

# Force de Laplace

## Étude du champ magnétique

Rapport du Laboratoire



Liviu Arsenescu, Cătălin Bozan  
23.04.2024

# Table des Matières

<b>1</b>	<b>Description de l'expérience</b>	<b>1</b>
1.1	Buts . . . . .	1
1.2	Éléments théoriques . . . . .	1
1.2.1	Les différentes grandeurs physiques rencontrées . . . . .	1
1.2.2	Modèle Théoriques . . . . .	1
1.3	Principe de l'expérience . . . . .	3
1.4	Schéma et montage de l'expérience . . . . .	3
1.5	Déroulement de l'expérience . . . . .	3
1.5.1	Étalonnage bobine-aimant . . . . .	3
1.5.2	Force de Laplace en fonction du courant $I$ . . . . .	4
1.5.3	Force de Laplace en fonction de l'angle $\theta$ . . . . .	4
1.5.4	En utilisant le teslamètre . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Mesures</b>	<b>4</b>
2.1	Mesures constantes : . . . . .	4
2.2	Tableaux des mesures : . . . . .	4
2.2.1	$I$ variable . . . . .	4
2.2.2	$\theta$ variable . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Analyse des mesures et résultats</b>	<b>5</b>
3.1	$\delta m$ en fonction du courant $I$ . . . . .	6
3.2	$\delta m$ en fonction de l'angle $\theta$ . . . . .	6
3.3	Choix et calcul d'incertitudes . . . . .	7
3.3.1	Choix des incertitude : . . . . .	7
3.3.2	Calcul d'incertitudes . . . . .	7
3.4	Discussion des résultats : . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Synthèse et conclusion</b>	<b>8</b>

# 1 Description de l'expérience

## 1.1 Buts

- Étude de la force de Laplace
- Démontrer la dépendance linéaire de la force par rapport au courant électrique, et l'angle  $\theta$

## 1.2 Éléments théoriques

### 1.2.1 Les différentes grandeurs physiques rencontrées

- $F_L$  - force de Laplace -  $[F_L] = \text{N}$
- $P$  et  $N$  - force du poids et force normale -  $P, N = \text{N}$
- $I$  - courant électrique -  $I = \text{A}$
- $l$  - longueur du conducteur -  $l = \text{m}$
- $\theta$  - l'angle entre les vecteurs  $I\vec{l}$  et  $\vec{B}$  -  $\theta = \text{degrés}$
- $m$  - différentes masses -  $m = \text{g}$
- $g$  - l'accélération gravitationnelle de la Terre -  $g = \text{ms}^{-1}$

### 1.2.2 Modèle Théoriques

Pour décrire le modèle mathématique dont on a besoin, on partira de la formule suivante :

$$\vec{F}_L = I\vec{l} \times \vec{B}$$

Comme on le sait, la norme d'un vecteur résultant d'un produit vectoriel peut être écrit comme suit :

$$||\vec{F}_L|| = ||I\vec{l}|| \cdot ||\vec{B}|| \sin(\theta) \Rightarrow ||\vec{F}_L|| = IlB \sin \theta$$

Pour la configuration de la bobine, on peut représenter les forces agissant comme suit :

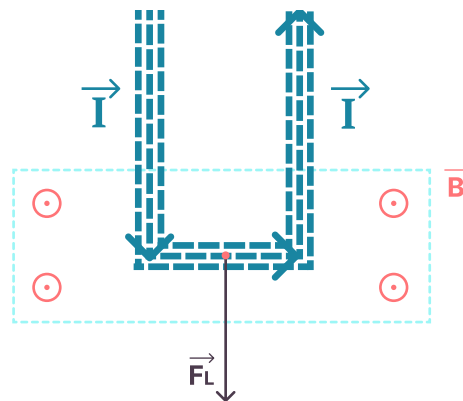


Figure 1: Système de forces de la bobine

En utilisant la troisième loi de Newton, on peut construire le système de forces suivant sur l'aimant :

