MP16 - Milieux magnétiques

19 Février 2021
Antoine Chauchat & Valentin Dorel

Bibliographie

✍ *poly d'électromagnétisme*, ⟶

Pré-requis

➢

Expériences

- Lévitation magnétique du dioxygène liquide
- Ascension paramagnétique de $FeCl_3$
- Cycle d'hystérésis
- Visualisation des domaines de Weiss

Table des matières

1 Montage 2

Remarque : les manips présentées ici (particulièrement l'ascenscion de $FeCl_3$ et l'observation des domaines de Weiss) sont assez longues à mettre en place en préparation. C'est peut-être (sûrement) très short à faire en 4h si on n'est pas au taquet sur toutes ces expériences.

Introduction

Il existe une grande variété de milieux magnétiques. Dans ce montage nous allons illustrer et quantifier les porpriétés de trois différents types de milieux : les milieux diamagnétiques, paramagnétiques et ferromagnétiques.

1 Montage

Paramagnétisme de O_2 et diamagnétisme de N_2

✍ poly d'électromagnétisme ⏲ 3 minutes

Pour cette manip porter des gants cryogéniques lors de la manipulation des liquides et des lunettes de protection contre les projections possibles.

On plonge en préparation un tube à essai vide dans une deware rempli d'azote liquide. Le dioxygène ayant une température d'ébullition plus élevée il va se liquéfier au fond du tube à essai. On utilise l'électroaimant alimenté à intensité maximale (4.5-5 A). En théorie il faudrait avoir un entrefer très fin (de quelques millimètres) mais la manipulation suivante (ascencion de $FeCl_3$) nécessite un étalonnage de l'électroaimant en préparation. Ainsi l'entrefer est réglé à la largeur mnimale laissant passer le tube contenant $FeCl_3$. Les deux liquides (diazote et dioxygène) sont isolants électriques donc il n'y a pas de risque de ce côté là.

On verse d'abord l'azote liquide : il est diamagnétique ainsi il n'est pas retenu par le champ magnétique et il chute au milieu de l'entrefer. On verse de l'azote liquide aussi sur les pièces tronconiques pour les refroidir. On verse ensuite le dioxygène liquide dans l'entrefer, il lévite pendant plusieurs secondes.

Ascension paramagnétique de $FeCl_3$

✍ poly d'électromagnétisme ⏲ 6 minutes

Le protocole fourni dans le poly est assez complet. **Laver le tube à l'éthanol et le sécher à l'air comprimé avant la manipulation.** Pour la projection optique on a utilisé une lentille de focale $f' = 10$ cm pour avoir un dispositif relativement compact. Les complications sont surtout liées aux phénomènes d'hystérésis du ferromagnétique de l'électroaimant et dus à la capillarité. C'est notamment pour ça que pendant le passage on a préféré faire cette expérience avant la lévitation du dioxygène pour faciliter la prise du point. On réalise une droite en préparation et on rajoute un dernier point à une intensité supérieure à ceux déjà faits (typiquement à 4.5 ou 5 A).

Attention une fois l'expérience commencée on ne peut plus toucher au dispositif optique car la grandeur mesurée est une dénivellation ainsi la hauteur initiale doit rester toujorus au même endroit à l'écran. Essayer d'avoir une zone de netteté la plus grande possible et qu'elle soit bien centrée par rapport à la dénivellation du liquide.

Cycle d'hystérésis du fer doux

✍ poly d'électromagnétisme ⏲ 8 minutes

On visualise d'abord le cycle sur l'oscilloscope si on a le temps. Cela permet de contrôler facilement que l'expérience marche et de montrer la forme du cycle d'hystérésis à saturation.

On a eu pendant le passage un **problème de saturation de la carte d'acquisition**. En effet on ne pouvait avoir le cycle d'hystérésis complet car la carte saturait. En préparation ça avait marché, donc on ne comprends pas trop d'où vient cette saturation. Dans tous les cas pour remédier à cela il suffit de diminuer la résistance au bornes de laquelle on lit la tension (en vérifiant que le courant ne devient pas trop important) et on devrait pouvoir obtenir le cycle saturé (on veut un cycle saturé et pas une carte d'acquisition saturée !).

On peut mesurer le champ rémanent et l'excitation coercitive au réticule sur Latis-Pro après avoir converti les tensions en champ et excitation magnétiques. On évalue les incertitudes sur ces grandeurs à la plage sur laquelle on peut effectuer la mesure.

