

# M16 : Milieux magnétiques

Rapport jury : Il n'est pas souhaitable de se limiter aux milieux ferromagnétiques. Dans l'expérience de mesure de la susceptibilité paramagnétique du chlorure de fer(III), le mécanisme de montée, ainsi que la position du ménisque dans l'entrefer de l'électroaimant doivent pouvoir être justifiés par les candidats. L'étude exhaustive du transformateur n'a pas sa place dans ce montage ; cet appareil n'a d'intérêt que dans la mise en évidence des propriétés des ferromagnétiques. L'effet Meissner ne se résume pas à une « expulsion de ligne de champ ». Les grandeurs mesurées, telles que les champs rémanent et coercitif, doivent être comparées et/ou commentées. Il faut pouvoir justifier la forme des pièces polaires de l'électro-aimant choisi. Dans la mesure de la hauteur d'ascension du  $\text{FeCl}_3$ , l'évaluation du champ B doit être menée avec précision.

## Introduction

Toute matière mise en présence d'un champ magnétique extérieur subit un effet d'aimantation plus ou moins important.

### Manip qualitative:

#### M15-M16 - V-2

Cette expérience permet de distinguer trois grands types de comportement des matériaux vis à vis d'un champ magnétique inhomogène B (Utilisation des pointes de l'entrefer face à face pour créer un champ inhomogène).

3 grandes familles:

- Diamagnétique ( $\chi < 0$ )
- Paramagnétique ( $\chi > 0$ , moyen)
- Ferromagnétiques ( $\chi > 0$ , important)

On va placer des échantillons de volume V au sein de l'entrefer d'un électroaimant.

Les pointes de l'entrefer doivent être bien face à face, et entrefer ajusté au minimum.

Ils vont ainsi être soumis à un champ B inhomogène (ie un gradB) et vont donc subir la force

$$: F = \left(\frac{\chi}{2\mu}\right) \text{grad}(B)^2 V$$

-Électroaimant alimenté par 30 V, ~ 10 A

-Les échantillons doivent être orientés à 45° de l'axe de l'entrefer.

-On attend que les échantillons soient immobiles, puis on allume l'alim. **(Attention ne pas arrêter brusquement le courant!!)**

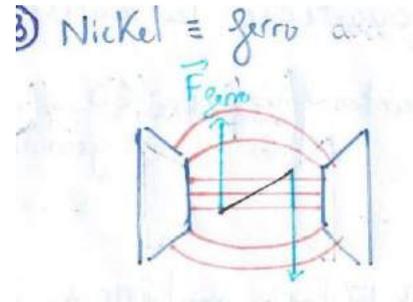
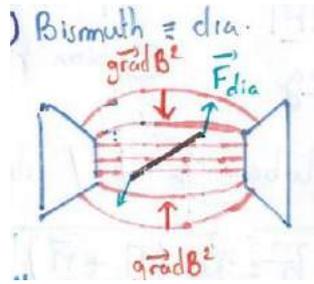
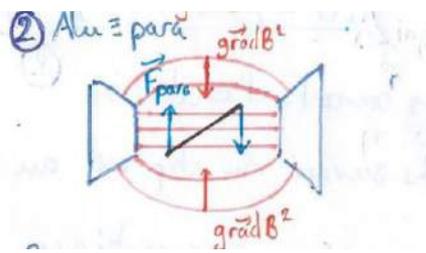
A l'aide d'une webcam, on observe ce qui se passe:

-Bismuth : Diamagnétique, il est éjecté des lignes de champ : normalement perpendiculaire aux lignes de champ.  $\chi < 0$ , donc la force qu'il subit dès qu'il est hors de l'axe est dirigée vers l'extérieur.

-Aluminium : Para, il s'aligne avec le champ.

-Nickel : Ferro, il est directement attiré par le champ rémanent dans l'électroaimant. Si on applique B, il s'aligne suivant ligne de champs.

Faire ce genre de dessins au tableau :



On constate que les forces para/ferro sont dirigées dans l'autre sens, dû au signe contraire de  $\chi$ .

→ Possible d'utiliser des plaques pour visualiser les lignes de champ magnétique. (Les petits aiguilles sont probablement para ou ferro? Regarder en champ rémanent si elle conserve l'orientation pour faire la différence.)

## I - Susceptibilité d'un paramagnétique

Quaranta IV - l'électricité p.341

Poly M15-M16-VI.2

On va mesurer la susceptibilité du  $\text{FeCl}_3$  (par la méthode de Quincke).

