

MP 15: Production & Mesure de Champs magnétique

Biblio: Duval & Douville IV.
GARNIER. Magnétisme : statique, induc[°] ...
Electrotech Terminale en Su du haut (pr branchem^t triphasé).

Plan: I. Production de champs magnétiques:

1. Sources usuelles : aimants & bobines + courant.
2. Electroaimant : produc[°] de champ fort
3. Champ tournant.

II. Mesures de champs magnétiques:

1. Mesure de la composante horizontale du champ mag. terrestre
2. Le fluxmètre.
3. La sonde à effet Hall.

Intro: Le champ magnétique est une des 2 composantes du chp EM décrit par les eq. de Maxwell.

Le fait de pouvoir maîtriser ce chp a de nombreuses applica^{ns} de la vie courante:

- stockage de l'information
- moteurs électriques
- RMN, IRM
- accélérateurs de particules ...

Le but de ce montage est de voir comment on peut produire un chp magnétique et ensuite, comment on peut le mesurer.

I. Production de chp magnétique:

1. Sources usuelles: Aimants / bobines + courant.

Un champ mag $\vec{B}$ = pseudo vecteur. Il est défini par: sa norme
 • son sens
 • sa direction.

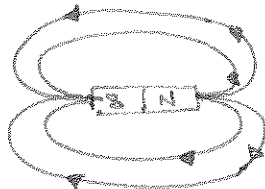
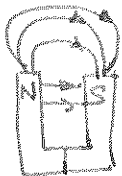
* Aimant:
 $\rightarrow$ $\exists$ aimant naturel: minerais tq Magnétite.
 $\rightarrow$ $\exists$ — artificielle: fabriqués à partir de corps ferromagnétique (Fe, Ni...).

Observations:



réseau de petites boussoles + aimants - en 4 - directions

Si on place le [B.I.N.] sur le réseau on peut observer le spectre magnétique.

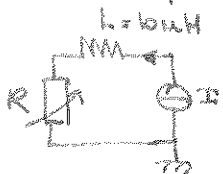


$\vec{B}$: sens + direction.

norme avec l'ohmètre: $[B \Delta \text{ mT}]$

Les boussoles alignent leur mou^{nt} magn $\vec{M}$ sur $\vec{B}$.

* Bobines parcourues par I:



on voit que qd $I=0 \Rightarrow$ pas de chp.

$I \neq 0 \Rightarrow$ ligne de chp.

on mesure $[B \Delta \text{ mT}]$

On peut donc créer un chp $\vec{B}$ en faisant parcourir un courant ds bobine.

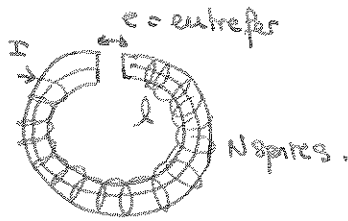
Rq: Influence d'un noyau de fer ds la bobine: - sur lignes de chp
 - sur la valeur de $\vec{B}$.

on va s'en servir pour créer des chp + forts $\Rightarrow$ électroaimant.

2. L'électroaimant : production de "champs forts". (Mais c'est pas Alauk...)

Electroaimant : constitué d'un matériau de forte perméabilité. $\mu = \mu_0 \mu_r$.

L'excitation se fait par un bobinage N spires parcourue par I .



l = longueur circuit
 s = section.
 $e \ll l$

Ordre: $\mu_r(Fe) = 10\,000$ (H.m⁻¹)
 $\mu_r(Ni) = 600$ (H.m⁻¹)
 (au max).

→ Utilisés pour = pointe chip mag. de entrefer
 exploiter la force mag. qu'ils exercent sur la matière ferro.

→ Electroaimant avec pièces polaires plats de entrefer $\Rightarrow$ chip uniforme
 tronconiques $\Rightarrow$ chip + fort au centre.



