MP Milieux magnétiques

Elio Thellier & Dihya Sadi

Session 2021

Introduction

Lorsqu'on applique un champ $\vec{B}$ à un matériau magnétique, sa réponse se traduit par l'apparition d'une aimantation $\vec{M}$, c'est à dire une orientation des moments dipolaires magnétiques qui le compose. Pour des milieux homogènes et isotropes, on peut écrire :

$$\vec{M} = \chi_m \frac{\vec{B}}{\mu_0}$$

Selon que le matériau soit linéaire ou non, ce coefficient peut ou non dépendre du champ B. Ce coefficient peut aussi être négatif ou positif. Tout cela nous permet de classer les milieux magnétques. On va dans ce montage étudier les comportements de ces différents types de milieux à l'échelle macroscopique.

1 Milieux magnétiques linéaire

1.1 Comportement d'un milieu paramagnétique : manip qualitative

Matériel

- Entrefer Neodyne/Fer de taille réglable
- Barreaux en alu et en verre

Protocole

- Création d'une force volumique : $f_v =$
- Etre patient pour le barreau de verre car l'effet est faible donc le couple de torsion du fil est non négligeable.
- Faire tourner l'entrefer pour montrer que les barreaux suivent son mouvement.

1.2 Comportement d'un milieu diamagnétique : tube de Quincke

La force mise en évidence précédemment modifie l'équilibre hydrostatique d'un fluide paramagnétique ou diamagnétique.

Matériel

- Liquide para type solution saturée de MnCl2. Attention à bien demander une solution saturée sinon on ne connaît pas la concentration et donc pas la masse volumique
- Tube de Quincke en U : prendre celui en plastique si on veut mettre le gros dans l'éléctroaimant, et celui en verre sinon
- Electroaimant avec entrefer à bout plat mais pointu (pour un champ B plus grand et qui sature moins vite) + son propre transfo et alim de courant (stop à 2A)
- Wattmètre de précision
- Lampe blanche
- Lentille de courte focale (100 mm)
- Sonde à effet Hall
- Boy + potences
- Ecran de projection

Protocole

- On commence par l'étalonnage de l'éléctroaimant : champ mag en fonction du courant appliqué avec l'ensemble auto-transfo + alim intégrée. On essaie de tout optimiser pour ne pas saturer trop vite : la valeur de saturation est la même mais elle est atteinte moins vite pour un entrefer plus grand. Par contre si l'entrefer est trop grand, le champ B sera moins homogène sur le volume du liquide. En pratique comme on va mettre la grosse section à l'intérieur la largeur de l'entrefer est fixé par cela.
- Mettre la grosse section à l'intérieur car alors les variations sont moins importantes en hauteur donc le fluide risque moins de se retrouver dans des zones ou le champ B risque de devenir homogène. Petite section à l'extérieur : c'est chouette parce que les variations de h sont du coup plus importantes et donc l'incertitude relative plus faible.
- Remplir le tube du liquide saturé jusqu'à moitié de la section de l'éléctroaimant
- Projeter la petite section avec une lampe blanche, un écran et une lentille de 100 mm. Attention on fait l'image d'un plan... Donc choix à faire : choix de faire la mise au point sur les graduations

- Relever la hauteur h de montée du fluide dans la petite section pour différentes valeurs de i et donc de B en restant dans la zone de linéarité déterminée préalablement avec l'étalonnage. Partir de la valeur max de B et le faire à la descente

- On note :
  - $h_{projete}$ l'élévation mesurée sur l'écran
  - h l'élévation dans le tube de petite section
  - H l'élévation dans le tube de grande section, donc celle qui est dans l'entrefer et nous intéresse

  Mesurer $h_{projete}$ puis remonter à h par une règle de 3 simplement à partir de nombre de graduations, enfin remonter à H en utilisant le fait que $hs = HS$ (et les sections sont obtenues avec $v = sl$ et $V = SL$) par conservation du volume d'où H.

- Tracer $B^2 - B_0^2 = f(H)$ où B_0 est le champ rémanent quand on alimente pas l'éléctroaimant

- Le coefficient directeur est censé être $k = \frac{2\mu_0 \rho g}{\chi_m}$
  On sait que $\chi = 14,60.10^{-6} cm^3/mol$ pour le chlorure de manganèse tétrahydraté SOLIDE ($14,35$ si il n'est pas hydraté). Il s'agit de la susceptibilité magnétique molaire du SOLIDE tétrahydraté.
  On en déduit la susceptibilité du solide hydraté :

$$\chi_m^{(s)} = \frac{\rho^{(s)}}{M^{(s)}} \chi_m^{(s)} = \frac{2010}{197,9} 14,6.10^{-6} = 1,48.10^{-4}$$

  Puis pour en déduire celle de la solution obtenue en diluant 73,9 g dans 100 mL d'eau, on fait le rapport des densités de moment magnétique :

$$\frac{\chi_m^{(s)}}{\chi_{MnCl_2}^{(aq)}} = \frac{2010}{739}$$

  D'où :

$$\chi_{MnCl_2}^{(aq)} = 5,45.10^{-5}$$

  On utilise pour masse volumique de la solution $\rho = 1739 kg/m^3$ (on ajoute la masse volumique de l'eau à celle du solide dilué donc à cette étape connaître la concentration en solide de la solution préparée, ici on avait 73,9g pour 100 mL donc 739g pour 1L)

- Plus grosse incertitude est sur la mesure de H et sur l'estimation de la zone de linéarité (donc incertitude sur B)

