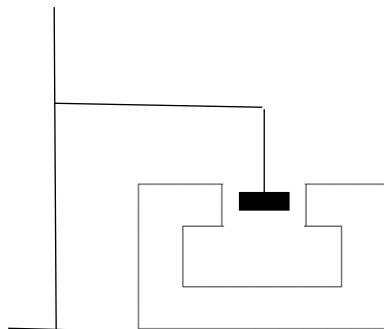


MP16 : Milieux magnétiques

Valentin DUMAIRE, Romain MACCARY

Il existe différents milieux magnétiques, caractérisés par leur comportement, leur réponse à une excitation magnétique extérieure.

On place dans un entrefer un barreau de verre et un barreau d'aluminium et on regarde leur orientation. Le barreau d'aluminium s'aligne sur les lignes de champ, tandis que le barreau de verre s'oriente perpendiculairement aux lignes de champ.



Cette différence d'orientation est due à des forces de Laplace volumiques : $\vec{f}_L = \frac{\chi}{2\mu_0} \overrightarrow{\text{grad}} B^2$, et donc au signe de χ . Pour les matériaux paramagnétiques, $\chi > 0$ (de l'ordre de 10^{-4}) et pour les matériaux diamagnétiques, $\chi < 0$ (de l'ordre de 10^{-5}). Le verre est diamagnétique, l'aluminium est paramagnétique.

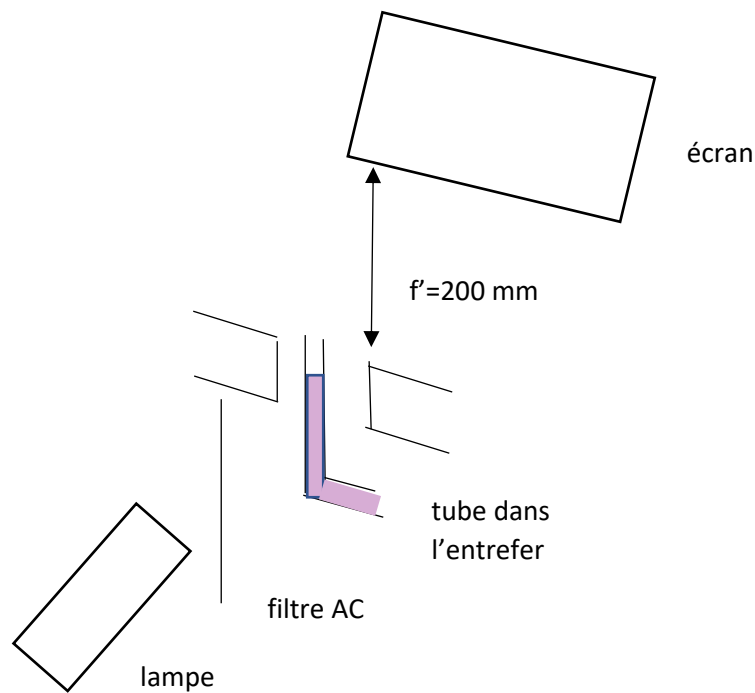
I Mesure de susceptibilité

Pour mesurer la susceptibilité magnétique d'un fluide, on peut utiliser un tube de Quincke. L'expérience consiste à introduire un fluide dans un tube en U, placé dans l'entrefer d'un électroaimant qui impose un champ magnétique \vec{B} . Ce champ modifie la hauteur du liquide, et c'est ce que nous allons mesurer. Il faut utiliser des pièces polaires coniques (pour avoir un gradient) et pleines de préférence (pour avoir un champ spatialement homogène sur une petite zone, au niveau de la surface libre).

Un calcul d'hydrostatique montre que : $\overrightarrow{\text{grad}} P - \rho \vec{g} + \frac{\chi}{2\mu_0} \overrightarrow{\text{grad}} B^2 = \vec{0}$

Donc : $\chi = \frac{2\mu_0 h \rho g}{B^2 - B_0^2}$, h est la variation de hauteur due au champ magnétique, B_0 est le champ rémanent (champ mesuré quand l'électroaimant n'est pas alimenté).

Pour mieux voir cette variation de hauteur, on projette l'image du ménisque sur un écran grâce à une lampe et une lentille (une lentille de focale 200mm est un bon compromis entre l'observation de l'image du tube et la place que prend le montage). On mesure h pour différentes valeurs du champ magnétique et on en déduit χ .



Le fluide utilisé est le chlorure de manganèse $MnCl_2$. La masse volumique que nous avons mesurée est : $\rho = (1,28 \pm 0,04) \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (la solution que nous avons avait une concentration d'environ $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$).

On trace h en fonction de B^2 , et on obtient une droite de coefficient directeur $a = \frac{\chi}{2\mu_0\rho g}$. Nous avons obtenu : $\chi = (2,61 \pm 0,19) \cdot 10^{-4}$.

