

Correcteurs : Arnaud Le Diffon¹ et Etienne Thibierge²

Montage présenté le vendredi 8 février 2013

Extraits des rapports du jury

Je vous rappelle que le rapport 2012 de l'épreuve de montage s'attache à présenter en détails les attentes et exigences du jury. Je vous encourage vivement à le lire.

2012 : Ne pas se limiter aux milieux ferromagnétiques. 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.

2008 : 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.

2007 : Il faut pouvoir justifier la forme des pièces polaires de l'électro-aimant choisi.

Commentaires généraux

Le montage présenté était de bonne qualité. Les expériences choisies sont pertinentes et globalement bien menées. Les questions ont montré une vraie réflexion sur les protocoles. Les connaissances théoriques peuvent et doivent être un peu renforcées, ce que permettra la préparation des deux leçons sur le magnétisme.

Le montage est cependant un peu trop ambitieux pour être présenté en entier en 40 minutes. Il faudrait réfléchir à une réorganisation du début de montage évitant d'avoir à installer le tube contenant FeCl_3 dans l'entrefer de l'électroaimant.

Il est inutile de vouloir projeter toutes les expériences à la flexcam, qui engendre beaucoup de complications pour un gain dérisoire. Si le jury veut mieux voir, il se déplacera. Vous pouvez d'ailleurs l'y inviter si vous le jugez nécessaire. Dans ce montage le seul passage où une flexcam est vraiment justifiée est l'étude des domaines de Weiss.

Retour sur le montage présenté

Introduction

Il faut situer le cadre du montage dès l'introduction en définissant les trois types de milieux magnétiques, ce qui a été bien fait.

La relation de proportionnalité $\vec{B} = \mu_0(1 + \chi)\vec{H}$ n'est pas générale : elle est fautive pour les matériaux ferromagnétiques, qui présentent un effet d'hystérésis. La susceptibilité χ est un *coefficient de réponse*, mettant en jeu des dérivées, et qui dépend *a priori* de l'état magnétique du matériau et de son histoire.

1) Diamagnétisme et paramagnétisme

1/ Mise en évidence

2/ Paramagnétisme du dioxygène

La réalisation expérimentale a un peu péché. Il faudrait choisir un autre aimant permanent, plus fort et de surface plus grande, qui retiendrait mieux les gaz liquéfiés.

L'explication théorique du résultat est à connaître, et ce d'autant plus que l'expérience est souvent présentée. Elle repose sur les diagrammes d'orbitales moléculaires de N_2 et O_2 , à aller regarder dans votre livre de chimie préféré. Le diagramme de N_2 ne présente que des électrons appariés, au contraire de celui de O_2 . Ces électrons non appariés alignent leur spin, conférant à une molécule de O_2 un moment magnétique permanent, et donc un caractère paramagnétique à l'espèce chimique.

3/ Mesure de la susceptibilité de FeCl_3

Cette expérience est délicate et ne donne pas toujours les résultats espérés. Pensez à faire nettoyer le tube en U avant son départ pour l'oral, éventuellement à préparer une nouvelle solution, et à agiter le flacon contenant la solution avant de remplir le tube car celle-ci sédimente.

Les effets de capillarité sont une source d'incertitude importante. Ils interviennent de deux façons différentes, et un choix adapté de protocole permet d'en éliminer une partie. Vous n'échapperez pas à la présence d'un ménisque compliquant le repérage. Mais la tension superficielle intervient aussi via l'hystérésis de mouillage : la hauteur du liquide n'est pas la même s'il descend ou s'il monte. Pour s'affranchir de cet effet, il faut réaliser l'expérience en augmentant puis en diminuant le champ magnétique et en moyennant les hauteurs mesurées à la montée et à la descente.

Contrairement à ce qui est écrit dans le poly, il n'est pas nécessaire de se limiter au domaine de linéarité de l'électroaimant. Si celui-ci a été étalonné, le champ est connu pour n'importe quel courant. C'est justement l'intérêt d'un étalonnage !

La démonstration de la loi donnant χ_{FeCl_3} en fonction de χ_{sol} n'est pas si évidente. Elle se base sur l'extensivité du moment magnétique \vec{m} , et la définition de l'aimantation \vec{M} qui n'est autre que le moment magnétique par unité de volume. On a :

$$\begin{aligned} \vec{m}_{\text{sol}} &= \vec{m}_{\text{FeCl}_3} + \vec{m}_{\text{eau}} \\ V_{\text{sol}} \vec{M}_{\text{sol}} &= V_{\text{FeCl}_3} \vec{M}_{\text{FeCl}_3} + V_{\text{eau}} \vec{M}_{\text{eau}} \\ V_{\text{sol}} \chi_{\text{sol}} \vec{H} &= V_{\text{FeCl}_3} \chi_{\text{FeCl}_3} \vec{H} + V_{\text{eau}} \chi_{\text{eau}} \vec{H} \\ \frac{m_{\text{sol}}}{\rho_{\text{sol}}} \chi_{\text{sol}} &= \frac{m_{\text{FeCl}_3}}{\rho_{\text{FeCl}_3}} \chi_{\text{FeCl}_3} + \frac{m_{\text{eau}}}{\rho_{\text{eau}}} \chi_{\text{eau}} \end{aligned}$$