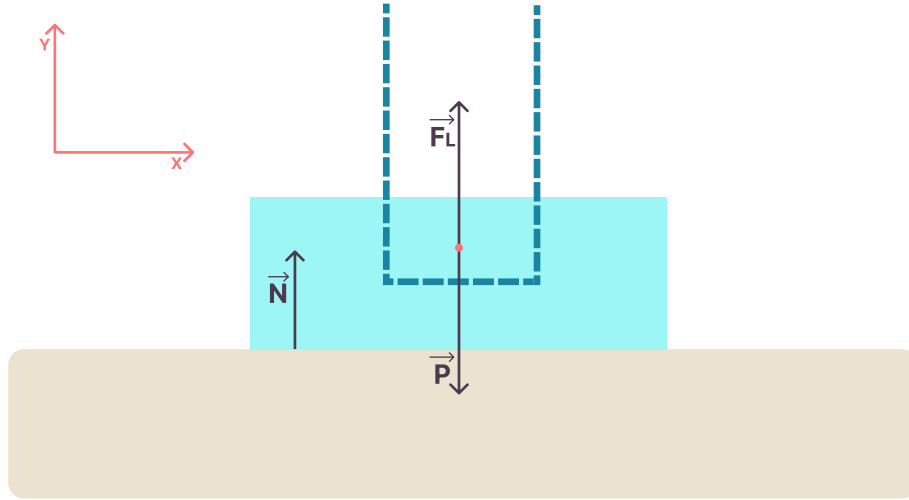


Figure 2: Système de forces sur l'aimant

En utilisant la deuxième loi de Newton dans la dernière figure, on obtient :

$$\Sigma \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{F}_L + \vec{N} + \vec{P} = 0$$

On observe que les forces agissent uniquement sur l'axe y, ce qui permet de déduire l'équation suivante :

$$\pm F_L + N - P = 0$$

En alimentant la bobine en courant, on constate que deux masses différentes apparaissent sur la balance :

- $m_0$  - masse de l'aimant
- $m_1$  - masse apparente de l'aimant

Avec ces deux mesures, on peut développer à nouveau l'équation :

$$\begin{aligned} \pm F_L + m_1 g - m_0 g &= 0 \\ |F_L| &= |m_1 - m_0| g \\ |F_L| &= \delta m g \end{aligned}$$

Où  $\delta m$  est le module de la différence entre  $m_1$  et  $m_0$ .

Égalant ce que on a obtenu pour  $||\vec{F}_L||$  et pour  $|F_L|$ , on obtient :

$$\left. \begin{aligned} |F_L| &= \delta m g \\ ||\vec{F}_L|| &= IlB \sin(\theta) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \delta m g = \frac{IlB \sin(\theta)}{g}$$

On peut donc conclure que  $\delta m$  est une fonction qui dépend de  $I$ ,  $l$ ,  $B$ ,  $\sin(\theta)$ .

### 1.3 Principe de l'expérience

Comme indiqué ci-dessus, l'expérience consiste à calculer la valeur du champ magnétique  $B$  par trois méthodes différentes :

- On va mesurer la pente de la fonction  $\delta m$  en faisant varier uniquement le courant  $I$ , ce qui nous permettra de calculer  $B$ .
- On va mesurer la pente de la fonction  $\delta m$  en faisant varier uniquement l'angle  $\theta$ , d'où on peut calculer de la même façon  $B$ .
- On mesure  $B$  à l'aide d'un teslamètre.

### 1.4 Schéma et montage de l'expérience

Pour réaliser l'expérience, on doit faire un dispositif qui nous permette de générer la force de Laplace sur un aimant. On a donc :

- Une source de courant continu
- Un ampèremètre
- Un socle
- Une tige
- Un noix double
- Une bobine à orientation réglable
- Un aimant en U
- Une balance
- Trois câbles de connexion
- Un teslamètre
- Une règle