La susceptibilité molaire de $MnCl_2$ vaut $\chi_m = 1,435 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$

Donc $\chi(MnCl_{2(solid)}) = \frac{\rho_{solide}\chi_m}{M}$ avec $\rho_{solide} = 2980 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et $M = 126 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Donc $\chi(MnCl_{2(solid)}) = 3,4 \cdot 10^{-4}$

$$\chi(MnCl_{2(solution)}) = \frac{\chi(MnCl_{2(s)})\rho}{\rho_{solide}}$$

→ $\chi(MnCl_{2(solution)}) = 1,46 \cdot 10^{-4}$ (théorique)

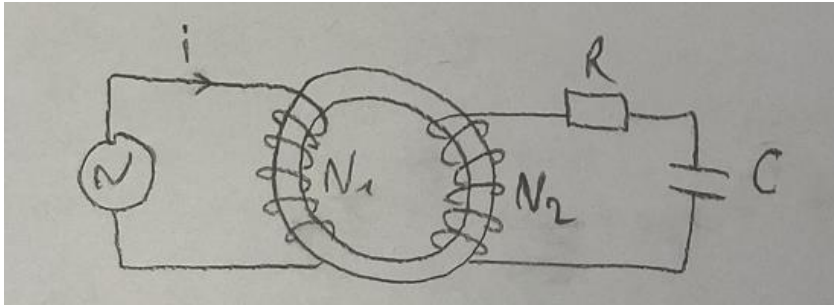
Jusque-là nous avons considéré des matériaux linéaires, c'est-à-dire pour lesquels la susceptibilité ne dépend pas de \vec{H} . Maintenant nous allons étudier des matériaux non linéaires.

II Cycle d'hystérésis d'un ferromagnétique

Les ferromagnétiques sont des matériaux qui s'aimantent sous l'effet d'un champ magnétique et qui gardent une partie de leur aimantation.

L'objectif est de retrouver le cycle d'hystérésis d'un ferromagnétique : \vec{B} en fonction de \vec{H} . On dispose d'une inductance saturable, d'un autotransformateur, d'un transducteur de courant (1V pour 1A) et d'un intégrateur ($f_c = 1,85 \text{ Hz}$). L'autotransformateur alimente le circuit primaire (on avait $N_1 = 150$

spires) du transformateur avec un courant alternatif i , qu'on mesure sur la voie 1 d'un oscilloscope (on récupère une tension grâce au transducteur). On branche l'intégrateur sur le circuit secondaire (on avait $N_2 = 18$ spires) du transformateur et on mesure la tension sur la voie 2 d'un oscilloscope.



Par induction on obtient une force électromotrice, donnée par la loi de Faraday : $e(t) = -\frac{d\Phi}{dt}$ et $\Phi = BS$, l'intégrateur permet donc de retrouver B . En utilisant l'oscilloscope en mode XY, on affiche le cycle d'hystérésis, u en fonction de i , donc B en fonction de H (qui est proportionnelle à i). Le théorème d'Ampère nous donne : $H = \frac{N_1 i_1}{2\pi r}$ ($N_1 \gg N_2$ et $R = 39 \text{ k}\Omega$, donc $N_1 i_1 \gg N_2 i_2$). On a également :

$$B = \frac{u}{2\pi f_c N_2 S}.$$

Nous avons mesuré $S = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ et $r = 52,5 \text{ cm}$.

Sur l'oscilloscope, on mesure les tensions correspondantes au champ rémanent, au champ à saturation et au champ coercitif. Nous avons trouvé :

$$B_r = 0,96 \pm 0,04 \text{ T}$$

$$B_{sat} = 1,12 \pm 0,04 \text{ T}$$

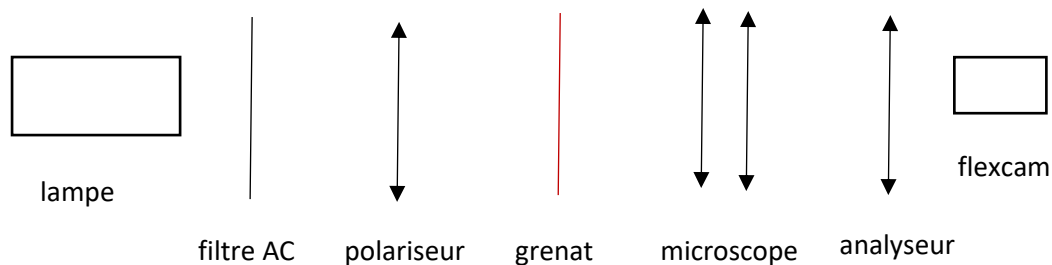
$$H_c = 26,74 \pm 0,27 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$$

Attention à ne pas utiliser un courant trop fort, sinon vous allez cramer le fusible de l'autotransformateur...^^'

III Domaines de Weiss

Après une approche macroscopique d'un ferromagnétisme, voyons maintenant une approche microscopique d'un ferrimagnétique. Pour un ferromagnétique, les moments magnétiques sont tous orientés dans le même sens. Pour un antiferromagnétique, les moments magnétiques sont antiparallèles (la moitié dans un sens, l'autre moitié dans l'autre sens), il en résulte une aimantation nulle. Et pour les ferrimagnétiques, les moments magnétiques sont également antiparallèles mais ils n'ont pas la même intensité, il en résulte une aimantation non nulle.

