

# TP Force de Laplace

Camille Yerly, Romain Blondel

2M8, Gymnase Auguste Piccard

14 mai 2023

## 1 But

Le but de ce TP est de vérifier la validité de la formule de Laplace en variant les différents paramètres de celle-ci (le courant, la longueur et le champ magnétique (norme et direction)) et d'analyser les effets de ces paramètres sur ladite force.

## 2 Introduction

La force de Laplace est utilisée pour calculer l'effet des champs magnétiques sur les conducteurs électriques. La force de Laplace découle de la force de Lorentz qui décrit l'action du champ magnétique sur des particules chargées en mouvement. En raison de la facilité avec laquelle il est possible de générer des champs magnétiques et le fait que la force s'exerce à distance, on trouve de nombreuses applications pratiques à ce phénomène. Par exemple, l'imagerie médicale (IRM) repose sur ce principe. De plus, elle offre des applications indispensables dans notre vie de tous les jours, comme par exemple les moteurs électriques. En effet, dans ce cas, elle permet de créer une force perpendiculaire à la direction du courant, ce qui permet de faire tourner un moteur via un courant électrique dans un champ magnétique.

Historiquement, cette force fut découverte en observant l'effet des courants électriques sur les champs magnétiques. Par exemple, une boussole aura un comportement anormal en présence de courants électriques. Cette force fut observée par plusieurs scientifiques, mais il fallut plusieurs années avant que Coulomb ne parvienne, au moyen d'une balance de torsion, à démontrer ce phénomène.

En effet, le champ magnétique applique une force perpendiculaire au sens du courant. La force de Lorentz décrit la force d'un champ magnétique sur une charge électrique. Elle s'applique selon la formule suivante :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Avec :

- $\vec{F}$  la force de Lorentz en  $[N]$
- $q$  la charge en  $[C]$
- $\vec{v}$  la vitesse de la particule en  $[\frac{m}{s}]$
- $\vec{B}$  le champ magnétique en  $[T]$

La force de Laplace peut être décrite comme la résultante de toutes les forces de Lorentz dans un conducteur. La force de Laplace se décrit donc, non avec les charges, mais en rapport avec le conducteur de ces charges. Cette force s'exprime ainsi :

$$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$

Avec :

- $F$  la force de Laplace en  $[N]$
- $I$  le courant en  $[A]$
- $L$  la longueur du tronçon du conducteur en  $[m]$
- $B$  le champ magnétique en  $[T]$

et une fois normalisée :

$$|F_{La}| = I \cdot |L| \cdot |B| \cdot \sin \alpha$$

En prenant  $t$  le temps pendant lequel un conducteur est traversé par une charge,  $q = It$  et la vitesse de cette charge est  $\vec{v} = \frac{\vec{L}}{t}$ . En combinant les deux, nous pouvons voir  $q \cdot \vec{v} = I \cdot \vec{L}$ . Par conséquent, nous pouvons faire le lien entre ces deux forces.

### 3 Principe de mesure et description

#### 3.1 Matériel

- Support pour la plaque et la bobine
- Plaques avec des fils conducteurs de diverses longueur
- Balance de précision
- Plusieurs aimants (identiques) et leur support afin de former un “aimant”
- Statif
- Générateur
- Bobine avec roue graduée

#### 3.2 Déroulement

Nous avons fait quatre expériences permettant chacune de varier un paramètre de la formule :

$$|F_{La}| = I \cdot |L| \cdot |B| \cdot \sin \alpha$$

le courant  $I$ , la longueur du fil  $L$ , la norme du champ magnétique  $B$  et l'angle  $\alpha$  entre  $B$  et  $L$ .

##### 3.2.1 Expérience 1 : Courant

1. Nous avons placé les six aimants sur leur support que nous avons mis sur la balance de précision et avons placée la plaque de longueur maximale dans le support entre les aimants.
2. Nous ensuite fait varier le courant de  $-5 [A]$  à  $5 [A]$  en relevant la masse tous les  $0.5 [A]$ . Pour chaque mesure, nous avons éteint puis rallumé le générateur afin d'éviter que le système chauffe et que les fils fondent.