On exporte ensuite les grandeurs B et H au format txt, on l'ouvre sous Regressi et on peut ainsi calculer l'aire qui est l'énergie volumique perdue par hystérésis. Regressi ne donne pas d'incertitude sur cette mesure si l'on en associe pas à B et H. Soit on en ajoute dans le tableau de valeur soit on l'évalue à la main en se disant que l'aire environ le produit $2B_{\max} \times 2H_{\max}$, en utilisant les incertitudes sur B_r et H_c estimées précédemment et en prenant la formule de propagation des incertitudes.

On peut comparer ce résultat à celui tabulé pour des ferromagnétiques durs : on doit trouver ici une énergie volumique de l'ordre de 200–300 Jm^{-3} alors que pour un ferromagnétique dur c'est de l'ordre de 1×10^4. Ainsi on voit que l'utilisation de matériaux doux permet de limiter les pertes par hystérésis.

Visualisation des domaines de Weiss

✍ poly d'électromagnétisme ⏲ 10 minutes

On utilise l'échantillon de grenat comportant les domaines les plus grands. **Attention contrairement à ce qui est écrit dans le poly, l'objectif ne comporte pas de polariseur. Ainsi il faut tirer la lame du côté inverse à ce qui est indiqué (du côté marqué ENS).**

Ne pas oublier le filtre anticalorique après la lampe QI : en plus de potentiellement abîmer les instruments placés derrière vous n'observerez alors plus les domaines de Weiss du au mauvais fonctionnement des polariseurs dans l'infrarouge.

On les visualise d'abord avec l'objectif pour être sur que tout est bien réglé. Mettre la bobine avec le noyau de fer doux à proximité du microscope, l'alimenter avec GBF et ampli (même alimentation que pour la manip précédente que l'on peut donc réutiliser). Bien vérifier à l'oeil que les domaines bougent à la fréquence du GBF.

On passe ensuite à la caméra IDS sur laquelle on fixe l'objectif macro. Enlever la partie supérieure du microscope (celle qui supportait l'objectif) et fixer la caméra et son objectif à l'aide d'une potence et d'une noix au dessus du microscope. Les réglages sont assez fastidieux au début pour obtenir une bonne image. Laisser assez d'espace (quelques centimètres) entre la caméra et le microscope pour pouvoir translater ce dernier sur toute la course de sa vis de translation. Le diaphragme doit être quasiment au minimum car la caméra sature vite. Zoomer au max avec l'objectif et ajuster la netteté avec la translation du microscope et le focus de l'objectif. L'éclairage doit être le plus uniforme possible : ce n'est pas facile à faire, pour cela jouer avec la distance entre le miroir et la QI, l'orientation du miroir. Il y a également une lentille au dessus du miroir que l'on peut translater avec une vis à la base du microscope.

Une fois que la qualité d'image est bonne on peut enregistrer un film. Pour choisir les FPS il faut aller dans les paramètres et régler l'horloge pixel de la caméra. Enregistrer un film sur lequel on voit quelques cycles.

On traite ensuite ce film sur ImageJ. Dans On utilise l'outil de mesures multiples en allant dans Analyse → Set Measurements choisir Mean gray value et Stack position. Ensuite on utilise l'outil de mesure multiple en allant dans Analyse → Tools → ROI Manager → Multi measure.

On exporte le fichier de résultat qu'on peut ensuite traiter. Nous l'avons traité sur excel. Si on observe le niveau de gris en fonction du temps on observe un graphe analogue au graphe **a.**. On ajuste un cosinus en phase avec ce signal à la main pour simuler l'excitation magnétique imposée (graphe **b.**). On "retourne" une période sur deux du graphe en **a.** car cela correspond à des domaines d'aimantation opposée (la direction de l'aimantation n'est pas visible à la caméra c'est pour ça qu'il faut la prendre en compte "à la main"). On obtient donc le graphe **c.**. En traçant **c.** en fonction de **b.** on obtient le cycle d'hystérésis **d.** très analogue à ce qui a été observé dans la partie précédente. L'origine de l'hystérésis est bien le déplacement irréversible des parois de Bloch.

