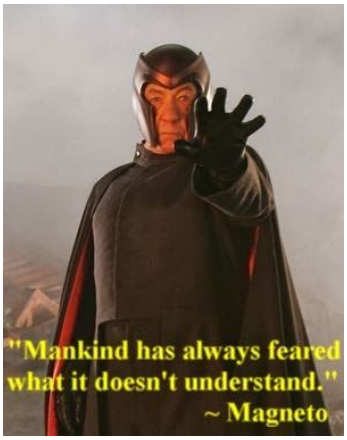
MP 16 - MILIEUX MAGNETIQUES



26 février 2015

Théo Claude & Thomas Le Reun

Commentaires du jury

2010 à 2014 : Ne pas se limiter aux milieux ferromagnétiques. L'étude du transformateur est marginale dans ce montage, son étude exhaustive n'y a pas sa place. Cet appareil n'a d'intérêt que dans la mise en évidence des propriétés des ferromagnétiques.

Bibliographie

- ✍ [1] ***Précis Bréal, Électrotechnique*, Brenders** ⟶ Le montage pour observer le cycle d'hysteresis.
- ✍ [2] ***Magnétisme*, Goering** ⟶ Une explication claire, nette et précise de l'expérience de l'ascension paramagnétique.
- ✍ [4] ***BFR 4*, BFR** ⟶ La baaaaase.
- ✍ [2] ***Magnétisme*, des Trois Molets de l'Echasserie** ⟶ Le détaaaail.

Table des matières

1 Paramagnétisme et diamagnétisme **2**
- 1.1 Lévitation diamagnétique . . . 2
- 1.2 Mise en évidence de deux comportements magnétiques différents . . . 2
- 1.3 Quantification du paramagnétisme de $FeCl_3$ . . . 2

2 Ferromagnétisme **3**
- 2.1 Les pertes fer dans un transformateur . . . 3
- 2.2 Du magroscopique au microscopique . . . 4

Introduction

Le but du montage présenté par Théo est d'étudier les différentes propriétés magnétiques de la matière. Après avoir débuté par une études du diamagnétisme et du paramagnétisme, qui sont des réponses faibles de la matière nécéssitant des champs magnétiques élevés pour être mis en évidence, Théo présentera deux expériences sur le ferromagnétisme, qui est celui le plus frappant et le plus employé au quotidien, à la lumière notamment de la conversion de puissance électrique. L'une d'elle sera l'occasion d'appréhenser les mécanismes macroscopiques du ferromagnétisme.

1 Paramagnétisme et diamagnétisme

1.1 Lévitation diamagnétique

La force s'exerçant sur un échantillon diamagnétique s'écrit :

$$\mathbf{F} \simeq -\frac{\chi_m}{2\mu_0}\nabla B^2 \tag{1}$$

Pour un matériau diamagnétique, χ_m est négatif, et donc l'échantillon voit un potentiel $\propto B^2$.

Lévitation diamagnétique

✍ Pas de bibliographie ⏲ 1min

On place une plaque de graphite au-dessus de quatre aimants disposés tête-bèches. On montre que le potentiel évoqué ci-dessus connaît un minimum local au-dessus du contact entre les quatre aimants, ce qui explique la lévitation, et aussi le fait qu'il soit éjecté lorsqu'on le fait sortir de sa cuvette.

1.2 Mise en évidence de deux comportements magnétiques différents

Bien que ces éléments ne présentent pas de nature magnétique frappante -contrairement aux ferromagnétiques que nous étudierons plus tard, le comportement de N_2 et O_2 diffère nettement lorsqu'on les soumets à des champs magnétiques suffisamment intense pour le révéler.

Mise en évidence du paramagnétisme de O_2

✍ Pas de référence spécifique ⏲ 1 min

On prépare un mélange liquide de diazot e et de dioxygène en laissant de l'air se condenser dans un tube à essai. On verse le condensat dans l'entrefer d'un aimant, et on projette contre le mur une image de cet entrefer. On voit par ombroscopie qu'une partie du liquide est retenue dans l'entrefer.

Interprétation : L'un des constituants est retenu dans la zone de champ fort, contre la gravité. En se souvenant que

$$\mathbf{f} \simeq -\frac{\chi_m}{2\mu_0}\nabla B^2 \tag{2}$$

cette expérience suggère :

- $\chi_m(O_2) > 0$
- $\chi_m(O_2) \gg \chi_m(N_2)$

Le dioxygène est une substance paramagnétique tandis que le diazote est diamagnétique.