##### 3.2.2 Expérience 2 : Longueur du fil

En gardant le même montage (même nombres d'aimants), nous avons cette fois fait changer les plaques, afin de faire varier la longueur du fil. Nous avons effectué chaque mesure à  $5 [A]$ . Nous avons effectué les mesures pour chacune des six plaques.

##### 3.2.3 Expérience 3 : Norme du champ

1. Nous avons remis la plaque de longueur maximale et avons gardé le courant à  $5 [A]$ .
2. Nous avons varier le nombre d'aimants, de 1 à 6, en faisant attention de les centrer à chaque fois et avons relevé des mesures pour chaque variation.

### 3.2.4 Expérience 4 : Direction du champ

1. Cette fois, nous avons remplacé la plaque par une bobine avec roue graduée (rapporteur) et l'avons centré de sorte à ce qu'elle ne dérange pas le support à aimant dans sa rotation et pour que, lorsque le rapporteur indiquait  $0^\circ$  la masse soit nulle.
2. Avec un courant fixé à  $2\text{ [V]}$ , nous avons fait varier l'angle entre la bobine et le champs magnétique de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$  en relevant la masse tous les  $10^\circ$ .

## 3.3 Schémas

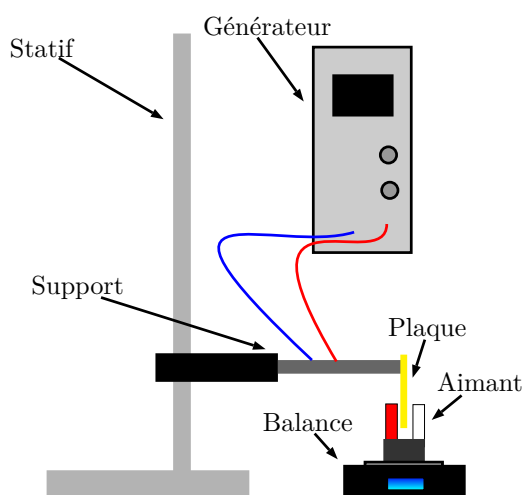


FIGURE 1 – Schéma du montage principal

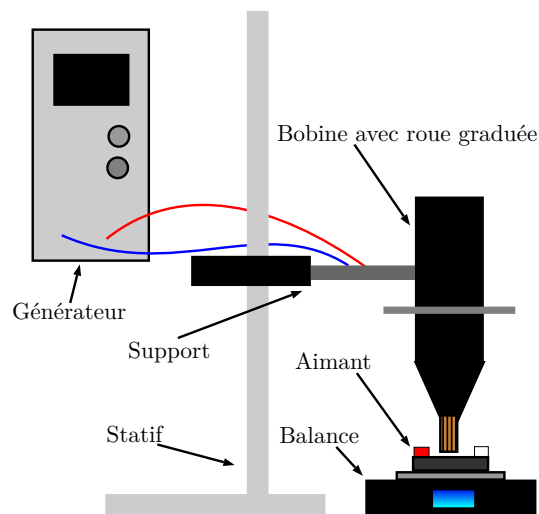


FIGURE 2 – Schéma du montage pour faire varier l'angle

## 4 Résultats et calculs

Ci-dessous, les résultats obtenus lors de l'expérience. Afin de mesurer la force de Laplace, nous avons utilisé la troisième loi de Newton. En effet, la force de Laplace exercée sur le conducteur est égale à la force exercée par le conducteur sur le champ magnétique. En d'autres termes, la force de Laplace que subit la plaque est égale à la force exercée sur l'aimant (au signe près, mais cela est négligeable dans le but de vérifier la formule). En mettant l'aimant sur une balance, nous avons pu mesurer cette dernière, en mettant la balance à 0, puis en relevant la masse affichée lorsque du courant passe dans la plaque. Comme la balance convertit la force en masse, nous avons dû opérer l'opération inverse afin d'obtenir la force de réponse qui est égale à la force de Laplace :  $m = \frac{F}{g} \Leftrightarrow F = m \cdot g$ , avec  $g = 9.81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$ .

