MP16 – Milieux magnétiques

12 juin 2021

Nicolas Barros & Abel Feuvrier

Oui
Mr C

J'ai mis les paras au pas.

Serge Gainsbourg

Niveau : L3

Commentaires du jury

Bibliographie

✍ *Poly de TP*, **Ferrand** ⟶ À peu près tout

✍ *Cours d'électromag dans la matière*, **Volk** ⟶ Théorie sur les cycles d'hystérésis, l'ascension du liquide ferromag

✍ *Physique Expérimentale, le nouveau vert*, **Jolidon** ⟶ Rappel théorique impécable, astuces utiles redéveloppées dans ce rapport, compléments excellents pour les questions

Points à faire en préparation

➢ Ascension du liquide ferromagnétique

Expériences

☕ Mesure de la susceptibilité magnétique d'un liquide paramagnétique

☕ Mesure de paramètres d'un tore de ferrite ferromagnétique

☕ Mesure des pertes énergétiques dans le tore

Table des matières

1 Liquide paramagnétique **2**

2 Milieu non-linéaire : cycle d'hystérésis d'un tore ferromagnétique **3**

2.1 Mesures des champs rémanent et coercitif du tore 3

2.2 Mesure des pertes volumiques dûes à l'hystérésis 4

3 Bonus **5**

Parcourir rapidement les LP 45 et 46 peut être une bonne idée. (+ les domaines de Weiss : BFR/wikipédia/Trémolet)

Introduction

Y a des milieux qui ont des comportements intéressants quand on leur applique un champ magnétique.

Barreaux qui s'alignent
✍ Poly de TP Ferrand
Le barreau d'alu s'aligne avec le champ de l'électroaimant, celui de bismuth s'aligne à la perpendiculaire. On va essayer de quantifier ça.
(L'effet est léger, ne pas forcer, c'est juste une toute petite manip d'intro)
Peut être marquer quelques formules au tableau pour fixer les idées.

1 Liquide paramagnétique

✍ Poly de TP Ferrand, Jolidon vert

On mesure la susceptibilité magnétique d'un liquide paramagnétique ($FeCl_3$) grâce au montage du schéma 1.

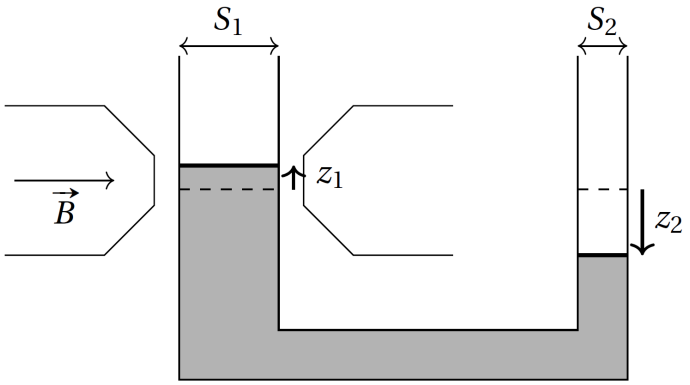

FIGURE 1 – Mesure de la susceptibilité paramagnétique d'une solution de $FeCl_3$

Ascension d'un liquide paramagnétique

✍ Poly Ferrand 🕒 10 minutes why not

On mesure la susceptibilité paramagnétique d'une solution de $FeCl_3$ grâce à un électroaimant et à un tube en U flexible de dimensions connues.

- On réalise le dispositif du schéma 1 en alimentant l'électroaimant avec une bonne grosse alim bien solide.
- On fait l'image du tube 2 sur un écran gradué avec une lampe **Attention : une fois mis en place, le tube, la lampe, la lentille et l'écran ne doivent plus bouger tout au long de l'expérience !** Sinon on change le grandissement et on fausse les mesures.)
- Pour différentes intensités croissantes, on mesure le champ magnétique B dans l'entrefer de l'aimant et la hauteur z du liquide dans le tube.
- On trace $z = f(B^2)$. Le coefficient directeur vaut $\frac{\chi}{2\mu_0\rho g\left(1+\frac{S_2}{S_1}\right)}$.
- On en déduit $\chi \simeq 10^{-3}$.

Pourquoi placer le ménisque dans l'entrefer ?

On établit dans le poly de TP que l'équilibre hydrostatique entre les deux extrémités du tube s'écrit (si on considère que le champ magnétique est nul à l'extrémité 2) :

$$-\rho g z_1 + \frac{\chi_{\text{sol}}}{2\mu_0}\vec{B_1}^{\,2} = \rho g z_2 \tag{1}$$

Donc si le ménisque n'est pas dans l'entrefer, on ne voit rien (en terme de forces : elles se compensent).

