

Sahlaoui Mohammed
 mohammed.sahlaoui@gmail.com
 Sekkal Abdessamad
 a.sekkal@epsta.dz

Premier Cycle Classe Préparatoire,
 École Supérieure en Sciences Appliquées
 de Tlemcen.

Le magnétisme a été remarquer pour la première fois par l'attraction du Fer par certaines pierres découvertes dans la région de Magnésie en Anatolie (Asie mineure), ce qui explique le nom de magnétisme. En 1819, une expérience réalisée par Hans Christian Oersted, a démontrée qu'une boussole àù voisinage d'un fil conducteur est influencée si ce dernier est parcouru par un courant électrique. Cette influence a mise en lumière la découverte du champ magnétique.

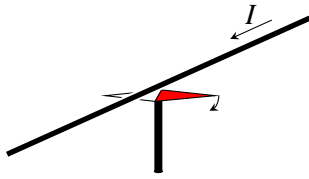


FIGURE 1: expérience d'Oersted

Objectif

- Étudier la distribution du champs magnétique créé par un fil conducteur parcouru par un courant électrique en fonction de la distance et l'intensité de courant.
- Vérifier que le champ magnétique est un champ vecteur.

1 Étude théorique

1.1 Champ créé par un fil conducteur

En approchant une boussole àù voisinage d'un fil conducteur parcouru par un courant électrique I nous pouvons remarquer l'influence du champ magnétique \vec{B} créé autour du conducteur. Ce champ magnétique est tangent à n'importe quel cercle centré sur le fil et situé sur un plan perpendiculaire au fil conducteur (voir figure 2).

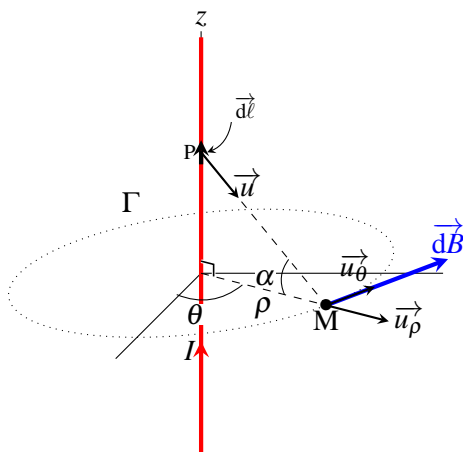


FIGURE 2: champ magnétique

Considérons une surface fermée par un contour Γ . La circulation du champ magnétique sur ce contour est proportionnelle au courant électrique traversant la surface (loi d'Ampère) :

$$\oint_{\Gamma} \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu I \tag{1}$$

où μ la perméabilité magnétique du milieu et \vec{r} le vecteur position sur le contour Γ .

Considérons un fil conducteur infini parallèle à la direction Oz et Γ un cercle de rayon ρ centré sur le fil (figure 2). Un point M de position \vec{r} sur ce cercle est définie par les coordonnées cylindriques ρ et θ :

$$\vec{r} = r\vec{u} = r(\sin(\alpha)\vec{k} + \cos(\alpha)\vec{u}_{\rho}) \tag{2}$$

Pour un déplacement sur le contour Γ , le module r , l'angle α et le vecteur unitaire \vec{k} restent invariants :

$$d\vec{r} = r \cos(\alpha) d\vec{u}_{\rho} = \rho d\vec{u}_{\rho} = d\vec{\rho} \tag{3}$$

La position $\vec{\rho}$ du point M sur la surface du contour est définie par l'équation :

$$\vec{\rho} = \rho \cos(\theta)\vec{i} + \rho \sin(\theta)\vec{j} \tag{4}$$

A partir des equations (3) et (4) nous pouvons déduire que :

$$d\vec{r} = [-\rho \sin(\theta)\vec{i} + \rho \cos(\theta)\vec{j}] d\theta \tag{5}$$

Si le sens du courant I est dans la direction \vec{k} , le vecteur \vec{B} sera orienté dans la direction $d\vec{r}$ (règle de la main droite, voir figure 3) :

$$\vec{B} = -B \sin(\theta)\vec{i} + B \cos(\theta)\vec{j} \tag{6}$$

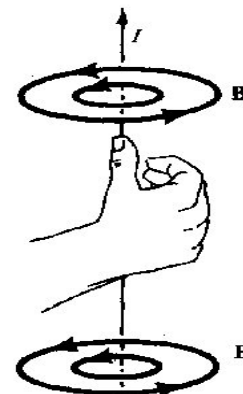


FIGURE 3: règle de la main droite

Il s'ensuit que

$$\begin{aligned} \oint_{\Gamma} \vec{B} \cdot d\vec{r} &= \int_0^{2\pi} [\rho B \sin^2(\theta) + \rho B \cos^2(\theta)] d\theta \\ &= \int_0^{2\pi} \rho B d\theta = 2\pi \rho B \end{aligned} \tag{7}$$