Les paramètres de l'expérience sont maximaux sauf pour celui qui est étudié. Cela veut donc dire que le courant est de  $5\text{ [A]}$ , il y a les 6 aimants pour créer le champ magnétique, la plaque est à  $90^\circ$  et la longueur du fil est de  $8.4\text{ [cm]}$ . De plus, le voltage du circuit est plafonné entre 3 et 4 [V].

À noter encore que la balance est sensible à  $0.01\text{ [g]}$  près, et que l'on considère le champ magnétique comme étant homogène. Finalement, dans les tableaux ci-dessous, les valeurs de  $F$  sont arrondies à  $10^{-3}\text{ [N]}$  près, cela juste afin de donner un ordre d'idée, néanmoins les calculs et graphiques sont faits avec les valeurs exactes.

Les deux premiers tableaux ci-dessous montrent les mesures en faisant varier le courant. Le premier contient les valeurs de courant recommander par le protocole, et le second est fait avec des valeurs de courant 10× plus petites dû à une mauvaise manipulation, mais les résultats sont pertinents et donc intégrés dans le rapport.

Le troisième tableau montre les mesures en avec un angle différent. Afin de modifier ce facteur, nous avons dû utilisé un montage différent, comme montré sur le schéma de la figure 2. De plus, le courant sur cette mesure est fixé à 2 [A] afin de ne pas abimer le matériel.

$I$ [A]	$m$ [g]	$F$ [N]
-5	-3.30	-0.032
-4.5	-2.97	-0.029
-4	-2.65	-0.026
-3.5	-2.33	-0.023
-3	-2.00	-0.020
-2.5	-1.67	-0.016
-2	-1.34	-0.013
-1.5	-1.01	-0.010
-1	-0.66	-0.006
-0.5	-0.31	-0.003
0	0.00	0.000
0.5	0.32	0.003
1	0.65	0.006
1.5	0.98	0.010
2	1.30	0.013
2.5	1.63	0.016
3	1.95	0.019
3.5	2.29	0.022
4	2.60	0.026
4.5	2.93	0.029
5	3.26	0.032

TABLE 1 – Mesures de la force de Laplace en fonction de l'intensité du courant

Les deux derniers tableau sont à nouveau sur le premier montage, figure 1. Les plaques étant nommée, ceux-ci sont reporté dans le tableau 3, et pour les autres nous avons uniquement utilisé celle “SF 42”.

La table 4 relève les résultats de la mesure de la force de Laplace en fonction du nombre de petits aimants composant l'aimant qui crée le champ magnétique. Il est toutefois à noter que nous considérons dans tout les cas le champ magnétique comme homogène.

$I$ [A]	$m$ [g]	$F$ [N]
-0.5	-0.31	-0.003
-0.45	-0.29	-0.003
-0.4	-0.26	-0.003
-0.35	-0.24	-0.002
-0.3	-0.21	-0.002
-0.25	-0.16	-0.002
-0.2	-0.12	-0.001
-0.15	-0.10	-0.001
-0.1	-0.06	-0.001
-0.05	-0.02	-0.000
0	0.00	0.000
0.05	0.03	0.000
0.1	0.06	0.001
0.15	0.09	0.001
0.2	0.12	0.001
0.25	0.16	0.002
0.3	0.20	0.002
0.35	0.22	0.002
0.4	0.26	0.003
0.45	0.29	0.003
0.5	0.32	0.003

$\alpha$ [°]	$m$ [g]	$F$ [N]
-90	-0.99	-0.010
-80	-0.97	-0.010
-70	-0.94	-0.009
-60	-0.85	-0.008
-50	-0.76	-0.007
-40	-0.64	-0.006
-30	-0.50	-0.005
-20	-0.35	-0.003
-10	-0.17	-0.002
0	0.00	0.000
10	0.15	0.001
20	0.32	0.003
30	0.48	0.005
40	0.62	0.006
50	0.73	0.007
60	0.83	0.008
70	0.89	0.009
80	0.92	0.009
90	0.95	0.009

