

MP15 : Production et mesure de champs magnétiques

Bibliographie :

- Dictionnaire de p. exp., tome IV ; Lucranta et Donnini (articles sur aimant, ferromagnétisme, champs magnétiques tournants)
- Magnétisme : statique, induction et milieux ; Garing (Traité d'un cycle d'hystérésis p. 362)
- Gruber PCST p. 249 (Effet Hall)
- Electromagnétisme 2 ; Bertin, Fournier et Penault (p. 393)

Introduction :

- aimants connus depuis longtemps (magnétite = roche de magnésie, en Thessalie)
- expériences et théorie au début du XIX^e s ; 1925 : 1^{er} aimant
- Depuis, les champs $\vec{B}$ sont omniprésents de la vie quotidienne aussi bien qu'en recherche.

OG : $B_{terrestre} \sim 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ $B_{continu}$ en RMN $\sim 10 \rightarrow 50 \text{ T}$
 $B_{aimant} \sim 0,1 \text{ T}$ $B_{pulse} \rightarrow 100 \text{ T}$

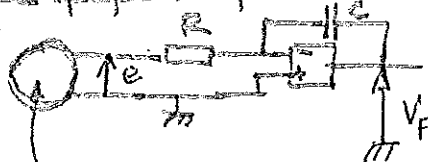
Il est de important de maîtriser les chps $\vec{B}$: on va voir comment les mesurer, puis comment les produire.

I - Mesure de champs magnétiques

On va utiliser $\neq$ effets des chps $\vec{B}$ pour mesurer leur intensité.

1. Thermomètre

Le ppe repose sur la loi de Faraday.



N spires de surface S

à $t = 0$, on retire la spire de la zone où se trouve $\vec{B}$.

AO linéaire : $V_+ = V_- = 0$

$$\text{Chm de Thévenin : } V_- = \frac{V_F \frac{1}{RC} + \frac{e}{R}}{\frac{1}{RC} + \frac{1}{R}} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_F = -\frac{1}{RC} e \end{array} \right.$$

$$\text{Loi de Faraday : } e = - \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow V_F = \frac{1}{RC} \Delta\Phi$$

$$\boxed{V_F = \frac{NS}{RC} B}$$

Rq : L'effet de l'AO fait dériver V_F peu à peu : il faut q le tp de manipul^o de la sonde T_{exp} vérifie $T_{exp} \ll RC$ et q l'effet soit bien compensé. Pour cela, on utilise les intégrateurs tout montés de la collection (1) I entré. $< 100 \text{ mA}$: fusibles).

Résumé: $R = 10^{-4} \Omega$ $C = 1 \mu F$ $NS = 4000 cm^2$ $K = 0,12$ $\#$ l'exp. $\rightarrow$ 215
(effet bien compensé)

Dans l'électroaimant, pour $\begin{cases} z = 6,1 \pm 0,3 cm \\ I = 6,00 \pm 0,02 A \end{cases}$, on

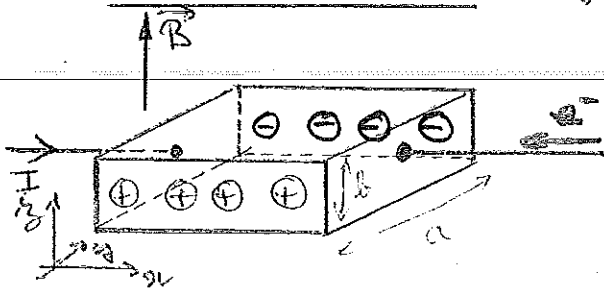
mesure: $V_F = \pm$

d'où: $B = \pm$ $\frac{\Delta B}{B} \approx \frac{\Delta V_F}{V_F}$

Le fluxmètre permet de faire des mesures dans la matière (cf. I-3.) mais:

- l'effet doit être bien compensé.
- on ne va pas dans une région à champ et nul à l'extérieur
- on moyenne le champ sur toute la surface de la spire.

2. Galvanomètre [Gécoras] n : densité de porteurs.



Les porteurs de charge
(des e^- de notre cas: plaque de Ge dopée N)
subissent une force mag.
 $\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}$

Ils sont déviés et des charges de surface apparaissent, créant un champ $\vec{E}_H$ et une tension U_H transversales.