Plusieurs remarques :

- Y a quelques pièges, bien lire le poly de TP (y compris la page 13 !)
- Une lentille de courte focale permet de prendre moins de place, mais donne un grandissement plus faible. C'est donc un compromis entre la place que prend la manip et la précision des mesures. Une focale de 10 cm fait l'affaire.
- L'hystérésis de l'électroaimant ne devrait pas poser de problème, mais gare à celle dans le tube liée à la tension superficielle ! Faire les mesures en champ magnétique croissant en préparation. Le point fait en live aura donc forcément une hysteresis, à moins qu'on garde celui en bout de cycle - attention dans ce cas à ne pas faire saturer l'électroaimant. Cette dernière option est la meilleure.
- Pièces tronçonniques ou pièces cylindriques ? Les tronçonniques permettent d'atteindre de plus grandes valeurs de champ magnétique mais les cylindriques permettent d'obtenir un champ plus uniforme. C'est un compromis : est-ce qu'on veut une courbe $z = f(B^2)$ qui va plus loin ou qui a des points dont l'abscisse est mieux connue ? Petite préférence personnelle pour les cylindriques, mais les deux se justifient.
- D'après Wikipédia, $FeCl_3$ est toxique et hautement corrosif. Sa dangerosité est liée à sa grande hygroscopie (il capte l'eau), donc en solution ça doit aller. Ceci dit, il serait peut-être pertinent de mettre des gants et surtout de ne pas vider le tube dans l'évier (quand on est pas à l'ENS où tout est re-traité).
- La plus grande source d'erreur est la tension superficielle, qui est discutée plus avant dans le nouveau Jolidon.
- On fait les mesures au teslamètre à sonde à effet Hall pour différentes intensités. C'est mieux que d'étalonner (hysteresis). Pour le fonctionnement de la sonde à effet Hall, et pourquoi il faut la retourner, go Jolidon. On pensera dans la prise des valeurs de I -et donc B et donc h- à deux choses : 1) On attend une variation en B^2.Il faut donc chercher à rapprocher les points pour I autour de 2-3-4A. En revanche quand on commence à saturer ça sert plus à rien de rapprocher les points à différentes intensité car c'est le même couble (B,h) qu'on va mesurer.

Tous les matériaux ne sont pas paramagnétiques, il existe d'autres comportements, notamment des comportements non linéaires.

2 Milieu non-linéaire : cycle d'hystérésis d'un tore ferromagnétique

2.1 Mesures des champs rémanent et coercitif du tore

La ferrite qui constitue le tore n'est pas un milieu linéaire : elle présente un cycle d'hystérésis (c'est-à-dire que sa susceptibilité magnétique μ dépend de l'histoire du système). On va mesurer les quantités qui caractérisent ce cycle d'hystérésis, grâce au montage de la question 2. Tout est dans le poly de TP.

Or on a $u \propto H$ et $V_s \propto B$; donc en traçant V_s en fonction de u on observe, à une ou deux homothéties près, le cycle d'hystérésis de la ferrite, représenté schématiquement en figure 3.

Sur cette figure, on peut voir le champ coercitif H_c et le champ rémanent B_r. On va les mesurer pour notre tore.

Mesure des champs rémanent et coercitif du tore

✍ Poly Ferrand ⏲ 10 minutes à peu près je suppose

On réalise le montage de la figure 2 avec les composants indiqués dans le poly de TP.