-On place un tube coudé rempli de  $\text{FeCl}_3$  tel qu'un côté soit positionné dans l'entrefer du gros électroaimant réglé au minimum. **Testez l'électroaimant en charge avant de mettre le tube!!**

-On veille à ce que la surface soit en dessous du milieu des pôles.

-De l'autre côté du tube, on place une règle graduée au niveau du tube. On installe aussi une caméra.

-On applique un champ magnétique : le  $\text{FeCl}_3$  étant paramagnétique, il va être attiré par les champs forts d'où une remontée vers l'entrefer (et donc une descente du côté de l'observation).

-On relève la dénivellation  $\Delta h (= h_{mes} - h_{ini})$  à l'aide d'ImageJ pour différents champs B.

Sur ImageJ, on prend la mesure en bas du ménisque.

→ On trace sur Regressi h (Attention  $h = 2\Delta h$ ) en fonction de  $B^2$ .

On considère une incertitude sur h et B, pour h incertitude systématique de lecture, et B incertitude de mesure du teslamètre ou moyenne du champ B au sein de l'entrefer.

→ On modélise par une affine (car on ne part pas de  $h=0$  initialement). La pente va nous permettre de déterminer  $\chi(\text{solution})$  puis  $\chi(\text{FeCl}_3)$ .

Comparer avec valeur attendue (voir poly)

Voir Excel

$\chi$  faible (donc faible couplage) et positif car paramagnétique. Ici le paramagnétisme est dû au fer.

## II - Caractéristiques d'un matériau ferromagnétique

**Attention : vidéo projecteur peut faire buguer l'acquisition !!!**

Montage:

- Carte d'acquisition : +/-10V
- R1 permet d'avoir une tension proportionnelle à H. On ne prend qu'une partie du rhéostat pour limiter la tension entrant dans la carte d'acquisition.
- Dans le 2ème circuit, le point diviseur permet d'abaisser la tension entrant dans la carte d'acquisition. Permettant d'obtenir la valeur de B.

**1) Courbe de première aimantation**

M15-M16 - VII.2.2

- Utilisation d'une alimentation continue 30V/5A.
- Attention! Le matériau doit tout de même être désaimanté (au cas où il y'aurait une aimantation résiduelle) → On alimente le transformateur avec l'alternostat et on monte puis abaisse la tension (on doit faire ça après chaque essai !!). Cela permet d'effectuer des cycles d'hystérésis décroissants aboutissant au point (0,0).

Dans Latis Pro :

- EA0 : Vx en mode différentiel (calibre +/- 10 V)
  - EA1 : Vy (calibre +/- 200 mV)
- Acquisition : T = 10s, 10000 points. (On doit se laisser le temps d'augmenter la tension (jusqu'à ~ 30 V) et de la diminuer).

Feuilles de calcul : (Cf poly p.17)

- A partir de Vx, on obtient H
  - A partir de Vy, on obtient B
- On trace B en fonction de H et  $\mu_0 M$  en fonction de H.
- Attention : Il peut y avoir un problème d'offset dû à la carte d'acquisition : on n'est pas pile à 0 avant d'avoir le pic donc l'intégration nous donne un palier non constant → il faut donc supprimer l'erreur.) On effectue aussi un lissage des signaux qui sont entachés de bruits.

Analyse des résultats :

- On voit que M n'évolue pas de façon linéaire avec H. La courbe dépend du matériau utilisé mais elle présente trois parties distinctes :
- Faible valeur de H : l'aimantation augmente de manière linéaire
  - Ensuite croissance de M plus rapide
  - Saturation de M

On ne peut pas déterminer  $\mu_r$  de manière satisfaisante, car le bruit présent fausse les données pour H faible. Donc on va estimer un encadrement : sur la courbe  $B=f(H)$ , on cherche les pentes minimales et maximales pour avoir un encadrement de  $\mu_r (= \mu/\mu_0)$ , car  $B=\mu.H$ . Les pentes correspondant à  $\mu$ , on divise par  $\mu_0$  pour avoir  $\mu_r$ . Comparer ces valeurs à données dans Handbook. On peut aussi comparer aux valeurs des milieux dia et para.

On peut aussi relever  $B_{rem}$  et  $B_{sat}$  à l'aide de la courbe pour la partie 2).

Conclusion: L'aimantation que peuvent prendre les ferro est importante en comparaison avec les dia/para. On peut faire un lien avec l'expérience d'introduction. La forte perméabilité a pour conséquence la canalisation des lignes de champ.

