

MP16 : Milieux magnétiques

Toute matière en présence d'un champ magnétique H subit un effet plus ou moins important de la part de ce champ. Il existe un champ volumique d'aimantation M intrinsèque au matériau. Le champ magnétique B est la somme de ces deux champs.

$$H + M = \frac{B}{\mu_0}$$

A faible champ excitateur on a $M = \chi_m * H$. Avec χ_m la susceptibilité magnétique, on peut donc écrire la relation $B = \frac{\mu_0 * H}{1 - \chi_m}$.

Un matériau magnétique peut donc être caractériser par sa susceptibilité magnétique. Il existe trois grands types de milieux magnétiques.

- Diamagnétisme : cette propriété est présente dans toute matière. Ce phénomène provient de l'appariement des électrons. Les matériaux uniquement diamagnétiques sont légèrement repoussés par le champ magnétique, l'aimantation volumique est en sens opposé au champ excitateur. La susceptibilité de ces corps est négative et plutôt faible en valeur absolue. On peut citer le bismuth comme exemple.
- Paramagnétisme : La susceptibilité de ces matériaux est positive car ici sous l'effet d'un champ excitateur une aimantation apparait et elle s'oriente dans le même sens que le champ excitateur. Cette propriété provient du non appariement de certains électrons. L'aluminium peut être cité comme exemple.
- Ferromagnétisme : Cette propriété de la matière est liée à la précédente puisqu'au-delà d'une certaine température un matériau ferromagnétique devient paramagnétique, on parle de la température de Curie. Ici la susceptibilité magnétique est également positive mais elle est beaucoup plus élevée. Les matériaux ferromagnétiques peuvent garder leur aimantation même lorsqu'aucun champ extérieur n'est appliqué. Le cobalt est un composé ferromagnétique.

Dans ce montage on s'intéresse à quelques propriétés des milieux magnétiques, on va déterminer une susceptibilité, une température de Curie ainsi qu'un phénomène typique des corps ferromagnétiques. Nous ne nous intéresserons pas aux corps diamagnétiques dans ce montage car c'est une propriété présente dans toute matière et la valeur de la susceptibilité étant faible il est difficile d'observer ce comportement.

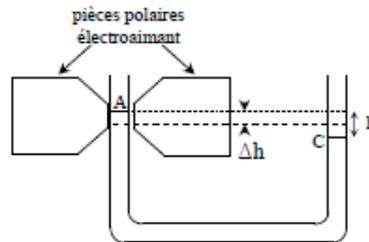
1) Détermination de la susceptibilité d'un liquide paramagnétique

Matériel :

- Une solution de FeCl_3 à 5 mol/L (on ne peut pas faire plus concentré)

- Un tube en U
- Un électroaimant capable d'atteindre 0.1 T
- Une caméra avec logiciel d'acquisition
- Une sonde à effet Hall (savoir comment elle fonctionne)

Principe :



Placer le tube en U rempli de la solution dans l'entrefer, le niveau du liquide doit être légèrement en dessous du milieu des pôles. Lorsqu'un champ magnétique est créé dans l'entrefer le liquide monte dans celui-ci car il est attiré par ce champ de par son caractère ferromagnétique. Si le liquide était diamagnétique il tend à sortir de l'entrefer. La force magnétique ne dépend que des champs magnétiques situés aux extrémités du liquide.

Grace à ce changement de niveau il est possible de remonter à la valeur de la susceptibilité magnétique.

A l'équilibre on peut écrire :

$$-\mathbf{grad} P + \rho_{sol} * \mathbf{g} + \frac{1}{2\mu_0} * \chi_{sol} * \mathbf{grad} B^2 = 0$$

En intégrant cette expression on obtient :

$$\begin{aligned} P(A) + \rho_{sol} * g * z(A) - \frac{1}{2\mu_0} * \chi_{sol} * \mathbf{grad} B^2(A) \\ = P(C) + \rho_{sol} * gz(C) - \frac{1}{2\mu_0} * \chi_{sol} * \mathbf{grad} B^2(C) \end{aligned}$$

$$\text{Donc } h = \frac{\chi_{sol}}{2 * \mu_0 * \rho_{sol} * g} (B^2(A) - B^2(C))$$

Or on veut la susceptibilité de FeCl3 et non de la solution donc il faut exprimer l'une en fonction de l'autre : $V_{sol} * \chi_{sol} = V_{FeCl3} * \chi_{FeCl3} + V_{eau} * \chi_{eau}$ la susceptibilité de l'eau étant très faible on peut la négliger. On a alors un lien direct entre h et la susceptibilité de FeCl3 :

$$h = \frac{\chi_{FeCl3} * \%massique\ de\ FeCl3}{2 * \mu_0 * \rho_{FeCl3} * g} (B^2(A) - B^2(C))$$

On utilise la sonde à effet hall pour connaître le champ.