1.3 Quantification du paramagnétisme de $FeCl_3$

Les substances paramagnétiques sont attirées dans les zones de champ fort. Nous allons utiliser cette propriété pour remonter à une valeur de la susceptibilité magnétique de $FeCl_3$. Pour cela, on utilise l'ascension paramagnétique. Les forces s'appliquant à un volume de fluide $d\tau$ sont la pression, la gravité et la force magnétique. En statique elles s'équilibrent et dans tout le fluide et alors :

$$\nabla\left(-\rho g z - P + \frac{\chi_m}{2\mu_0}B^2\right) = 0. \tag{3}$$

Comme les deux interfaces sont exposées à la même pression ambiante :

$$h = \frac{\chi_m}{2\mu_0 \rho g} B_A^2 \tag{4}$$

Etalonnage du champ créé par l'électroaimant

✍ Pas de références particulières ⏲ 5 min

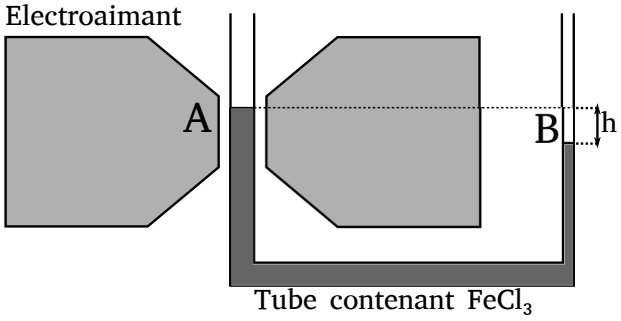
On mesure le courant circulant dans l'électroaimant à l'aide d'un ampèremètre. Un Teslamètre permet de mesurer le champ magnétique correspondant dans l'entrefer. On réalise à chaque fois deux mesures de champ en retournant la sonde. Cela permet de calculer un champ moyen et d'estimer l'erreur due à la position du capteur. On obtient une courbe d'étalonnage que l'on modèlise par un polynôme d'ordre trois.

L'ordre du polynôme n'a pas d'importance, l'essentiel est d'obtenir un modèle qui adhère le mieux aux points expérimentaux pour pouvoir employer la courbe d'étalonnage ensuite.

Ascension paramagnétique

✍ Garing p 309 ⏲ 5 min

On place ensuite le plus gros tube dans l'entrefer de l'aimant, cela permet d'y réaliser de faibles déplacements et de conserver une valeur de champ à l'interface proche de celle provenant de l'étalonnage. Le petit tube sert à la lecture de la hauteur. Pour différentes valeurs de I on relève la hauteur.



Exploitation : on trace h en fonction de B. Connaissant ρ pour la solution de $FeCl_3$, on obtient la susceptibilité de la solution. Il faut encore travailler un peu pour pouvoir effectuer une comparaison avec une valeur tabulée de la susceptibilité de $FeCl_3$. La valeur donée par le Handbook est de 13450 10^{-6} $cm^3.mol^{-1}$. C'est une valeur CGS ! pour avoir une valeur SI, il faut encore diviser par 4π. Et enfin, il faut encore convertir la susceptibilité obtenue en susceptibilité de $FeCl_3$ pur, en supposant que celle de H_2O est négligeable.

2 Ferromagnétisme

2.1 Les pertes fer dans un transformateur

Les matériaux ferromagnétiques diffèrent des autres par une susceptibilité sensiblement plus grande - de l'ordre de 10^3. Elle est de plus fonction du champ **B**.

On considère un Thor ferromagnétique de rayon R sur lequel est effectué un bobinage primaire de N_1 spires parcourues par I. Alors, d'après le théorème d'Ampère, dans le tore :

$$H = \frac{N_1 I}{2\pi R}. \tag{5}$$

Une mesure de I dans le primaire nous donne donc une image de H. La tension en sortie d'un secondaire de N_2 spires,notée U , s'écrit d'après la loi de Faraday, en négligeant la résistance du bobinage :

$$U_s = N_2 S \frac{dB}{dt} \tag{6}$$

où B est le champ magnétique dans le tore, et S sa section. En plaçant un intégrateur en sortie du secondaire, on obtient donc une tension qui est l'image de B.

Cycle d'hysteresis

✍ Précis Bréal ⏲ 5 min

On réalise le montage du livre, en y ajoutant un amplificateur de puissance pour obtenir des tensions mesurables en sortie du secondaire. On peut alors comparer différents matériau ferromagnétiques entre eux. En faisant décroître la tension d'entrée, on peut annuler l'aimantation rémanente, et observer une courbe de première aimantation.

Interprétation : pendant dt, le travail fourni par le générateur vaut $U_e I dt = V H dB$ où V est le volume du tore. Au cours d'un cycle, la puissance perdue correspond donc à l'aire du cycle. On peut accéder à l'énergie perdue sur un cycle en calculant l'intégrale sur un cycle de $H\frac{dB}{dt}$.