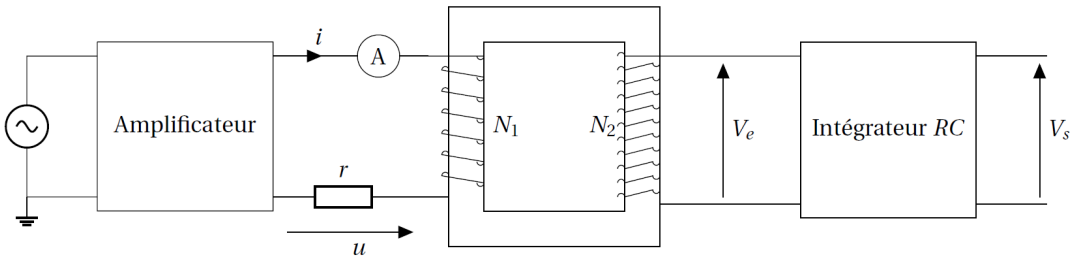

FIGURE 2 – Montage pour le tracé du cycle d'hystérésis d'un tore ferromagnétique

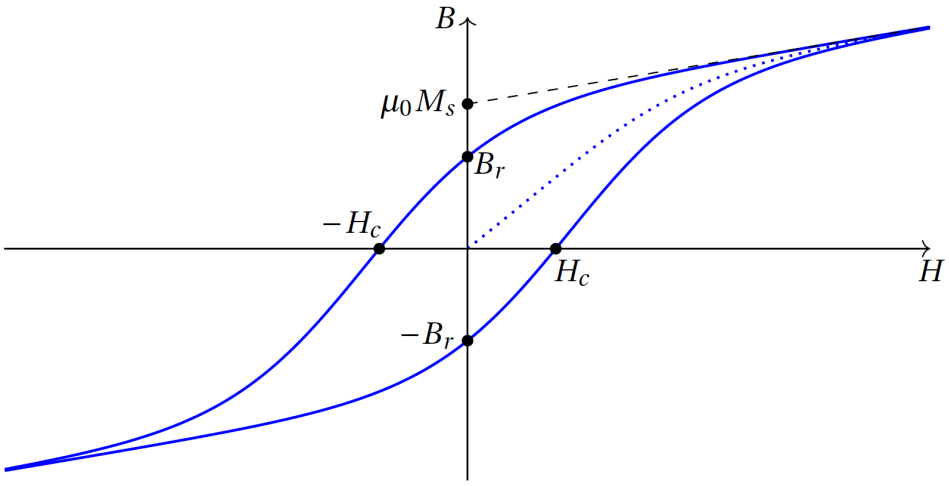

FIGURE 3 – Cycle d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique (celui de la ferrite est plus large)

- On balance quelques volts (de quoi saturer le tore) à 1 Hz à peu près, on visualise u et V_s en XY sur l'oscilloscope.
- On mesure les tensions correspondant aux grandeurs de la figure 3.

Globalement ça marche très bien. Quelques remarques :

- Attention pour les mesures : les signaux qu'on obtient ne sont pas centrés !
- On peut faire les mesures directement en mode XY, mais encore une fois attention au non centrage (?) du système.
- Le mode HD de l'oscillo permet d'obtenir des courbes plus propres.

2.2 Mesure des pertes volumiques dûes à l'hystérésis

☕

Mesure des pertes volumiques dûes à l'hystérésis

✍ Poly Ferrand ⏲ 10 minutes

On va mesurer les pertes volumiques dûes au cycle d'hystérésis. On reprend le montage précédent.

- On enregistre, pendant une période, les tensions u et V_s sur Latis.
- Toujours sur Latis, on recentre les enregistrements et on calcule les champs H et B associés.
- On exporte les données H et B en .txt (les paramètres par défaut d'export font très bien l'affaire).
- On ouvre les données avec Regressi et on calcule l'"aire(B,H)" (en feuille de calcul Regressi dans le texte), ce qui nous donne la puissance volumique $P \simeq 50$ W/m^2.

Pour la justification théorique et le background théorique en général, voir les LP 45 et 46.

Conclusion

Mentionner à quoi tout ça sert ? On peut faire le lien avec les aimants permanents, voir les montages de machines synchrones. On peut aussi parler des domaines de Weiss -on a fait que du macroscopique dans ce montage-, ou pour la culture G aborder le paléomagnétisme.

3 Bonus

Prévoir une petite manip introductive diamagnétique / paramagnétique / ferromagnétique en intro ?
En vrac :

- S'attendre à des questions sur le teslamètre, l'intégrateur, l'AO de l'intégrateur, voire même les aspects microscopiques du magnétisme.
- On a pas eu à l'étalonner donc on s'en est un peu servi comme d'une boîte noire, mais prévoir des questions sur notre électroaimant. En gros c'est des solénoïdes qui entourent un milieu ferromagnétique, comme notre tore de ferrite. La courbe $B = f(I)$ n'est pas une droite et est sujette à hystérésis, à cause de cet aspect ferromagnétique.
- D'après Wikipédia, **une** ferrite est une solution de carbone dans le fer α, ferromagnétique, dont le point de Curie est à 770 °C ; tandis qu'**un** ferrite est une céramique à base d'oxyde de fer, ferromagnétique aussi, de température de Curie entre 125 et 300 °C. Ici on est en présence d'**une** ferrite. La ferrite est également le seul craft possible pour les mineurs niveau 1 sur Dofus, mais on s'éloigne un peu du sujet.
- Les pertes par courants de Foucault sont en f^2 et les pertes par hystérésis en f et je ne sais pas quoi faire de cette information.
- Rappel notations : $\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{M}\right) = \mu_0(1+\chi)\vec{H} = \mu_0\mu_T\vec{H}$.