1. $\mu_0 = 12.566370614 \times 10^{-7} Tm/A$ la perméabilité magnétique du vide

Ce dernier résultat et l'équation (1) nous permet de trouver :

$$B = \frac{\mu I}{2\pi\rho} \quad (8)$$

Considérons maintenant le champ magnétique $d\vec{B}$ créé à la position $\vec{r} = \vec{PM}$ par un élément infinitésimal $d\vec{l}$ d'un fil conducteur rectiligne de longueur l (voir la figure 4).

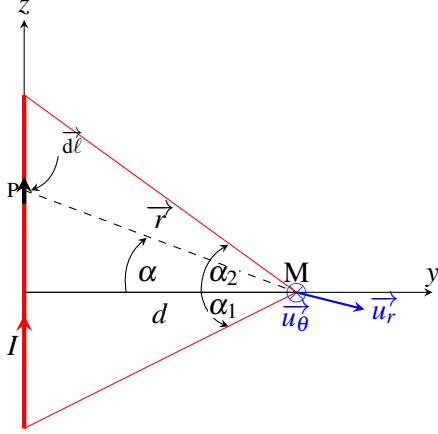


FIGURE 4: Champ magnétique créé par une portion élémentaire dl d'un fil conducteur de longueur finie

Ce champ est défini par la relation de Biot-Savart :

$$d\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi\rho^2} d\vec{l} \wedge \vec{u}_r \quad (9)$$

À l'aide de la figure 4, nous pouvons écrire $d\vec{l} = dz \vec{k}$ et $\vec{u}_r = \cos \alpha \vec{j} + \sin \alpha \vec{k}$. L'équation (9) peut être réécrite :

$$d\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi r^2} dz \vec{k} \wedge (\cos \alpha \vec{j} + \sin \alpha \vec{k}) \quad (10)$$

$$= \frac{\mu I}{4\pi r^2} dz \cos \alpha \vec{u}_\theta \quad (11)$$

D'où

$$\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi r^2} \int dz \cos \alpha \vec{u}_\theta \quad (12)$$

La figure 4 montre bien que

$$z = d \tan \alpha \implies dz = d \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha} \quad (13)$$

$$r = \frac{d}{\cos^2 \alpha} \quad (14)$$

Il s'ensuit que

$$\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi d} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} d\alpha \cos \alpha \vec{u}_\theta \quad (15)$$

$$= \frac{\mu I}{4\pi d} (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) \vec{u}_\theta \quad (16)$$

Dans le cas d'un fil conducteur de longueur infini, nous pouvons utiliser les limites $\alpha_1 \mapsto -\pi/2$ et $\alpha_2 \mapsto +\pi/2$. D'où le résultat :

$$\vec{B} = \frac{\mu I}{2\pi d} \vec{u}_\theta \quad (17)$$

On retrouve le résultat donné dans l'équation 8.

1.2 Champ créé par deux fils conducteurs

Dans cette partie nous étudions la variation du champ magnétique créé entre deux fils conducteurs parallèles de longueurs infinies. Les deux conducteurs sont parcourus par la même intensité de courant électrique I . Nous distinguons deux cas, les courants électriques sont dans le même sens et dans deux sens opposés.

Considérons la situation présentée sur la figure 5. Les conducteurs sont aux positions 1 et 2 sur l'axe Ox .

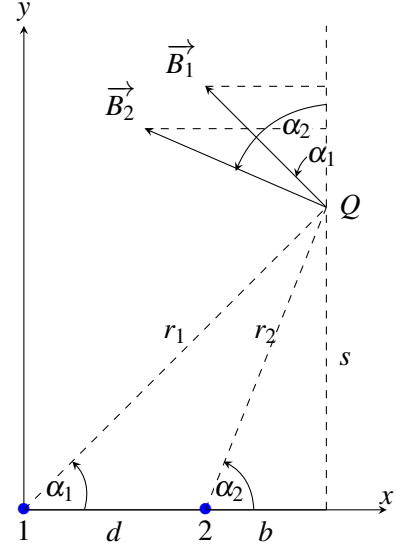


FIGURE 5: Champ magnétique créé par deux conducteurs de longueurs finies.