2.2 Du magroscopique au microscopique

L'hysteresis observée précédemment trouve son origine dans l'existence des domaines de Weiss. Les matériaux ferromagnétiques sont un assemblage de domaines sur lesquels les spins sont dans la même direction. Le champ global correspond à la somme des champs créés par toutes ces zones. On se propose de le mettre en évidence à l'aide de l'expérience suivante.

Caractérisation d'un champ créé

✍ Pas de référence ⏲ 5 min

Dans l'expérience qui suit celle-ci, on va utiliser un champ magnétique crée par un noyau ferromagnétique autour duquel un bobinage est par un champ sinusoïdal. On s'assure qu'il n'y a pas d'effet de saturatiion et que l'hysteresis est faible pour le matériau considéré.

On peut à présent utiliser le champ créé pour exciter un matériau ferromagnétique et mesurer quantitativement la proportion entre les diffeents domaines de Weiss.

Domaines de Weiss

✍ Théo ⏲ 5 min

On excite un échantillon ferromagnétique taillé en forme de lame à l'aide d'un champ sinusoïdal. L'excitation est réalisé par un bobinage réalisé autour d'un noyau de fer doux (c'est le plus efficace). À travers un microscope et une webcam, on observe une diminution et une augmentation de domaines de différentes couleurs qui correspondent aux domaines de Weiss.

Traitement des images : acquisition de la vidéo avec Vlounge(logiciel webcam philipps), conversion mpeg to avi avec Virtual Dub, puis calcul de l'intensité moyenne de chaque image avec ImageJ.

Un traitement à l'aide d'ImageJ permet d'obtenir l'intensité moyenne de l'image observée. Le stroboscope permet de synchroniser le champ magnétique et l'acquisition vidéo. En effet, en utilisant un temps d'exposition suffisamment grand, le flash du stroboscope apparaît sur une image, il correspond au moment où le champ est maximal ou minimal (ça dépend du stroboscope et du trigger, et des branchements, il faut vérifier àchaque fois). En représentant cette intensité moyenne en fonction du champ excitateur, on remarque une allure similaire à un cycle d'hysteresis. On remarque également des changements brusques d'intensité qui correspondent au sauts des domaines de Weiss sur les impuretés du cristal.

La température de Curie de l'échantillon est de 200 degré Celsius. En chauffant l'échantillon avec un sèche-cheveu, il est aisé de voir l'aimantation de saturation diminer. On observe également un rétrécissement des domaines de Weiss.

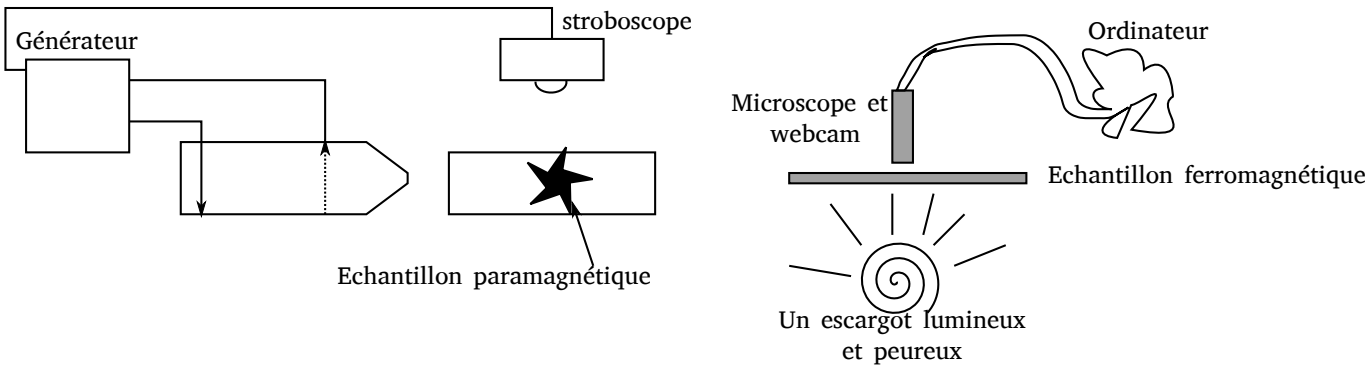


Figure 1 – Schéma du dispositif mis au point par Théo.

Remarques : bien que cette expérience soit intéressante, il faut savoir raison garder et ne point la faire trop parler. On observe un cycle d'hysteresis, rien ne prouve a priori qu'il s'agisse du cycle d'hysteresis caractéristique du matériau, parcouru entre les champs de saturation.

Conclusion

De grandes différences de comportements du diamagnétisme au ferromagnétisme. On a pu voir l'intérêt du choix du matériau pour la conversion de puissance électrique avec des pertes amoindries, en donner une explication microscopique.

Figure 2 – Magnetheo à la fin de son montage. [1]

1. Magnetheo cautionne pô...