## 2) Phénomène d'hystérésis

### M15-M16-VII.2.3

On voit sur les courbes précédentes que le chemin aller est différent du chemin retour pour l'aimantation. L'aimantation dépend de l'histoire du matériau : phénomène d'hystérésis magnétique.

On a vu qu'il y avait un champ rémanent quand on revient à 0 : ceci explique pourquoi les pièces de la carcasse restent "collées" malgré que le champ appliqué soit nul.

-Pour totalement désaimanter : on doit appliquer un champ inverse = champ coercitif  $H_c$ .

Montage : même que précédemment.

-Toujours penser à désaimanter avec l'alternostat.

Acquisition : doit être + longue (environ 30 sec) et avec la source continue

-On augmente manuellement la tension puis on la ramène à 0

-On inverse le branchement de l'alimentation, et on répète le processus.

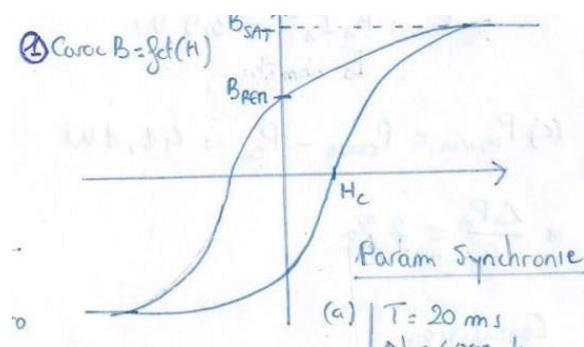
-On re-inverse le branchement et on répète le processus

(On peut aussi utiliser un inverseur pour inverser le courant)

→ Obtention d'un cycle d'hystérésis complet : B en fonction de H

-On peut lisser la courbe.

-On relève le champ rémanent, le champ de saturation et  $H_c$ . Le champs coercitif permet de distinguer 2 types de milieux ferromagnétiques. Ici on est dans le cas d'un ferromagnétique doux (manip compliqué avec un ferro dur).



On peut aussi déduire les pertes par hystérésis en calculant l'aire du cycle

→ Utiliser la fonction Intégration du logiciel.

Voir Excel

On peut comparer avec la puissance consommée par le transformateur à l'aide d'un wattmètre inséré après R1. L'écart entre les 2 est dû au fait que les pertes mesurées sur le cycle correspondent à celles dans la carcasse (perte "fer") alors que la mesure au Wattmètre prend aussi en compte la dissipation par effet Joule (perte "cuivre"). On peut mesurer aussi ces pertes en mesurant le courant et la résistance de la bobine. **Excel**.

### **Conclusion:**

Une des applications majeure du magnétisme et des matériaux ferromagnétiques est le transformateur. Ce dispositif nous est aujourd'hui indispensable pour le transport et la transformation des courants électriques. On peut citer aussi la supraconductivité (diamagnétisme parfait).

### **Questions :**

- Vous avez écrit l'expression de la force qui s'exerce sur le barreau en fonction du champ B, pouvez-vous expliquer la différence de comportement entre diamagnétisme et paramagnétisme à partir de cette force ? Diamagnétisme a tendance à fuir les champs fort, contrairement au para.
- ODG du champ nécessaire pour voir l'alignement.
- Comment appliquez-vous votre bilan des forces sur la solution de  $\text{FeCl}_3$  dans le tube ? Force magnétique, force de pression, poids.
- Que se passe-t-il si on applique le champ B au milieu du tube et non à la surface du liquide ?
- Cycle d'hystérésis : écrire les théorèmes, où prendre les courant/tension... → connaître la théorie.
- Signification de l'aire du cycle ? Dû aux pertes.
- Sur le cycle d'hystérésis, on n'atteint pas vraiment la saturation, que pouvez-vous changer comme paramètres à votre montage pour faire apparaître cette saturation ?

### **Origine des effets → dia/ para/ ferro :**

Sans B

- Dia : pas de moment magnétique permanent
- Para et Ferro: moment magnétique permanent. Para : moment désordonné (au niveau macro, pas beaucoup d'aimantation) et ferro : interaction forte entre les dipôles magnétiques (si désaimanté au préalable : au niveau macro organisation mais au niveau macro quasi nul.)

Avec B :

- Para/Ferro : Alignement dépend de la température. Si Température augmente, ferro → para. Mais pour un para, l'alignement va être désordonnée.