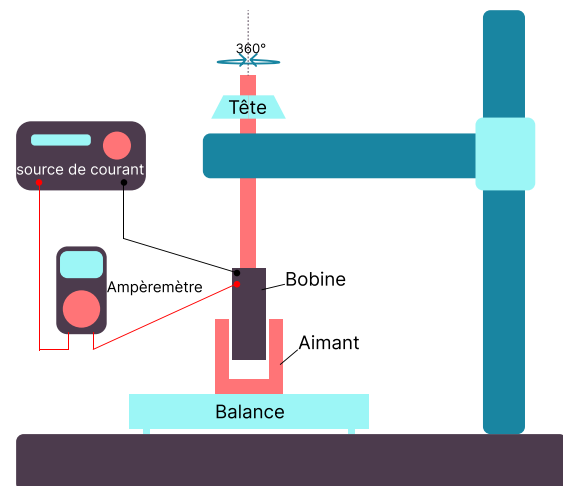


Figure 3: Système de forces de la bobine

### 1.5 Déroulement de l'expérience

#### 1.5.1 Étalonnage bobine-aimant

- On met l'aimant sur la balance
- On fixe la bobine réglable sur le support
- On connecte la bobine en série avec l'ampèremètre à la source de courant
- En utilisant la tête rotative, on fixe la bobine de manière à ce que la force de Laplace soit nulle, et on considère cet angle comme  $\theta = 0^\circ$

### 1.5.2 Force de Laplace en fonction du courant $I$

- On règle l'angle de la bobine à  $90^\circ$ , et on lui donne un courant de 4A
- On mesure  $\delta m$  pour des valeurs de  $I$ , par intervalles de 0,4A, de 4A à 0A

### 1.5.3 Force de Laplace en fonction de l'angle $\theta$

- On fixe le courant à 4A, et on ramène la bobine à  $0^\circ$
- On mesure  $\delta m$  pour des valeurs de  $\theta$  de 5 en 5, de  $90^\circ$  à  $0^\circ$

### 1.5.4 En utilisant le teslamètre

- On place la sonde du teslamètre dans la zone entre les pôles de l'aimant, puis on mesure le champ magnétique  $B$

## 2 Mesures

### 2.1 Mesures constantes :

- $L = (0.010 \pm 0.001)$  m - longueur de la section de la bobine
- $n = 11$  - nombre de spires
- $m_0 = (70.40 \pm 0.01)$  g - masse de l'aimant
- $\Delta I = \pm 0.01$  A - incertitude sur le courant électrique
- $\Delta \theta = \pm 2^\circ$  - incertitude de l'angle
- $B_3 = -43.3$  mT - champ magnétique mesuré avec le teslamètre
- $\Delta B_3 = \pm 0.4$  mT - incertitude du champ magnétique

### 2.2 Tableaux des mesures :

#### 2.2.1 $I$ variable

$I(\text{A})$	$\delta m(\text{g})$	$\Delta(\delta m)(\text{g})$
0.41	-0.12	0.02
0.81	-0.33	0.02
1.20	-0.56	0.02
1.60	-0.77	0.02
2.01	-1.01	0.02
2.40	-1.22	0.02
2.81	-1.46	0.02
3.21	-1.68	0.02
3.61	-1.90	0.02
4.01	-2.13	0.02

Légende :

- $I$  - courant électrique (en A)
- $\delta m$  - différence entre les masses  $m_1$  et  $m_0$  (en g)
- $\Delta(\delta m)$  - incertitude de  $\delta m$  (en g)

Tableau 1:  $I$  variable

### 2.2.2 $\theta$ variable

$\theta(^{\circ})$	$\delta m(g)$	$\Delta(\delta m)(g)$	$\sin(\theta)$	$\Delta\sin(\theta)$
0	0.09	0.02	0.00	0.03
5	-0.10	0.02	0.09	0.03
10	-0.30	0.02	0.17	0.03
15	-0.49	0.02	0.26	0.03
20	-0.66	0.02	0.34	0.03
25	-0.85	0.02	0.42	0.03
30	-1.01	0.02	0.50	0.03
35	-1.17	0.02	0.57	0.03
40	-1.33	0.02	0.64	0.03
45	-1.46	0.02	0.71	0.02
50	-1.58	0.02	0.77	0.02
55	-1.69	0.02	0.82	0.02
60	-1.79	0.02	0.87	0.02
65	-1.88	0.02	0.91	0.01
70	-1.94	0.02	0.94	0.01
75	-2.00	0.02	0.97	0.01
80	-2.03	0.02	0.98	0.01
85	-2.06	0.02	1.00	0.01
90	-2.13	0.02	1.00	0.01

