

Correction du TD

I Aimant en U

Voir Figure 1 et 2.1. Les LdC sortent par le Nord, entrent par le Sud. Le champ est fort là où les LdC sont serrées, faible là où elles sont éloignées. Il est uniforme là où les LdC sont parallèles et régulièrement espacées. Dans l'entrefer (**dans le métal**), le champ va du Sud au Nord.

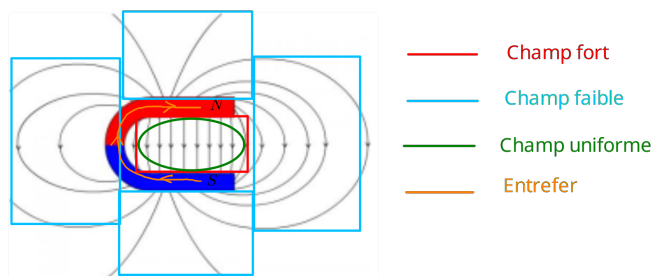


FIGURE 1 ET 2.1 – Correction aimant en U.

II Cartes de champ

Voir Figure 1 et 2.2.

- ◇ Le champ est le plus intense là où les LdC sont très rapprochées, et faible là où il y a peu de LdC.
- ◇ Les LdC s'enroulent autour des sources, qui sont donc situées au niveau des points noirs de chaque figure. Il y en a six sur la figure de gauche, et 4 sur la figure de droite. Comme on nous indique que ce sont des spires, on a **3 spires** à gauche et **2 spires** à droite.
- ◇ Connaissant l'enroulement des LdC, le sens du courant dans les fils se déduit de la règle de la main droite (l'enroulement des doigts donne le sens des LdC, le pouce donne le sens du courant). Dans tous les cas, le courant est perpendiculaire au plan de la feuille.

Sur la carte de gauche, le courant sort du plan de la feuille \odot pour les 3 sources de gauche, et rentrent dans le plan de la feuille \otimes pour les 3 sources de droite.

Sur la carte de droite, le courant sort du plan de la feuille \odot en haut à droite et en bas à gauche, et rentre \otimes en haut à gauche et en bas à droite.

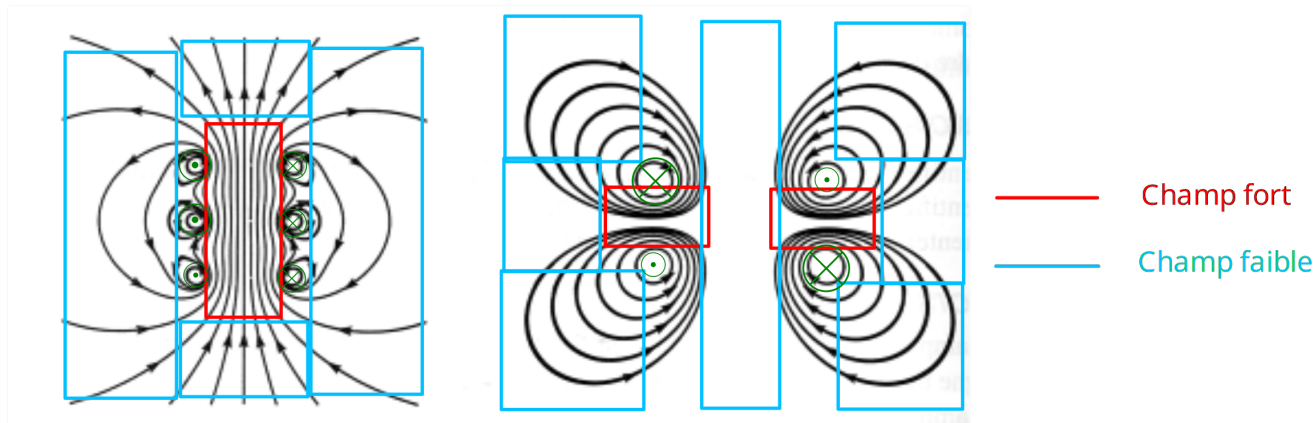


FIGURE 1 ET 2.2 – Correction cartes de champ.

III Aimantation d'un matériau

- 1) Le moment magnétique d'une spire plane d'axe S et parcourue par un courant I a pour norme $\|\vec{\mu}\| = SI$. On en déduit qu'un moment magnétique s'exprime en $A \cdot m^2$. En divisant par un volume en m^3 , on obtient bien des $A \cdot m^{-1}$.
- 2) Un aimant est d'autant meilleur que son moment magnétique est élevé et son volume faible : un bon aimant doit donc être fait d'un matériau qui possède une **forte aimantation**.
- 3) Pour une aimantation $M = 3 \times 10^6 A \cdot m^{-1}$, le moment magnétique de l'aimant en question vaut

$$\mu_{\text{aimant}} = M \times \pi R^2 e = 0,2 A \cdot m^2$$

- 4) Le moment magnétique d'un ensemble de N spires juxtaposées montées en série vaut $\mu_{\text{spires}} = NI\pi R^2$. Pour avoir le même moment que l'aimant précédent, on doit avoir

$$\mu_{\text{aimant}} = \mu_{\text{spires}} \Leftrightarrow M\pi R^2 e = NI\pi R^2 \quad \text{soit} \quad N = \frac{Me}{I} = 3 \times 10^4$$

c'est-à-dire 30 000 spires ! On retiendra qualitativement que le magnétisme de la matière est bien plus fort que le magnétisme des courants.