Chip magnétique de l'entrefer: (on peut le supposer uniforme).

théor. d'Ampère: $NI = \int H \cdot dl = \underbrace{\frac{B \cdot e}{\mu_0}}_{\text{de l'entrefer}} + \underbrace{\frac{B \cdot (l - e)}{\mu_0 \mu_r}}_{\text{de la carcasse métallique}}$

Et comme $\mu_r \gg 1$ on peut écrire que: $B \approx \frac{\mu_0 NI}{e}$

Vérification:

• On trace $B = f(I)$ à e fixé (1 cm).

et on vérifie la linéarité.

• $B = f(1/e)$ à I fixé ($I = A$).

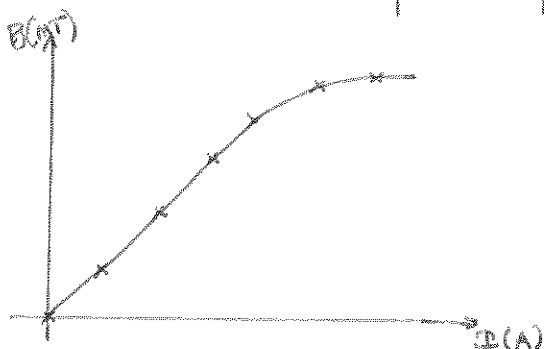
• On mesure le chip $\vec{B}$ avec un tédaimètre et on étudiera le fonctionnement en I .

On mesure $\vec{B}$ avec sonde ds un sens $\rightarrow B_1 =$

_____ d'autre sens $\rightarrow B_2 =$

$$B = \frac{B_1 - B_2}{2} = \quad \quad \quad \text{NT} \pm 5\%$$

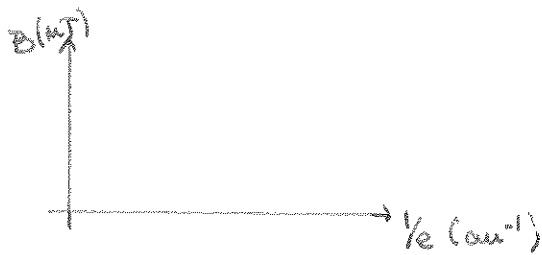
On mesure I à l'ampèremètre: $I = A \pm A$



Linéarité pr des courants faibles $\Rightarrow$ ok.

Saturation pr courants forts car mat. ferromagnétique.

On trace $B = f(1/e)$. Mêmes mesures pour B (on tourne la poutre).
e mesuré au mètre ruban.



• Rq: si e trop faible, on ne peut pas considérer que $e \gg \frac{1}{\mu r}$ et donc que $B \propto \frac{1}{e}$.

si e tp gd, on ne peut pas considérer que le circuit fer + entrefer constitue un tube de force (et donc que B est le m de entrefer et de l'air).



* Oubli lors de la réalisⁿ:

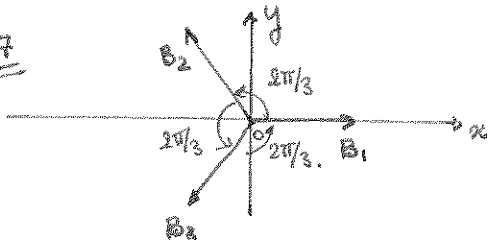
- Manip du fil qui monte (ou descend...) fil parcouru par i placé ds l'entrefer. On en déduit le sens de $\vec{B}$ ds l'entrefer grâce à force de Laplace $d\vec{F} = I d\vec{l} \wedge \vec{B}$.

3. Productⁿ de champs tournants: à la base des moteurs à courants c

théorie de Ferraris:

3 bobines disposées à 120° alimentées par des courants triphasés de f^q f
créent un chp magnétique tournant à la m f^q.