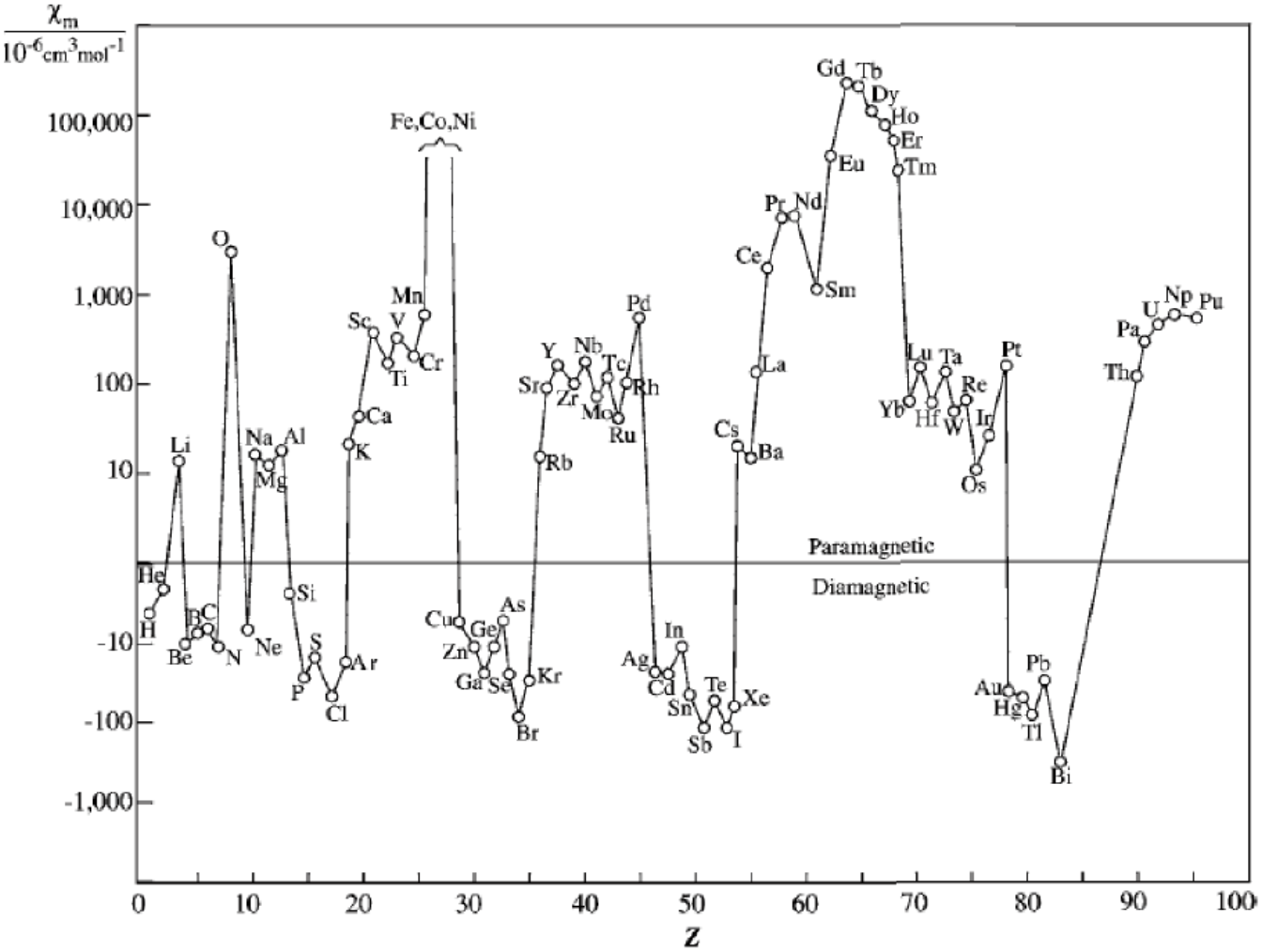

Figure 4 – Ordres de grandeur de susceptibilités magnétiques (cours Volk)