TABLE 2 – Mesures de la force de Laplace en fonction de l'angle

$l$ [cm]	# SF	$m$ [g]	$F$ [N]
1.2	40	0.42	0.004
2.2	37	0.89	0.009
3.2	39	1.31	0.013
4.2	38	1.74	0.017
6.4	41	2.50	0.025
8.4	42	3.26	0.032

TABLE 3 – Mesures de la force de Laplace en fonction de la longueur du fil

# aimants	$m$ [g]	$F$ [N]
1	0.76	0.007
2	1.20	0.012
3	1.84	0.018
4	2.47	0.024
5	3.24	0.032
6	3.26	0.032

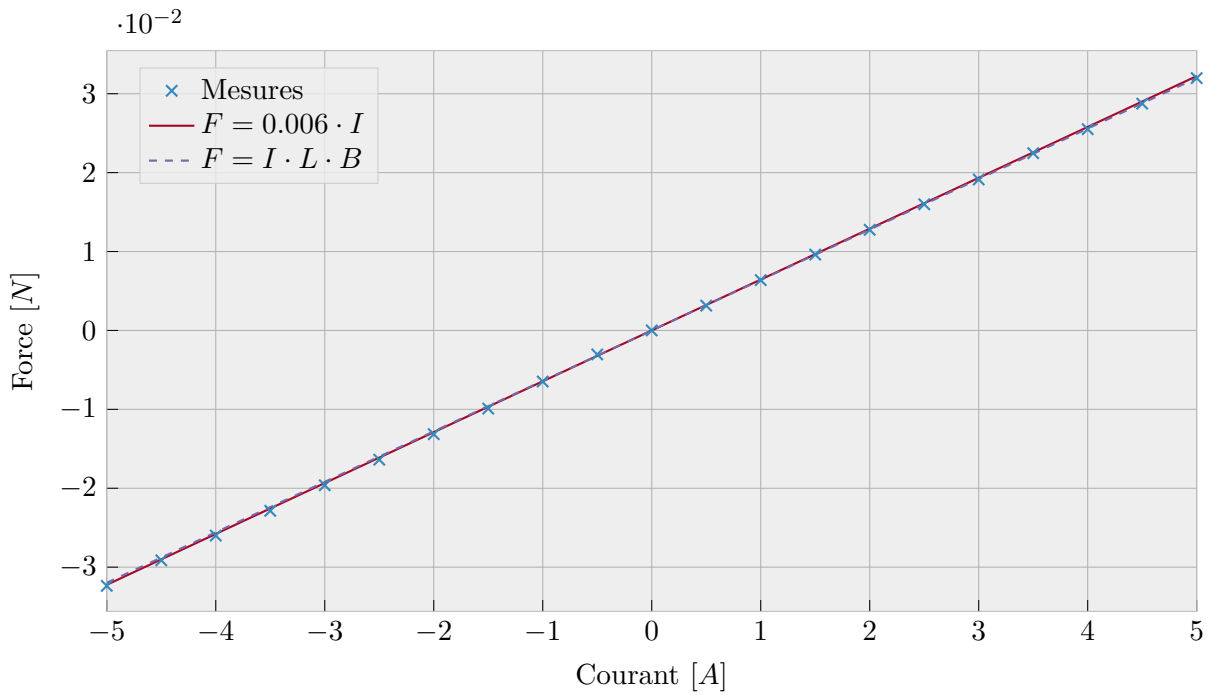
TABLE 4 – Mesures de la force de Laplace en fonction du nombre d’aimants

Afin de pouvoir étudié les résultats, nous avons représenté les données sous forme de graphique. Sur chaque graphique, ont a reporté nos mesures, et afin de simplifier la lecture, nous avons ajouté une courbe de tendance, obtenue par la méthode des moindres carrés. Pour tout les graphes sauf la figure 6, c’est une fonction linéaire, soit d’équation  $f(x) = a \cdot x$ , dont le facteur  $a$  est indiqué dans la légende, arrondi au millième. Pour la dernière, c’est une fonction linéaire du sinus, soit d’équation  $f(x) = a \cdot \sin(x)$ , également indiqué dans la légende.