Remarques :

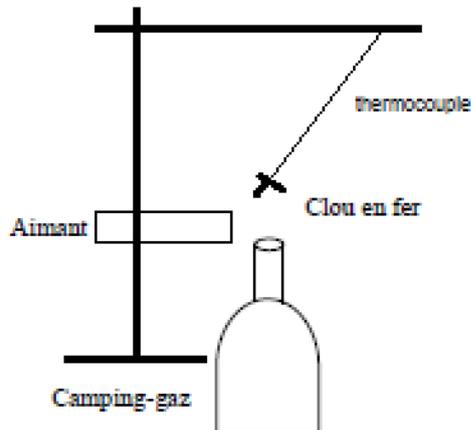
- il peut être bien de faire une courbe d'étalonnage du champ dans l'entrefer et hors de l'entrefer en fonction du courant imposé car c'est plus précis que de mesurer alors que le tube est en place.
- Il faut mesurer h dans deux cas pour s'affranchir un peu des soucis de ménisque : du champ nul vers un champ B et inversement. Il faut ensuite moyenner h .

II) Détermination de la température pour un corps ferromagnétique

Lorsque la température d'un matériau ferromagnétique augmente son aimantation décroît. Le ferromagnétisme disparaît au-delà d'une certaine température appelée température de Curie T_c qui dépend du corps. Les matériaux deviennent alors paramagnétiques.

Matériel :

- Un clou en fer
- Un thermocouple permettant d'atteindre des températures d'au moins 900°C
- Un aimant permanent
- Une source de chaleur (camping gaz)
- Un logiciel permettant d'enregistrer la température en fonction du temps
- Fil en cuivre permettant d'accrocher le clou et le thermocouple



Remarque : Faire plusieurs mesures et regarder l'écart-type.

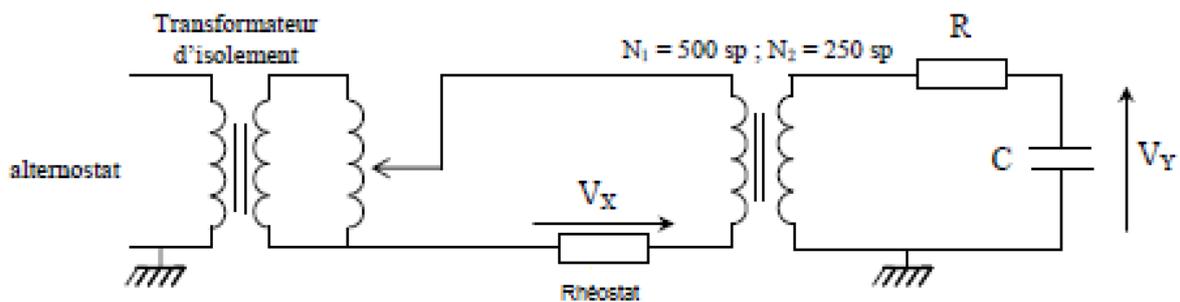
La valeur théorique est de 770°C .

- $T < T_c \Rightarrow$ matériau ferromagnétique : aimantation rémanente entraînant l'attraction entre le clou et l'aimant
- $T > T_c \Rightarrow$ matériau paramagnétique : il n'y a plus d'aimantation rémanente

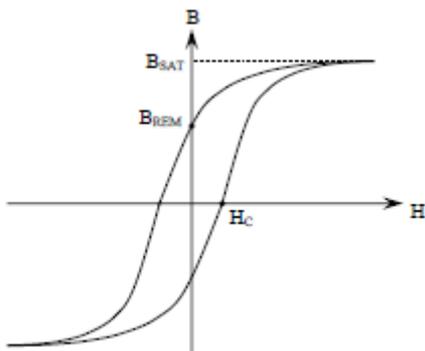
III) Etude du cycle d'hystérésis d'un corps ferromagnétique

Matériel :

- Alternostat
- 2 noyaux de fer doux
- 2 bobines 1000 spires
- 1 bobine de 500 spires
- 1 bobine de 250 spires
- 1 rhéostat de petite résistance
- 1 résistance de 15 kΩ
- 1 condensateur de 1.5 μF
- 1 oscilloscope
- 1 ordinateur



Ce phénomène est typique des corps ferromagnétiques, il peut être mis en évidence après tracé de la courbe de 1° aimantation (si vous avez le temps). Lorsque le champ exciteur diminue la courbe ne suit pas le chemin qu'elle a pris lorsque le champ augmentait.



On peut mesurer B_{sat} : champ à saturation, B_{rem} : champ rémanent et H_c : champ coercitif en traçant le cycle d'hystérésis sur ordinateur.

$$H = N_1 * \frac{V_x}{R_h * l}$$

$$B = V_y * R * \frac{C}{N_2 * S}$$

Avec la longueur du noyau de fer doux et S sa surface.

A faible excitation il est possible de trouver la valeur de la susceptibilité magnétique.

Bien d'autres expériences peuvent être réalisées sur les milieux magnétiques car il s'agit d'un sujet très vaste cependant nous avons vu des notions de base. Les utilisations des matériaux ferromagnétiques sont diverses et selon si le matériau est doux ou dur les propriétés sont différentes (aimant permanent ou électroaimant).

Bibliographie :

Bertin Faroux Renault : Electromagnétisme 4

BUP 651 : cycle d'hystérésis magnétique

Handbook

Stöcker Jundt Guillaume : Toute la physique

(Quaranta tome 4)