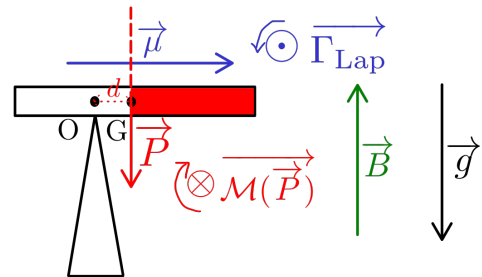
IV Équilibre d'un aimant

- ◇ **Système** : {aimant} de masse m de moment magnétique $\vec{\mu}$ dans un champ \vec{B} .

- ◇ **Schéma** :

- ◇ **Modélisation** :

- ▷ Repère : cartésien, \vec{u}_y direction de \vec{B} soit $\vec{B} = B\vec{u}_y$, \vec{u}_x direction de $\vec{\mu}$ soit $\vec{\mu} = \mu\vec{u}_x$.
- ▷ Instant initial : l'aimant est parallèle au sol.



- ◇ **BdF** :

$$\begin{array}{ll} \text{Poids} & \vec{P} = -mg\vec{u}_y \\ \text{Réaction du support} & \text{passe par O} \end{array}$$

FIGURE 1 ET 2.3 – Forces et moments s'appliquant sur l'aimant.

- ◇ **BdM** : On s'intéresse au moment des forces s'appliquant sur le système. On obtient directement le couple magnétique avec la formule démontrée dans le cours entre un moment magnétique $\vec{\mu}$ et un champ magnétique \vec{B} . Pour le poids, on utilise le bras de levier :

- On prolonge la droite d'action, c'est-à-dire la flèche représentant le poids ;
- On cherche le projeté orthogonal de l'axe de rotation sur cette droite d'action, en prenant une droite perpendiculaire à la droite d'action et en trouvant quand elle passe par l'axe ;
- La distance obtenue correspond au **bras de levier**, qu'on appelle d ici.

On a alors

$$\mathcal{M}_z(\vec{P}) = \pm d \times mg$$

avec \pm selon que le poids fasse tourner le système dans le sens direct (+) ou horaire (-). Ici, le poids a tendance à faire tourner le système dans le sens horaire.

Pour le couple magnétique, **un moment magnétique tend à s'aligner sur le champ magnétique**, donc ici tend à faire tourner l'aimant dans le sens direct pour s'aligner sur \vec{B} .

Pour la réaction du support, elle passe par O donc son moment est nul (pour rappel, mathématiquement $\overrightarrow{\mathcal{M}}(\vec{F}) = \overrightarrow{OM} \wedge \vec{F}$, donc si la force passe par l'axe de rotation on a un moment nul. Équivalent à avoir un bras de levier nul). Ainsi,

$$\begin{array}{ll} \text{Moment du poids} & \overrightarrow{\mathcal{M}}(\vec{P}) = -d \times mg \\ \text{Moment de la réaction} & \overrightarrow{\mathcal{M}}(\vec{R}) = \vec{0} \\ \text{Couple magnétique} & \Gamma_{z,\text{Lap}} = (\vec{\mu} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{u}_z \\ \Leftrightarrow & \Gamma_{z,\text{Lap}} = +\mu B \end{array}$$

◇ TMC à l'équilibre :

$$\begin{aligned} \frac{d\mathcal{L}_z}{dt} = 0 &= \sum_i \mathcal{M}_i \\ \Leftrightarrow 0 &= \Gamma_{z,\text{Lap}} + \mathcal{M}_z(\vec{P}) \\ \Leftrightarrow 0 &= \mu B - dmg \\ \Leftrightarrow & \boxed{d = \frac{\mu B}{mg}} \end{aligned}$$

V Rails de LAPLACE inclinés

- 1) Le dispositif est représenté vu de côté et vu de dessus Figures 1) et 1). On prend les axes x et y dans le plan des rails, z perpendiculaire. Outre son poids et la force de LAPLACE, le barreau est également soumis à la réaction des rails, perpendiculaire aux rails car les frottements sont négligés.

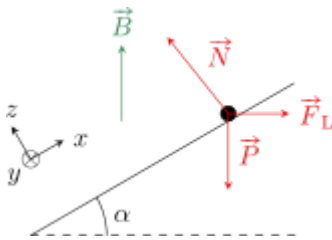


FIGURE 1 ET 2.4 – Vue de côté.

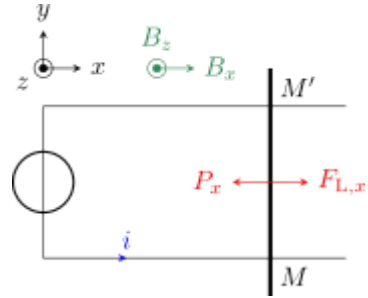


FIGURE 1 ET 2.5 – Vue de dessus.