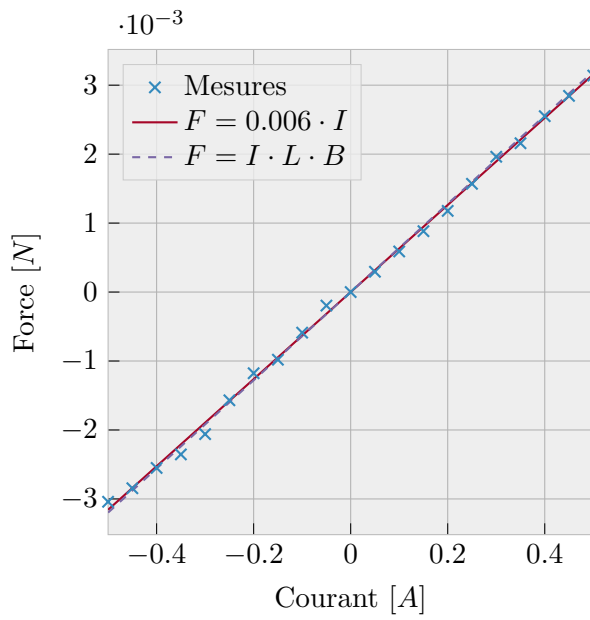
Sur les graphes des figures 3, 4 et 5, nous avons également ajouté une droite obtenue en calculant via les valeurs théoriques de la force de Laplace :  $F = I \cdot L \cdot B$ , avec pour les fois où c’est fixe  $L = 8.4$  [cm] et  $I = 5$  [A]. Le champs  $B$  est obtenu via la mesure “# 6” de la table 4, via la formule  $F = I \cdot L \cdot B \Leftrightarrow B = \frac{F}{I \cdot L} \approx 0.076$  [T]. Pour la figure 5, nous avons exprimé le nombre d’aimant  $N$ , puis pour la courbe en trait non-continu, nous avons utilisé la formule  $F = I \cdot L \cdot \frac{B \cdot N}{6}$  pour modéliser la variation du champ magnétique selon le nombre de petits aimants.

Pour la figure 6, nous ne pouvions pas faire de même, ne connaissant pas la longueur de la bobine.

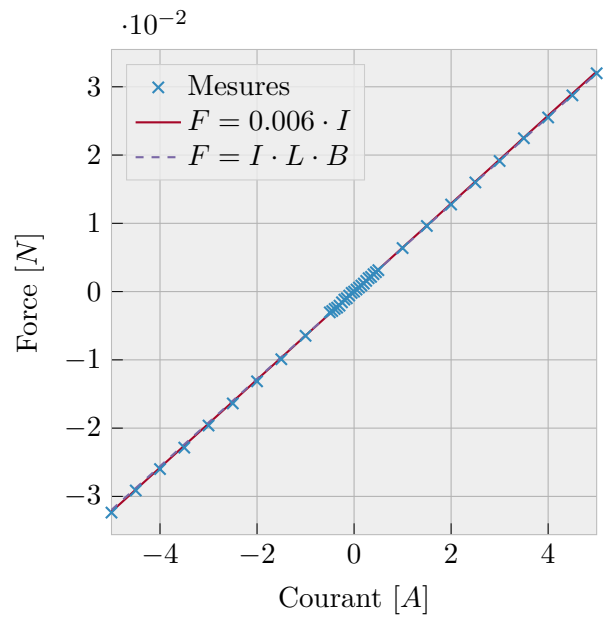
Pour la variation de courant, figure 3, nous avons séparé les graphes afin de pouvoir mieux voir les résultats, et nous avons également ajouté un graphe avec toutes les mesures, afin de pouvoir bien constater la tendance générale.