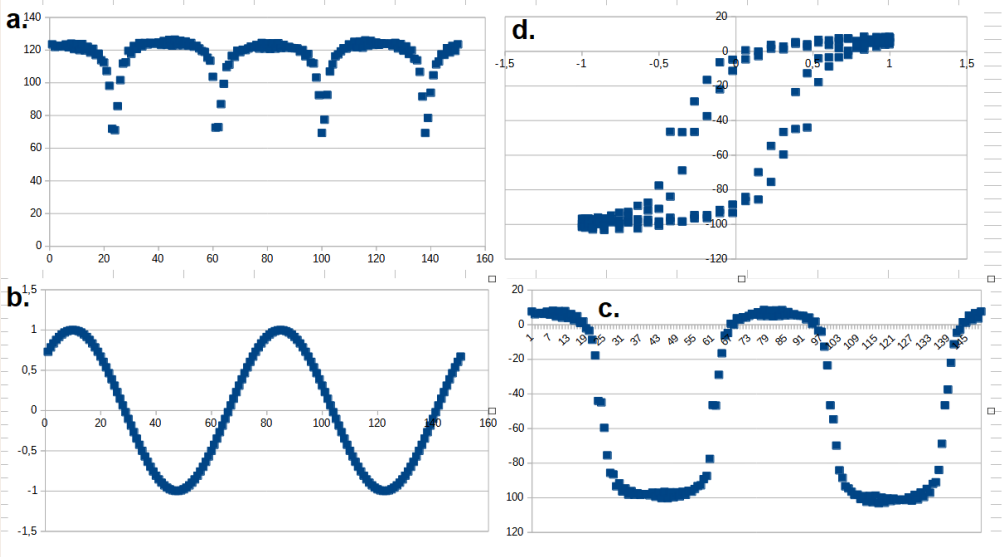

Fig. 1 : Résultats de l'analyse du film de l'évolution des domaines de Weiss.

Manip surprise

On a une lampe quartz-iode, des polariseurs, des lames quart d'onde et demi onde et des lentilles de différentes focales. On veut savoir si la lampe quartz-iode émet une lumière polarisée. Comment fait-on ?

On commence par vérifier si la polarisation est verticale en plaçant un polariseur après la lampe QI. On regarde l'intensité en sortie en faisant tourner le polariseur. L'intensité sortante ne varie pas : → la lampe QI n'émet pas une lumière polarisée rectilignement.

On veut ensuite vérifier si elle émet une polarisation elliptique. Pour cela on met une lame quart d'onde après la lampe QI. Après la quart d'onde on met un polariseur, que l'on fait tourner en observant l'intensité en sortie. Cette dernière ne varie pas, la lampe QI n'émet donc pas une lumière polarisée elliptiquement. Ainsi, la lumière émise par la QI est non polarisée.

Questions

- Expliciter la manip de fecl3. Quel est l'objet de la mesure ?
- Y a t il des incertitudes prépondérantes ?

  Oui, la lecture et la capillarité retard au décrochage initial.
- Quelle est l'abscisse et quelle est l'ordonnée ?

  Le champ magnétique et la dénivellation réelle. La seconde a une incertitude constante estimée à celle de lecture.

  Il y a de nombreuses sources d'hystérésis, on a pris comme la calibrage de l'électroaimant la courbe de première aimantation.
- Quelle est la pente à l'origine de la courbe de première aimantation ?
- Quel est le lien mathématique entre $\mathbf{B}$ et $\mathbf{H}$?

  $H = \frac{B}{\mu_r \mu_0}$, à faible champ excitateur le matériau est linéaire donc la pente doit être non nulle.
- Votre calibration n'est pas sur cette courbe de première aimantation ?

  Oui et on l'a pris en compte.
- Si vous vouliez vous mettre sur la courbe de première aimantation c'est possible ?

  Oui il faut désaimanter en faisant des cycles de plus en plus petits.
- Vous avez une force volumique en gradient de B^2 mais il n'y a plus de gradient dans la dénivellation, pourquoi ?

  C'est en utilisant le principe de la statique des fluides, on va regrouper tous les termes sur un gradient.
- Qu'est-ce-que vous appelez χ ?

  C'est la susceptibilité magnétique, $\mu_r = 1 + \chi_m$.
- Qu'est-ce-qui fait que cette valeur de susceptibilité vous fait dire que c'est un paramagnétique ?

  Le signe est positif donc le matériau est attiré vers les champs forts, il est donc ou bien paramagnétique ou bien ferromagnétique.
- Avec tes données tu peux donner un ordre de grandeur de susceptibilité pour un ferromagnétique ?

  Oui je fais un modèle grossier linéaire de mon cycle d'hystérésis et la pente me donne la susceptibilité. On trouve un ordre de grandeur de
- Pourquoi refroidir l'électroaimant ?

  Pour que le dioxygène liquide ne s'évapore pas au contact de l'électroaimant.
- Le paramagnétisme ou le diamagnétisme est-il le plus commun ?