Pour que la force de LAPLACE puisse retenir le barreau mobile, il faut avoir vectoriellement $\vec{F}_L + \vec{P} + \vec{N} = \vec{0}$. Sur \vec{u}_z on va trouver que la réaction compense \vec{P}_z et $\vec{F}_{L,z}$ les composantes sur \vec{u}_z du poids et de la force de LAPLACE, et sur \vec{u}_x on veut que $\vec{F}_{L,x}$ compense \vec{P}_x .

On cherche donc le sens de i qui va donner la force de LAPLACE avec une composante positive sur \vec{u}_x . Avec le sens indiqué sur le schéma, la force exercée sur le barreau MM' est

$$\vec{F}_L = i \overrightarrow{MM'} \wedge \vec{B}$$

et avec la règle de la main droite version 3 doigts, on trouve bien une force de LAPLACE vers la droite. Le courant doit donc effectivement être **dirigé de M à M'** pour retenir le barreau.

- 2) Le poids du barreau mobile a pour norme mg , et la force de LAPLACE $i\ell B$. En projection sur \vec{u}_x , on trouve

$$i\ell B \cos \alpha = mg \sin \alpha \quad \text{soit} \quad \boxed{i = \frac{mg \tan \alpha}{\ell B} = 2,5 \text{ A}}$$

- 3) Si les frottements et l'induction sont négligés, alors le bilan des forces est exactement le même que précédemment : leur résultante est nulle. On garde donc le PFD à l'équilibre

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0}$$

mais cette fois $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$. On garde donc cette vitesse constante, et **le barreau aura un mouvement rectiligne uniforme vers le haut à la vitesse v_0 .**

- 4) D'après la loi de LENZ, l'induction modère, par ses conséquences, les causes qui lui ont donné naissance.

Ici, c'est le mouvement du barreau parcouru par i et dans un champ \vec{B} qui causera l'induction, par modification de la surface du circuit (la surface qu'entoure l'intensité augmente). On aura donc *in fine* une force de LAPLACE induite qui s'opposera au mouvement du barreau, donc **le barreau va freiner jusqu'à son arrêt**, puisqu'alors la surface ne variera plus.

VI Mesure du champ magnétique terrestre

- 1) Le champ magnétique terrestre est de l'ordre de 5×10^{-5} T. Or, le teslamètre ne permet pas de mesurer des champs inférieurs à 1×10^{-4} T.
- 2) À partir de l'expression données, on trouve $B = 1 \times 10^{-5}$ T.
- 3) Placer le dispositif d'ERSTED selon une direction Nord-Sud, de telle sorte que l'aiguille soit parallèle au fil lorsqu'il n'est parcouru par aucun courant. Relier le fil d'ERSTED à l'interrupteur et à l'alimentation stabilisée, de telle sorte qu'il puisse être alimenté par un courant constant. Placer le rapporteur de sorte à pouvoir mesurer la déviation de l'aiguille lorsque l'interrupteur est fermé, et inclure l'ampèremètre dans le circuit pour pouvoir mesurer l'intensité du courant. L'aiguille étant à une distance fixe du fil, on suppose

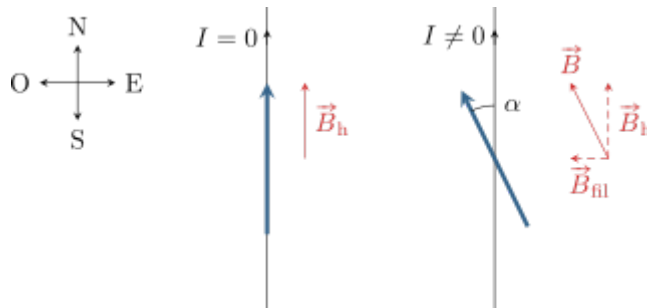


FIGURE 1 ET 2.6 – Schéma de principe de l'expérience. Le sens de \vec{B}_{fil} est obtenu à partir de la règle de la main droite, en raisonnant en vue de dessus avec l'aiguille aimantée placée en-dessous du fil.

que le champ créé est homogène. Le moment magnétique de l'aiguille va donc s'orienter sur ce champ, entrant en compétition avec le champ magnétique terrestre.

- 4) L'aiguille s'aligne sur le champ total, superposition du champ du fil et du champ terrestre. Le dispositif est monté de telle sorte que les deux champs soient orthogonaux, si bien qu'on peut relier directement

$$\tan \alpha = \frac{B_{\text{fil}}}{B_h}$$

En mesurant α pour différentes valeurs de I à partir desquelles on en déduit B_{fil} , on peut alors obtenir B_h par une régression linéaire. On peut par exemple représenter B_{fil} en fonction de $\tan \alpha$.

- 5) Compte-tenu de l'expression donnée et pour une aiguille située 2 cm sous le fil, il faudrait avoir $I = 5$ A pour que $B_{\text{fil}} = B_h$.