Pour visualiser les domaines de Weiss, on place un grenat ferrimagnétique sur un microscope entre un polariseur et un analyseur. On capte la lumière qui traverse le grenat et l'objectif avec une flexcam. On éclaire le dispositif en lumière blanche et on place un filtre anticalorique avant le polariseur (histoire d'éviter d'endommager les optiques).



Dans un domaine de Weiss, les moments magnétiques sont tous orientés dans le même sens. Ce montage repose sur l'effet Faraday : une lumière incidente polarisée rectilignement verra sa polarisation tourner :

-d'un angle α quand elle traverse une zone où les moments magnétiques sont orientés dans un sens

-d'un angle $-\alpha$ quand elle traverse une zone où les moments magnétiques sont orientés dans l'autre sens

Pour observer les domaines de Weiss, on se place entre le minimum et le maximum de luminosité en jouant sur le polariseur et l'analyseur. A l'écran on mesure quelques cm pour la taille des domaines. Sachant que le grandissement est d'environ 440 (mesuré en préparation grâce à une mire), on en déduit que les domaines ont une taille de l'ordre de $8,5 \mu\text{m}$.

En utilisant un aimant, on peut faire varier la taille des domaines. Selon qu'on approche le pôle nord ou le pôle sud de l'aimant, on privilégie un domaine par rapport à un autre. On s'aperçoit que les moments magnétiques ne reviennent pas à leur position initiale après avoir retiré l'aimant.

IV Transition Ferro-para

Lorsqu'un ferromagnétique atteint une température critique, dite de Curie, il devient paramagnétique, et sa susceptibilité suit alors la loi de Curie-Weiss :

$$\chi = \frac{C}{T - T_c}$$

Pour mesurer cette température, on utilise l'expérience du clou de Curie : on chauffe un clou attiré par un aimant (on place un bouclier thermique entre le clou et l'aimant), lorsqu'on atteint la température de Curie, le clou se décroche et à cet instant on relève la température du clou. Nous avons trouvé

$$T_c = 700^\circ\text{C}$$

Cette mesure est évidemment imprécise, elle dépend de notre temps de réaction, la température indiquée par le thermomètre varie très vite, et si on réalise plusieurs mesures il faut s'assurer que le clou revienne à température ambiante (et donc attendre qu'il ait retrouvé toute son aimantation)...

La température de Curie du fer est de 770°C , mais le clou n'est pas du fer pur, ce qui peut aussi expliquer l'écart de température.

Questions

Les réponses à certaines questions ont déjà été données dans ce rapport, aussi nous n'y reviendrons pas.

- Tube de Quincke : Est-ce que le champ rémanent est reproductible (est-ce que le champ rémanent est le même d'une expérience à l'autre) ?

→ Non à priori car le champ rémanent dépend de l'« histoire » du matériau, c'est-à-dire de la forme du cycle d'hystérésis.

- La susceptibilité de l'eau est-elle négligeable ?

→ Faire l'expérience avec de l'eau pour le vérifier, nous ne l'avons pas faite en préparation.

- Cycle d'hystérésis : Justifier le choix des composants. Pourquoi le circuit RC joue-t-il le rôle d'intégrateur ?

→ RC est un intégrateur si $\omega \gg \frac{1}{RC}$ ce qui est le cas ici ($f = 50 \text{ Hz}$)

- Quel est l'ordre de grandeur de l'induction à saturation du fer ? Peut-on la mesurer avec ce dispositif ?

→ $B \sim 2,2 \text{ T}$, on ne mesure qu'une induction à saturation partielle (tous les moments n'ont pas tourné), pour l'atteindre il faudrait des courants importants.

- Comment désaimanter un aimant ?

→ Le faire saturer et baisser le courant pour faire tendre l'aire du cycle vers 0.

- Domaines de Weiss : Pourquoi voit-on des couleurs et pourquoi celles-ci changent quand on retourne l'aimant ?

→ Peut-être que l'effet Faraday dépend de la longueur d'onde.

- Est-ce que $10 \mu\text{m}$ est la taille standard pour les domaines de Weiss ?

→ Non, il existe des domaines de tailles plus importantes (jusqu'au cm) pour d'autres matériaux.

Autre manip possible : magnétostriction