Compléments théoriques

Exercice 3.3 Chapitre 6 du BFR EM 4 Milieux ou bien simplement poly sur le FeCl3

2 Milieux magnétiques non linéaires : ferromagnétisme et ferrimagnétisme

2.1 Transition ferro-para

Matériel

- Aimant
- Potence
- Thermocouple
- Gants
- Bec bunsen et gaz

Protocole

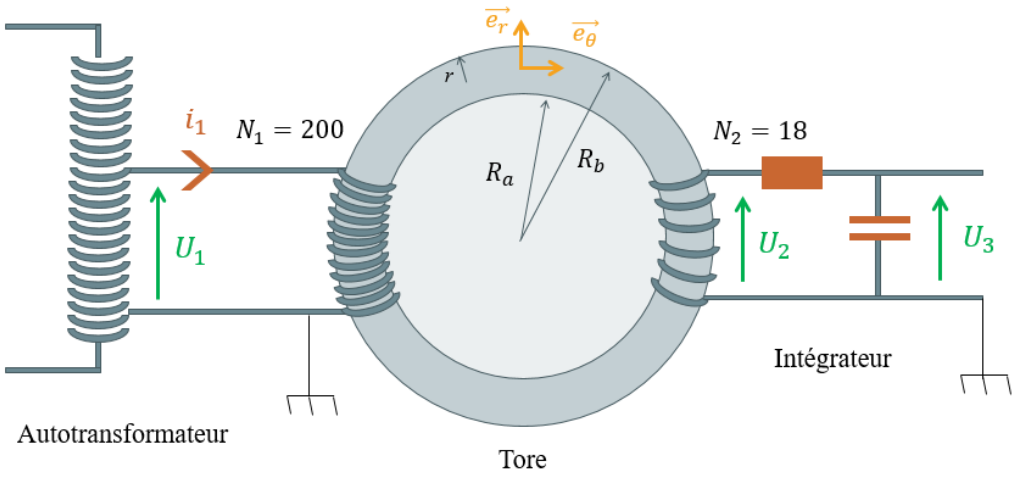
- On mesure la température quand le clou chute, on montre la courbe de χ_m en fonction de T. Pourquoi le clou chute ? Compétition entre force magnétique et le poids. On mets le clou le plus vertical possible pour avoir une chute lorsque Xm est le plus faible donc quand la température est la plus proche de celle de Curie.

Compléments théoriques

2.2 Milieu ferro : visualisation du cycle d'hystérésis + caractérisation des pertes fer

Matériel

- Tore ferromagnétique/Transfo
- Oscillo
- Auto-transformateur
- Auto-transfo
- Filtre RC avec R = 36 k et C=2,2μF
- Amperemètre
- Pince amperemétrique ou transducteur courant-tension



Protocoloe

Voir mes notes de la LP de Elio pour les calculs

- Brancher l'auto-transfo sur le max de spires (300) pour pouvoir négliger $N_2 i_2$ devant $N_1 i_1$, en intercalant le transducteur de courant en AC sur le trajet du circuit courant. En sortie brancher le petit filtre RC sur les 18 spires.
- Visualiser à l'oscillo la tension de sortie du transducteur, donc image du courant, et la tension de sortie du filtre RC. Mode XY. On augmente I LENTEMENT. ATTENTION à bien se mettre en DC sur l'oscillo. Et à vérifier que les fusibles du transducteur ont pas pété.
- La mesure du courant i est image de l'excitation magnétique : $H = \frac{N_1 i}{2\pi r}$
- La tension U aux bornes de C donne une image de B : $B = \frac{U}{2\pi f_c N_2 S}$
- Ainsi on observe i et U en mode XY, on en déduit le cycle d'ystérésis en mode XY, on peut remonter aux valeurs de B_{sat}, B_r, H_c
- Les pertes totales en courant alternatif se décomposent en pertes Joules + pertes magnétiques (hystérésis + Foucault)
  Estimation des pertes Joules : On mesure la résistance du bobinage au primaire et au secondaire en traçant la courbe U=RI en alimentation continue en mettant le secondaire en sortie ouverte puis l'inverse pour le primaire. Attention à faire un montage 4 fils pour
  Ensuite on mesure les pertes totales en alternatif avec le wattmètre, en enlevant bien sur le filtre RC au secondaire, et on y retranche les pertes joules. On trace les pertes fer en fonction de U^2. On cherche à montrer que les pertes fer sont proportionnelles au carré de la tension d'entrée: Les pertes fer sont dues au fait que le matériau ne confine pas parfaitement les lignes de champs magnétiques.
  On étudie le transformateur à vide : seul le primaire est parcouru par un courant.

Les seules pertes sont alors les pertes joules dans la résistance r_1 et pertes fer dans le circuit. En retranchant les pertes Joules on obtient les pertes Fer à la valeur nominale $U_1 = 220$V. Or en RSF pertes fer dépendent uniquement de la tension d'entrée selon la relation :

$$P_{fer} = K_{hyst} f B^2 + K_{foucault} f^2 B^2$$

Donc

$$P_{fer} \propto B^2$$

or

$$U_1 = \frac{d\phi_B}{dt} \propto B$$

d'où finalement

$$P_{fer} \propto U_1^2$$

C'est à dire que les pertes fer ne dépendent que de U_1. Comme on a fait toute l'étude en charge à U_1 fixé à 220V, les pertes fer étaient constantes tout le long, égale à ce que je viens de mesurer !
On mesure les pertes en fonction de U_1 à chaque fois

Compléments théoriques BFR 2 + Cours d'Archambault

2.3 Milieu ferri : étude d'un grenat