  Tous les matériaux sont diamagnétiques et le diamagnétisme est masqué dès qu'il y a paramagnétisme. Le diamagnétisme est plus courant c'est pour ça qu'on a du aller chercher un fluide peu commun qu'est $FeCl_3$.
- Comment expliquer le paramagnétisme de O_2 ?

  On fait un diagramme d'orbitales moléculaires.
- Le diazote sera repoussé ou pas affecté, vous avez dit les deux ?

  Le diazote sera repoussé mais l'effet est très faible devant l'influence de la gravité.

- Le montage intégrateur est-il un vrai montage intégrateur ?

  C'est un montage RC qui est intégrateur si on est au-dessus de la fréquence de coupure du filtre RC. Vérifions ça avec les valeurs numériques. Ça a pas l'air de marcher

- Quels sont les problèmes des montages intégrateurs ?

  Il y a une dérive au cours du temps.

- Le montage ne serait-il pas pseudo-intégrateur ?

  Possiblement quelque chose à base d'amplificateur opérationnel.

- Vous avez diminué l'amplitude car vous saturiez la carte d'acquisition, qu'auriez vous pu changer en gardant l'excitation constante ?

  On peut changer la valeur de la résistance. On aurait pu diminuer la résistance.

- C'était pas très clair comment vous sortiez l'incertitude ?

  Pour l'aire du cycle, comme la fonction ne donnait pas d'incertitude associée j'ai du la surestimer en englobant la mesure précédente. C'est pas évident à estimer comme ça. Une méthode serait de faire une étude statistique sur plusieurs mesures.

- Comment avez vous eu vos incertitudes sur B_r et H_c ?

  En considérant mon incertitude de lecture, l'incertitude de la carte d'acquisition et les fluctuations du signal. Ici ça a l'air d'être lié aux fluctuations sur le signal.

- Comment à partir de ces incertitudes remonter à celle sur l'aire ?

  On peut composer les incertitudes relatives car $\int B \,\mathrm{d}H \sim BrH_c$.

- Que se passe-t-il si en cours de cycle d'hystérésis je m'arrête en cours de route et je réduis mon excitation ?

  On va changer de cycles et se retrouver sur des cycles plus petits. C'est comme ça qu'on peut désaimanter.

- Vous auriez pu vous passer de Latis-Pro et transférer les données directement de l'oscilloscope à regressi.

- Les domaines de Weiss c'était bien expliqué, c'était pas quantitatif mais les liens étaient clairs.

- Quelle était l'échelle au microscope ?

- Vous avez une idée des tailles des domaines de Weiss ?

  Il y a une grande disparité en fonction des échantillons. Je dirais que la taille des domaines de Weiss est $1\mathrm{e}-5\mathrm{m}$.

- Il vaut mieux pas inventer et discuter de son ignorance. Le pas de la caméra est une grandeur pertinente. Avoir une échelle quand on montre une image est important. C'était bien pédagogique <3.

- Il y a d'autres types de matériau ?

  Il y a l'antiferromagnétisme, le matériau est repoussé par des hauts champs. Il y a les ferrimagnétiques.

- Les ferrimagnétiques sont moins bons en terme magnétique mais sont pas conducteurs donc on n'a pas de perte par courant de Foucault, pratique pour un transformateur.

- Les supramagnétisme sont des diamagnétiques parfaits.

- Qu'est-ce-qui se passe avec les supraconducteurs ?

  Il a une transition à très faible température, il deviennent de résistivité nulle et ne laissent pas pénétrer les lignes de champ B.

- On peut voir de la lévitation avec du diamagnétisme ?

  Oui avec du bismuth et des hauts champs.

- Avec des matériaux ordinaires et des hauts champs ou avec des aimants au néodyme et un matériau léger et fortement diamagnétique : le graphite. C'est faisable en illustration par exemple. C'est présent dans la collection. C'est bien d'avoir en tête que les supraconducteurs c'est pas de lévitation mais plutôt l'effet Meissner.

Commentaires

C'était très bien. Bien articulé, le matériel est bien décrit sauf l'intégrateur. Faut pas faire que du transformateur mais on peut parler plus de ferro/ferri/antiferro. On peut parler de transition ferro/para et de température de Curie.

Pour améliorer on pourrait faire le lien entre les deux susceptibilités, la calculer pour le ferromagnétisme ce serait un vrai plus. La susceptibilité magnétique est la grandeur transverse à ce montage donc ce serait bien de l'utiliser comme fil rouge.