Tableau 2:  $\theta$  variable

Légende :

- $\theta$  - l'angle entre les vecteurs  $I\vec{l}$  et  $\vec{B}$  (en degrés)
- $\delta m$  - différence entre les masses  $m_1$  et  $m_0$  (en g)
- $\Delta(\delta m)$  - incertitude de  $\delta m$  (en g)

## 3 Analyse des mesures et résultats

Pour calculer le champ magnétique  $B$  en faisant varier le courant ou l'angle, on construit une régression linéaire à l'aide de la formule suivante :

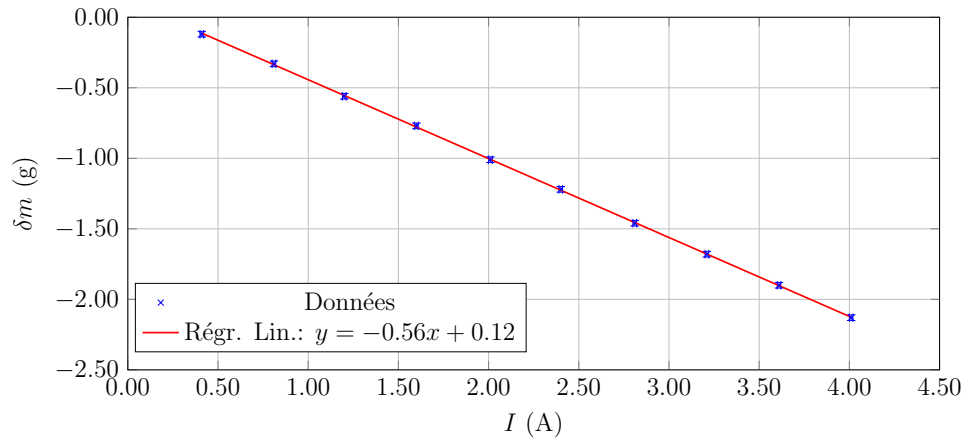
$$\delta m = \frac{IlB\sin(\theta)}{g}$$

$l$  est la longueur du conducteur, donc  $l = nL = (0.110 \pm 0.001)$  m.

### 3.1 $\delta m$ en fonction du courant $I$

La fonction que on a utilisée pour créer la régression linéaire :

$$\delta m = \frac{lB \sin(\theta)}{g} \cdot I$$



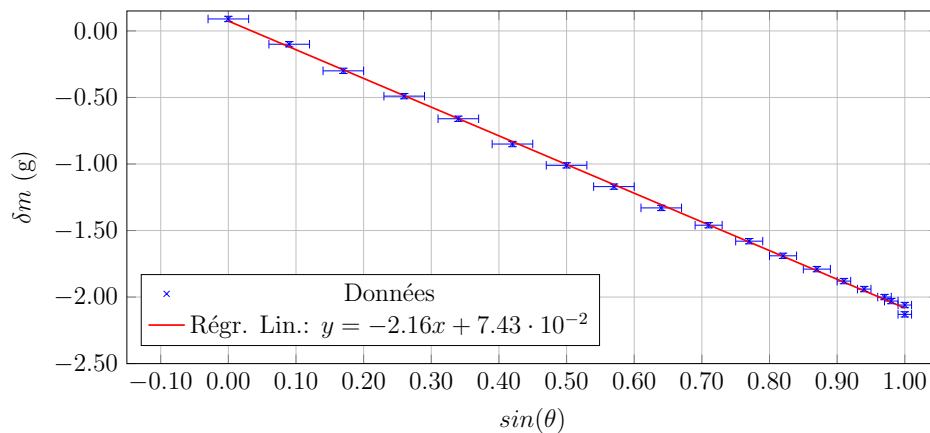
Où on note  $a_1$  la pente de la fonction. Avec ça, on obtient :