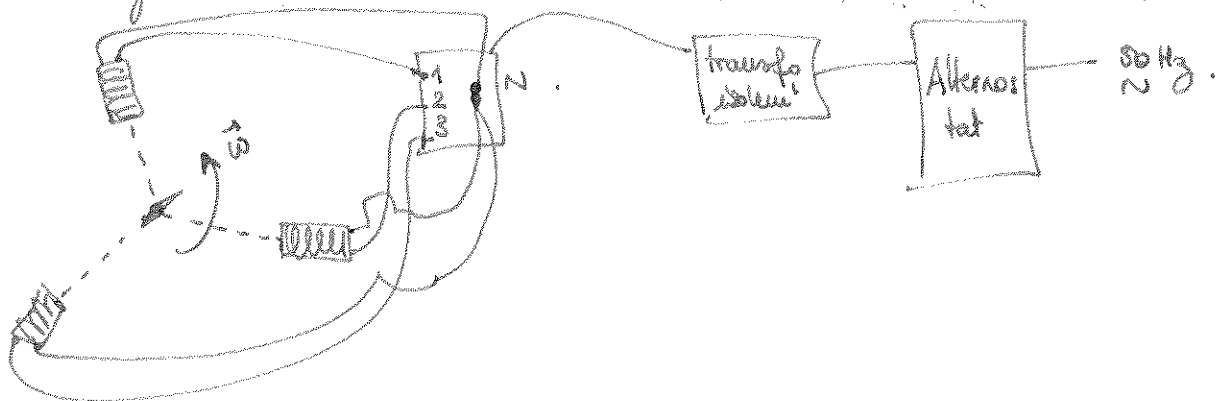
cf QIV p107



si on a $B_1 = B_0 \cos \omega t$
 $B_2 = B_0 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$
 $B_3 = B_0 \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3})$

En projetant sur Ox et Oy on obtient $B_x = \frac{3}{2} B_0 \cos \omega t$ } $B_x, B_y = \text{projecⁿ d'un}$
 $B_y = \frac{3}{2} B_0 \sin \omega t$ } $\text{chp de module } \frac{3}{2} B_0 \text{ tournant}$
à la même ω .

- dispositif:
- bobines identiques, m nbe de spires ($N = 1000$), décalées de $2\pi/3$ / centre.
 - Alimentaⁿ: secteur triphasé et montage en étoile (neutre commun).
 - Aiguille au centre.



Vérificaⁿ de la vitesse de rotaⁿ au stroboscope: $\omega = \quad \text{Hz}$

3.
Produit des champs, c'est bien beau mais les mesurer c'est encore much better...
(Pensez la transition sophistiquée...)

II. Mesures de champs magnétiques:

1. Mesure de la composante horizontale du champ magnétique terrestre:

La terre : dipôle magnétique "géant".

Notre pôle nord géographique, c'est son pôle sud magnétique. (Enfin pas tout à fait, il faut prendre en compte la déclinaison magnétique)

Ordre: champ mag terrestre $\approx 0,5 \text{ G.} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ T} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ T.}$

Composante horizontale pôle Nord: $B_{0H} \approx 0,4 \text{ G.}$
 $B_V \approx 0,2 \text{ G.}$

Principe de la mesure:

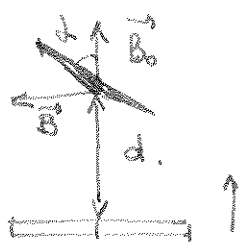
• On pose un aimant "horizontal" / sol. . Il possède un mom^{nt} magnétique $\vec{M}$ et sous l'act^{ion} du champ $\vec{B}_{0H}$, $\vec{M}$ a tendance à s'aligner avec $\vec{B}_{0H}$.

Si on le met en rot^{ation}, Apparait d'oscill^{ation} d'angle $\vec{M} \cdot \vec{B}_{0H}$ et donc oscill^{ation} de l'aimant à la période $T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{MB_0}}$ avec J mom^{nt} d'inertie de l'aimant / axe rot^{ation}.