à l'éq., $\vec{F}_H + \vec{F}_m = \vec{0} = q(\vec{E}_H + \vec{v} \times \vec{B})$

Or, $\vec{v} = \frac{\vec{I}}{q n} = \frac{j \vec{e}_x}{q n}$ de $\vec{E}_H = - \vec{v} \times \vec{B} = \frac{j B}{n q} \vec{e}_y$

alors, $U_H = \int_{-a/2}^{a/2} \vec{E}_H \cdot d\vec{y} = \frac{j B a}{n q}$ de $U_H = \frac{I B}{n q b}$

d.b.: Les soudures de part et d'autre de la plaque n'étant pas sym., une partie de $U_{mesurée}$ est due à la chute ohmique "normale" $\rightarrow$ On retourne la plaque et on moyenne!

Mesure: $V_+ = \pm$ $V_- = \pm$ $U_H = \frac{V_+ - V_-}{2}$ $U_H = \pm$

avec $I_{soudé} = 20 mA$

Champ rémanent: $B_r \sim$

Excitation coercitive: $H_c \sim$

Pour le fer doux B_r est assez faible et on a du mal à atteindre la saturation $\Rightarrow$ bien pour é-aimants

Pour les matériaux durs, B_r est fort $\Rightarrow$ aimants.

La matière peut donc créer un champ B .

II - Production de champs magnétiques

1. Champs faibles: aimants et bobines

• Aimants:

- On montre les lignes de un champ de boussole: ça boucle.

- Au testamètre, $B \sim$

$\rightarrow$ chp créé par la matière, sans excitat extérieure.

• Bobines:

$$\begin{cases} I = 0 \rightarrow B = 0 \\ I \neq 0 \rightarrow B \sim \end{cases}$$



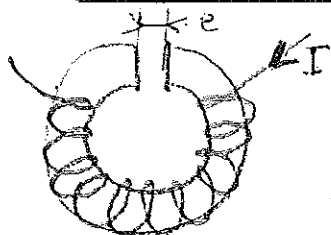
$\Rightarrow$ On crée B de un courant.

On ajoute un noyau de fer doux: B_r

$\rightarrow$ c'est le rôle de l'é-aimant! Le noyau canalise et guide les lignes de champ.

On crée ainsi des chps assez peu intenses mais de géométrie assez modulable.

2. Champs forts: électroaimants



Hopkinson: $H_{aim} L + H_{air} e = NI$

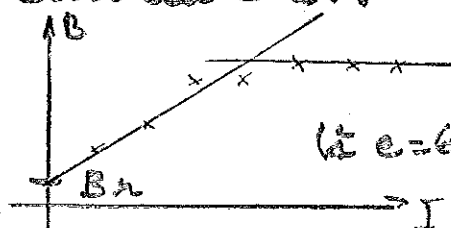
Thyp.: Entrefer = tube de champ

$\rightarrow$ si modif. de sect°, B est le m de l'é-aimant et l'entrefer.

$$\text{alors, } \frac{Be}{\mu_0} + \frac{BL}{\mu_0 \mu_r} = NI$$

$$\text{donc } B = \frac{\mu_0 NI}{e + \frac{L}{\mu_r}} \approx \frac{\mu_0 NI}{e} \quad \text{si } e \gg \frac{L}{\mu_r}$$

On utilise la mesure de B au testamètre commercial du I-B.



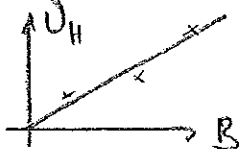
(à $e = 6,1 \text{ cm}$)

On a $B_r \sim$

$\rightarrow$ Intérêt d'un matériau doux: avoir un grand domaine de linéarité.

Source $U_H = f(B)$:

On fait varier I de l'électroaimant, on mesure B au fluxmètre et U_H est expliqué, et on trace $U_H = f(B)$



Ajust: $dt U_H = \alpha B$

$$\alpha = \pm$$

On en déduit $n = \frac{I}{B \alpha l} \sim$
 $(10^{20} - 10^{21} \text{ m}^{-3} \text{ attendu})$

Avec un teslamètre commercial:

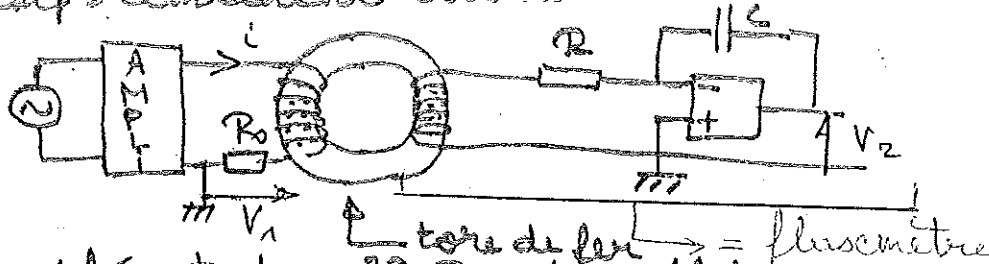
$$\left. \begin{array}{l} B_+ = \\ B_- = \end{array} \right\} \rightarrow B = \pm (5\%)$$

