'autant moins précise et "moins locale".

2.2 Capteur à effet Hall

Un autre capteur (le fameux Tesla-mètre) exploite l'effet Hall (dans un barreau conducteur ou semi-conducteur, la déviation des porteurs de charge crée une ddp dans la direction transverse au courant et au champ).

sonde à effet Hall

⚡ *Hydrodynamique relativiste*, Perez

⊖ 1000

Ici, pas grand chose de plus à faire que d'utiliser le semi-conducteur tout prêt. on trace $U_{\text{Hall}} = f(B)$ (il est nécessaire de connaître la caractéristique $B = f(I)$ de l'électroaimant pour cela), ou bien, plus simplement on fixe B (que l'on mesure donc une seule fois) et on fait varier le courant dans la sonde. On cherche une droite de coefficient $R_H \frac{i}{L}$, i le courant dans la sonde et L sa longueur dans la direction d'application du champ B . On remonte à la densité de porteur, à comparer avec une valeur tabulée, $n = \frac{1}{qR_H}$

- Idéalement, il faut retourner la plaque et moyenner les deux tensions obtenues pour s'affranchir des problèmes de soudures non symétriques. Mais c'est très pénible et cela fonctionne sans.
- On peut aussi faire un montage 4 fils (le boîtier est prévu pour). Mais on peut aussi très bien faire sans. Il est plus simple de faire un ajustement affine et de discuter la valeur, on l'espère ridiculement faible, de l'ordonnée à l'origine.
- Le signal à tendance à dériver à partir d'un certain moment, peut-être par échauffement du semi-conducteur. Soit on fait ses mesures vite, soit on contrôle en température (le boîtier, décidément bien fichu, est aussi prévu pour ça : il y a une résistance chauffante et un thermocouple dessus). pour interpréter la poente, il faut aller chercher la notice de la plaque, qui donne la densité de porteurs et la dimension transverse.

Ici, puisque nous n'avons aucune autre méthode pour mesurer la densité de porteurs du Germanium, la sonde à effet Hall réalise donc une mesure indirecte du champ magnétique : elle doit être étalonnée avec un autre capteur (nous avons donc fait confiance au constructeur de notre propre Tesla-mètre pour l'avoir étalonné correctement).

Conclusion

On a montré ici comment produire un champ magnétique à partir de courants électriques, notamment des champs constants dans l'espace, des champs forts, des champs de gradient constant. On a montré que, pour mesurer les composantes du champ, on disposait d'un appareil de mesure absolue, le flux-mètre, qui permet d'étalonner un second

appareil, la sonde à effet Hall. Nous aurions encore pu présenter une mesure du champ magnétique terrestre (difficile à mesurer car faible) ou la production de champs tournants, utiles dans diverses machines électriques.

[Insérer une blague pas encore faite concernant la section vide]