Mais on ne connaît pas $\vec{M}$! C'est pô grave non aini, on fait l'expérience 2 qui consiste à mettre une aiguille sur un support (une pointe). Sous l'effet de $\vec{B}_{0H}$ elle s'aligne sur lui.



Si maintenant on approche notre aimant petit de façon $\perp$ à $\vec{B}_{0H}$:



il va créer un champ (mom^{nt} dipolaire) dont l'expression se résume ici à la composante bilinéaire à savoir $B = \frac{\mu_0 M}{4\pi d^3} \sin\theta$ avec $\theta = \frac{\pi}{2}$

$$\text{donc encore } B = \frac{\mu_0 M}{4\pi d^3}$$

$$\text{Or } \tan\alpha = \frac{B}{B_{0H}} \Rightarrow B = \tan\alpha B_{0H}$$

On peut éliminer M et en déduire B_{0H}

$$M = \frac{4\pi^2 J}{T^2 B_{0H}} = \frac{4\pi d^3 B}{\mu_0}$$

$$\Rightarrow B_{0H} = \frac{1}{T} \sqrt{\frac{\mu_0 \pi J}{\tan\alpha d^3}}$$

En mesurant $Tosilla^\circ$, α et d on en déduit B_{00} .

Pour la partie moins dure c'est de déterminer J :

$$J \pm \int_{-l}^l \rho r^2 \pi a^2 dr \quad \text{avec } a = \text{rayon du barreau aimanté}$$


$$J = \pi a^2 \rho \left[\frac{r^3}{3} \right]_{-l}^l = \rho \pi a^2 \frac{2l^3}{3}$$

En prenant $\rho_{acier} = 8000 \text{ kg.m}^{-3}$
 $a = 1,5 \text{ mm}$
 $l = 2,5 \text{ cm}$

$$\Rightarrow J = 6 \cdot 10^{-7} \text{ kg.m}^2$$

On mesure: $T =$

$d =$

$\alpha =$

$$\Rightarrow B_{00} =$$

NB: En prépa $^\circ$:

$T = 2 \text{ s}$

$\alpha = 88^\circ$

$d = 11 \text{ cm}$

$\Rightarrow B_{00} = 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ soit $0,38 \text{ G} \dots$

à comparer avec $0,4 \text{ G}$.
 c'est pas mal non?!

Comme quoi, avec des mesures simples on arrive à remonter à quelque chose de pas mal.
 Maintenant fini les enfantillages, on va mesurer du $\vec{B}$ sérieux t .

2. Le Fluxmètre:

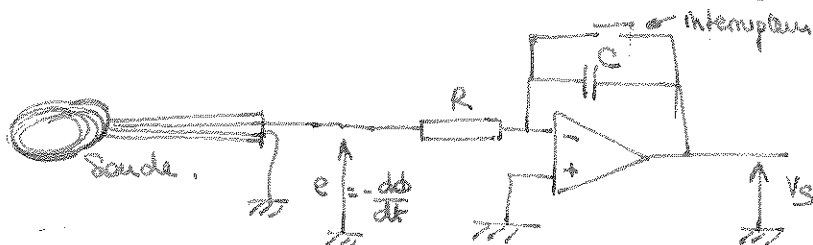
Avantage: Permet de mesurer des champs de la matière.

Principe se base sur l'induction. On dispose d'une sonde = un certain nombre N de spires enroulées dont la surface vaut S .

La variation de flux Φ à travers cette surface S entraîne l'apparition d'une ddp de $\vec{B}$

aux bornes de la sonde $e = - \frac{d\Phi}{dt}$.

Si on branche la sonde à l'entrée d'un intégrateur:



$$\text{Alors } \Delta V_s = - \frac{1}{RC} \int_0^t e dt.$$

Si à $t=0$, $V_s = 0$ (on décharge le condensateur), $V_s = -\frac{1}{RC} \int_0^t e dt$.