1. arnaud.le_diffon@ens-lyon.fr

2. etienne.thibierge@ens-lyon.fr, <http://perso.ens-lyon.fr/etienne.thibierge>

En négligeant le terme dû à l'eau, on arrive au résultat annoncé.

Choisir une modélisation linéaire plutôt qu'une modélisation affine pour h en fonction de B^2 est discutable, bien que je pense qu'elle n'influe pas beaucoup sur le résultat. Cela revient à supposer que le repérage du zéro est fait de façon parfaite, ce qui me semble douteux en raison des phénomènes d'hystérésis de l'électroaimant et de mouillage.

Attention à la mise en scène pédagogique. Même si vous utilisez un générateur performant dont l'affichage donne des valeurs fiables, le jury ne le sait pas forcément et risque de vous reprocher de ne pas avoir utilisé un ampèremètre (donc un appareil de mesure) pour mesurer le courant débité.

II) Ferromagnétisme

1/ Mise en évidence

2/ Transition ferro-para

L'expérience est qualitative et ne peut pas donner un résultat très précis. Cela ne dispense pas d'une utilisation soigneuse du thermocouple, où la soudure froide doit être placée dans un bain eau-glace homogène (il faut donc l'agiter) et sans toucher la paroi du bécher.

C'est bien de reconnaître qu'on ne sait pas interpréter l'écart au résultat tabulé, mais inutile d'en faire trop :)

Il faut avoir quelques connaissances sur cette transition de phase pour pouvoir répondre aux questions. C'est d'autant plus rentable que l'expérience revient souvent.

3/ Hystérésis magnétique

Il faut mieux expliquer le dispositif expérimental en faisant explicitement référence aux lois physiques exploitées. Ainsi il faut justifier en une phrase pourquoi le courant au primaire est proportionnel au champ H (théorème d'Ampère et secondaire à vide) alors que la tension de sortie de l'intégrateur est proportionnel au champ B (loi de Faraday intégrée).

Le choix de la fréquence de travail n'est pas anodin. Elle doit être suffisamment petite car les courants de Foucault augmentent comme f^2 , mais suffisamment grande car il faut être au delà de la fréquence de coupure de l'intégrateur pour observer le comportement voulu.

Les expériences présentées ne sont pas les plus judicieuses, car elles demandent un traitement informatique

lourd qui prend trop de temps. Je conseille de s'abstenir de mesurer l'aire du cycle, ce qui permet de faire les acquisitions sur un oscilloscope en mode XY DISPLAY ∞ . Il faut mesurer le champ rémanent et l'excitation coercitive, et réaliser des démonstrations qualitatives ensuite. On pourra montrer la désaimantation adiabatique, la courbe de première aimantation, l'universalité de la pente lorsque l'on inverse le sens du champ, l'existence d'un cycle limite dans lequel sont inclus tous les autres, l'apparition de courants de Foucault et leurs conséquences, etc.

Attention, le champ \vec{B} ne sature pas vraiment, c'est l'aimantation \vec{M} qui sature. Comme $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$, \vec{B} continue à croître avec \vec{H} même une fois que \vec{M} a saturé, mais avec une pente bien plus faible.

III) Echelle mésoscopique

Les domaines étaient très visibles, et c'est ce qu'il faut. Cette expérience doit être présentée avec une caméra, celle choisie était très bien.

Le lien entre le comportement des domaines de Weiss et les propriétés macroscopiques du matériau est très bien expliqué par BFR *Electromagnétisme IV*.

Questions

Les questions à la suite d'un montage portent quasi-exclusivement sur les protocoles expérimentaux et les mesures que vous avez réalisées.

Des questions sur l'utilisation et les applications des milieux magnétiques peuvent vous être posées : ayez un minimum de culture technologique à ce sujet !

Comme la plupart des lois testées dans ce montage ne sont pas immédiates à obtenir, je pense que le jury est susceptible de vous demander au moins l'idée de base des démonstrations.

Conclusion

Le montage présenté était convaincant et les expériences globalement pertinentes. Un peu de réorganisation du début du montage pourrait permettre de se réserver plus de temps pour présenter les propriétés du ferromagnétique.

Si vous avez d'autres questions, nous restons à votre disposition par mail, en TP ou dans de futures séances de correction.