$$B_1 = (-49.0 \pm 0.4) \text{ mT}$$

### 3.2 $\delta m$ en fonction de l'angle $\theta$

La fonction que on a utilisée pour créer la régression linéaire :

$$\delta m = \frac{lBI}{g} \cdot \sin(\theta)$$



Où on note  $a_2$  la pente de la fonction. Avec ça, on obtient :

$$B_2 = (-48.2 \pm 0.5) \text{ mT}$$



### 3.3 Choix et calcul d'incertitudes

#### 3.3.1 Choix des incertitude :

- Pour le courant électrique : on a examiné la fluctuation globale de l'alimentation électrique, et on a remarqué que on a une incertitude de lecture de  $\Delta I = 0.1 \text{ A}$
- Pour l'angle : on a déplacé très lentement la tête de la bobine et, à  $\Delta\theta = 2^\circ$  près, on n'a constaté aucun changement dans l'expérience
- Pour la longueur de la section de la bobine : on a choisi l'incertitude indiquée sur l'instrument de mesure
- Pour la mesure au teslamètre : on a choisi la valeur indiquée par l'appareil avant de s'approcher de l'aimant
- Pour les masses : on a choisi l'incertitude indiquée par la balance

#### 3.3.2 Calcul d'incertitudes

On sait que la différence entre  $m_0$  et  $m_1$  se calcule comme suit :

$$\delta m = |m_1 - m_2|$$

Puisqu'il s'agit de la différence entre les deux, on peut calculer l'incertitude en additionnant leurs incertitudes :

$$\Delta(\delta m) = 0.2 \text{ g}$$

Pour calculer l'incertitude de la fonction sin, on utilise la formule suivante :

$$\Delta \sin(\theta) = |\cos(\theta)| \cdot \Delta\theta$$

Pour la première pente obtenue, on calcule l'incertitude comme suit :

$$\Delta B_1 = \left( \frac{\Delta a_1}{a_1} + \frac{\Delta l}{l} \right) \cdot B_1$$

Et pour la deuxième pente obtenue, on fait le calcul suivant :

$$\Delta B_2 = \left( \frac{\Delta a_2}{a_2} + \frac{\Delta I}{I} \right) \cdot B_2$$

### 3.4 Discussion des résultats :

On a obtenu trois valeurs pour le champ magnétique :

$$B_1 = (-49.0 \pm 0.4) \text{ mT}$$

$$B_2 = (-48.2 \pm 0.5) \text{ mT}$$

$$B_3 = (-43.3 \pm 0.4) \text{ mT}$$

Le fait que ces valeurs soient très proches les unes des autres permet de tirer les conclusions suivantes :

- La fonction  $\delta m$  dépend linéairement de  $I$  et de  $\theta$ , donc la fonction  $||\vec{F}_L||$  en dépend également.
- On peut également en déduire que la force  $\vec{F}_L$  créée par la bobine est exactement la même, mais de signe opposé dans le système de force de l'aimant, mettant ainsi en évidence le principe d'action-réaction.

## 4 Synthèse et conclusion

Dans ce laboratoire, on a cherché à comprendre et à démontrer les formules trouvées dans le cadre théorique de la force de Laplace.

Pour atteindre cet objectif, on a calculé le champ magnétique d'un aimant de trois manières différentes :

- On l'a trouvé en faisant varier uniquement le courant électrique  $I$
- On l'a trouvé en faisant varier uniquement l'angle  $\theta$
- On a utilisé un teslamètre pour le mesurer

Le résultat de cette expérience est que on a prouvé que on a bien une dépendance linéaire entre  $||\vec{F}_L||$  et les termes qui composent sa formule, et que la force  $\vec{F}_L$  existe à la fois dans la bobine et dans l'aimant.