Or $e = -\frac{d\phi}{dt}$ et $\phi = B.S$

$\Rightarrow V_s = \frac{NS\Delta B}{RC}$ et si on part d'une région avec champ B pour aller à $B=0$, $\Delta B = B$.

D'où $V_s = \frac{NS}{RC} B$. En mesurant V_s on a B .

Rq 1: Il faut régler l'offset de l'Ao sinon ça dérive et ça perturbe mesure.

- Il faut jouer sur R et C pour que $\tau_{int} \ll \tau_{expérience}$ et aussi qu'on n'ait pas saturation du signal.
- Pour ceux qui ne le savent pas déjà (ou qui après avoir été fatigués de manipuler ne se rendent pas compte que $S = 480 \text{ cm}^2$ c'est pas possible pour une petite sonde comme ça ...), bref: ce qui est indiqué c'est déjà le produit $N.S$!

Mesures: $R =$ $\pm$

$C =$ $\pm$

$V_s =$ $\pm$

$NS =$ cm^2 (on fait confiance au constructeur).

On reprend l'électroaimant du début parcouru par un certain $I =$ A

$\Rightarrow B =$ $\text{mT} \pm$

Incertitudes sur B : $\frac{\Delta V_s}{V_s} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta B}{B}$

A comparer avec la sonde à effet Hall. (Ne pas oublier de flip-flop et $\div \mu\text{m}^2$)

$B =$ $\text{mT} \pm 5\%$

3. La sonde à Effet Hall.

Principe du Testmètre: testmètre, sonde = barreau de semi-conducteur dopé n ou p.

Ad ce conducteur est parcouru par un courant i et est placé dans un champ magnétique $\vec{B}$, il apparaît un champ $\vec{E}_{\text{Hall}}$ (accumulation des e^- déviés sur une des faces) et il en résulte une tension, la tension de Hall.

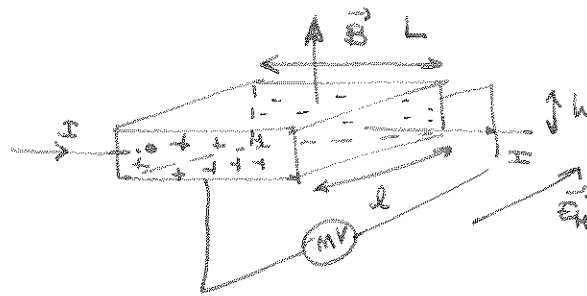
Tout ça c'est l'effet Hall.

Même schéma que NP18:

Force de Lorentz:

$$\vec{F}_B = q \vec{v}_d \vec{B}$$

Force électrique: $\vec{F}_E = q \vec{E}_H$



En égalisant les deux forces (régime permanent), on montre que

$$V_H = \frac{I h}{n q} B$$

i.e V_H proportionnel à B .

n = densité de porteurs
 $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

- La mesure de B se résume à une mesure de V_H .
- Semi-conducteurs pour que V_H ne soit pas trop petite (/ métal).
- Les $\neq$ calibres correspondent à $\neq$ intensités envoyées ds le sc.

MANIP: On reprend le m. électroaimant, et on utilise la plaquette de Germanium.

On trace $V_H = f(B)$.

Poi ensuite, penser à :

- retourner la plaquette (mais c'est relou)

- inverser le sens du courant. Δ bien revenir à 0 avant de débrancher.

On mesure $V_+ =$

$V_- =$

$$\Rightarrow V_H = \frac{V_+ - V_-}{2} = \text{mV}$$

On trace $V = f(x)$

$B = f(x)$ (cf ramp x).

On voit que c'est linéaire $\rightarrow$ OK!

Conclusion:

- Product° de clip magnétiques ds $\neq$ OdG et clip tournant à la base du f.c° des moteurs.
- Mesures de clips ds $\neq$ manière qui repose sur l'induc° ou force Lorentz.
- Soude à effet Hall extrêmement répandue.
- Autre mesure possible = par aimanta° rémanente et cycle d'hystérésis (cf TP 16)