Ce type de sonde est plus maniable q le fluxmètre et peut être miniaturisé (no accès à un champ local) mais ne permet pas de mesure de la matière

Tous nos remerciements à Anne pour la manipulation efficace du fluxmètre et son guidage de la sonde entre ces Charybde et Scylla que sont les deux pôles de l'é-aimant!

3. Mesure d'un champ dans la matière [Garing]

On va utiliser le type de fluxmètre pour tracer le cycle d'hystérésis du fer doux et en déduire le champ rémanent dans ce matériau.



i alternatif
 $f \sim 0,1 \text{ Hz}$

R_0 : rhéostat $\sim 33 \Omega$ doux (la longueur moyenne)

$R = 1 \text{ k}\Omega$

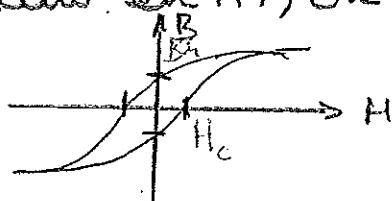
$C = 1 \mu\text{F}$

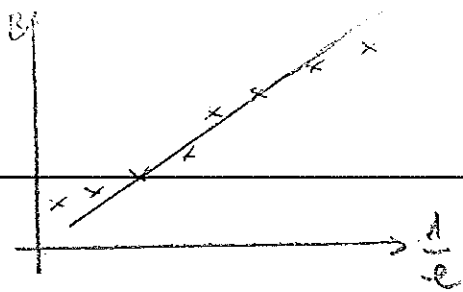
$\left. \begin{array}{l} R = 1 \text{ k}\Omega \\ C = 1 \mu\text{F} \end{array} \right\} \rightarrow$ à nouveau, on utilise la plaquette fr limiter la dérive de V_2 ac l'effet.

On a: - Champ d'Ampère: $H = \frac{N_1 I}{l} = \frac{N_1 V_1}{R_1 l}$

- Fluxmètre: $B = \frac{RC}{N_2 S} V_2$

À l'osillo en XY, on trace $V_2 = f(V_1) \equiv B = f(H)$:





On a vu $B \propto i$ mais: 5/5
 - e fort: l'entrefer n'est plus un tube de champ.
 - e faible: $\frac{L}{\mu_0} \ll e$ faux.

• Sens de $\vec{B}$:

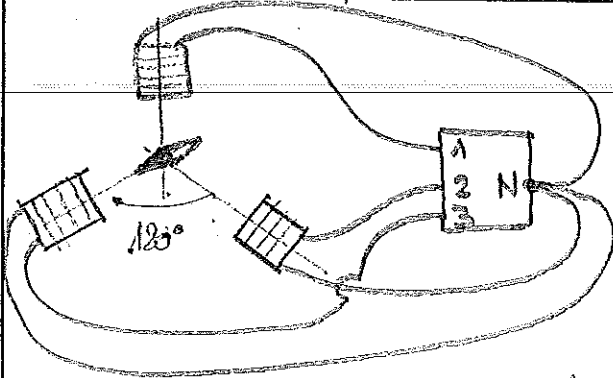
(avec fort...)

On place un fil dans lequel circule un courant dans l'entrefer $\rightarrow$ le sens de la force de Laplace donne le sens de $\vec{B}$ ($\vec{F}_L = -e \vec{v} \times \vec{B}$).

L'aimantisme permet d'avoir $\vec{B}$ intense modulable on peut aussi jouer sur les pièces polaires pour concentrer le champ.

3. Champs tournants

[Q IV] (si le temps...)



$\rightarrow$ 3 bobines à 120° alimentées par des courants triphasés de fréq. f créent un champ tournant à cette m. fréq. (thm de Ferraris).

Pu stroboscope: $f \sim$

(on attend 50 Hz...)

Conclusion:

- On a vu qq mesures de B mais il y en a d'autres utilisant d'autres effets (effet ~~Zeeman~~, couple de la force de Laplace, ...).

- Pour produire B plus fort, il faut des bobines supra mais le μ_0 reste le m. B pratiquement car intensité et géométrie assez modulables (piéage, ...).

⊙ product° de $\vec{B}$ à gde échelle ac MHD.