(a) Mesure normale



(b) Courant 10x plus petit



(c) Toutes les mesures

FIGURE 3 – Graphes des mesures selon l'intensité du courant

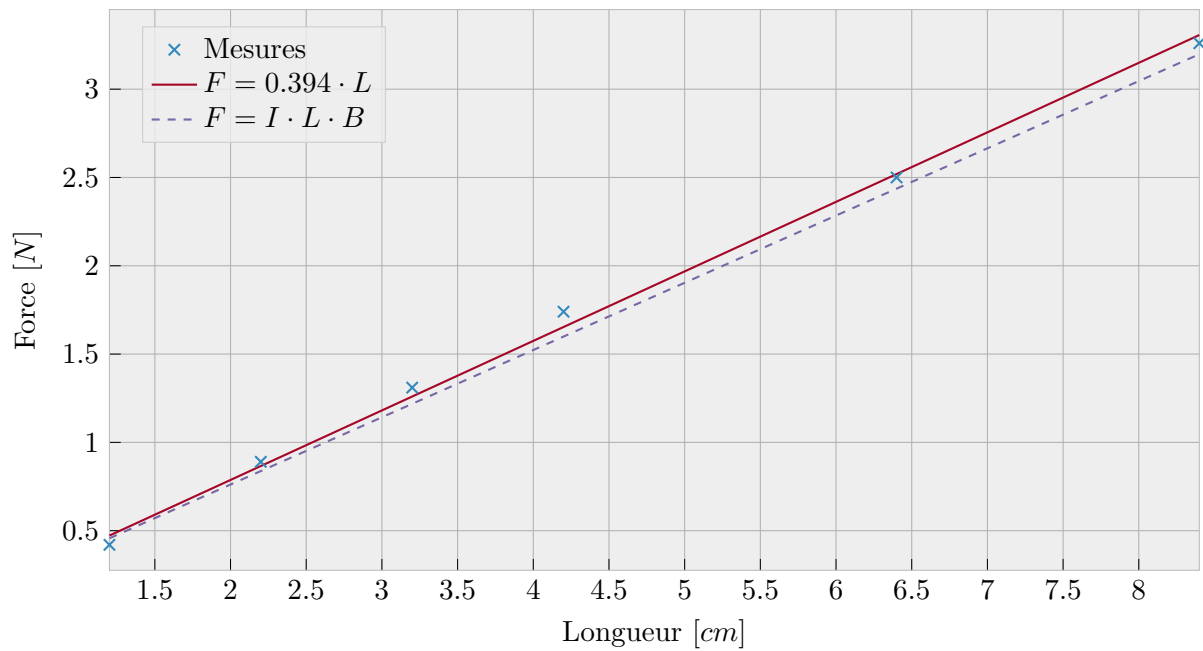


FIGURE 4 – Graphes des mesures selon de la longueur du fil

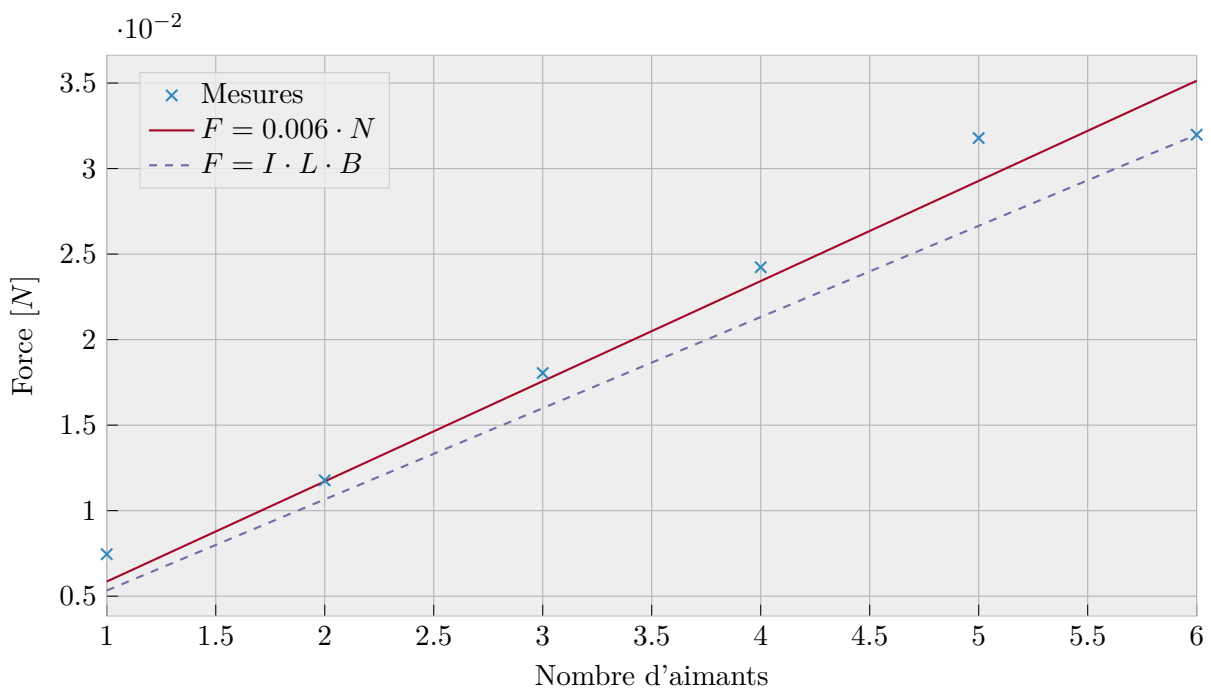


FIGURE 5 – Graphes des mesures selon le nombre d'aimants