Le champ magnétique \vec{B} créé au point Q est une superposition des deux champs \vec{B}_1 et \vec{B}_2 créés par les conducteurs :

$$\vec{B} = B_x \vec{i} + B_y \vec{j} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad (18)$$

$$\implies B_x = B_{x1} + B_{x2} \text{ et } B_y = B_{y1} + B_{y2} \quad (19)$$

A l'aide de la figure 5, nous pouvons déduire que

$$B_x = B_1 \sin \alpha_1 + p B_2 \sin \alpha_2 \quad (20)$$

$$B_y = B_1 \cos \alpha_1 + p B_2 \cos \alpha_2 \quad (21)$$

avec $p = +1$ si les courants électriques sont dans le même sens et $p = -1$ s'ils sont dans des sens opposés.

L'équation (8) nous permet d'écrire :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1} \text{ et } B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2} \quad (22)$$

La figures 5 nous informe que

$$\sin \alpha_1 = \frac{s}{r_1} \text{ et } \cos \alpha_1 = \frac{d+b}{r_1} \quad (23)$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{s}{r_2} \text{ et } \cos \alpha_2 = \frac{b}{r_2} \quad (24)$$

Il s'ensuit que :

$$B_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi s} (\sin^2 \alpha_1 + p \sin^2 \alpha_2) \quad (25)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{2\pi s} \left(\frac{\cos^2 \alpha_1}{d+b} + p \frac{\cos^2 \alpha_2}{b} \right) \quad (26)$$

Dans le cas où le point Q est sur l'axe Ox ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0$) :

$$B_x = 0 \quad (27)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{2\pi s} \left(\frac{1}{d+b} + \frac{p}{b} \right) \quad (28)$$

- Pour différentes valeurs de x (voir figure 5), mesurer B et organiser les résultats dans le tableau suivant :

x (mm)	5	10	15	20	25	...	70	75
$B^{(+)}(mT)$								

2 Étude expérimentale

2.1 Champ \vec{B} autour d'un conducteur.

2.2 Influence du courant électrique.

Dans cette partie nous étudions la variation de l'amplitude du champ magnétique \vec{B} en fonction du courant électrique I . Pour cela, nous allons suivre les étapes :

- Fixer la sonde de Hall à une distance $\rho \simeq 1$ cm par rapport au centre du conducteur.
- Pour différentes valeurs de I , mesurer B et organiser les résultats dans le tableau suivant :

$I(A)$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$B(mT)$									

- Tracer la courbe $B = f(I)$.
- À partir de la courbe, déduire la valeur de μ_0 perméabilité magnétique du vide.
- Interpréter la courbe et discuter les résultats.

2.3 Influence de la distance.

Dans cette deuxième partie, nous allons étudier la variation de l'amplitude du champ magnétique \vec{B} en fonction de la distance ρ par rapport au centre du conducteur. Pour cela, nous allons suivre les étapes :

- Fixer une intensité de courant $I = 100$ A.
- Pour différentes valeurs de ρ , mesurer B et organiser les résultats dans le tableau suivant :

ρ (mm)	3	5	7	9	11	13	15
ρ^{-1}							
B (mT)							

- Tracer la courbe $B = f(\rho^{-1})$.
- À partir de la courbe, déduire la valeur de μ_0 perméabilité magnétique du vide
- Interpréter la courbe et discuter les résultats.

2.4 Champ \vec{B} entre deux conducteurs

Dans cette partie, nous allons étudier la variation de la superposition des vecteurs champs magnétiques crée par deux fils conducteurs.

2.5 Courants dans la même direction

- Fixe une intensité de courant $I = 107$ A.
- Pour différentes valeurs de x (voir figure 5), mesurer B et organiser les résultats dans le tableau suivant :

x (mm)	5	10	15	20	25	...	70	75
$B^{(-)}(mT)$								

2.6 Courants dans deux directions opposées

- Fixe une intensité du courant $I = 107$ A.

- Tracer sur la même feuille la variation des champs $B^{(-)}$ et $B^{(+)}$ en fonction de x .
- Interpréter les courbes et discuter les résultats.

3 Conclusion

Donner une conclusion sur l'influence du courant et la distance sur le champ magnétique \vec{B} .

À partir de la comparaison des deux courbes $B^{(-)}$ et $B^{(+)}$, écrire une conclusion sur la nature physique du champ magnétique.