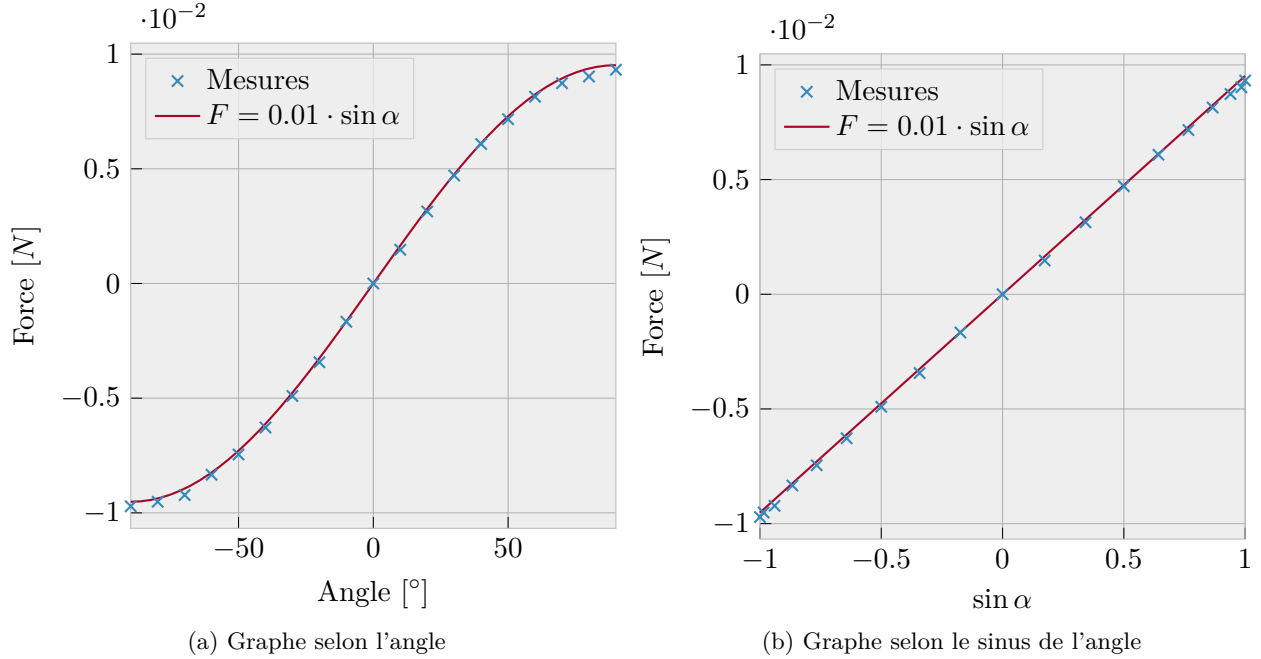


FIGURE 6 – Graphes des mesures selon l'angle

## 5 Discussion des résultats

Nous observons bien dans nos résultats les relations de proportionnalité entre la force de Laplace et l'intensité du courant, la longueur du fil, l'intensité du champ magnétique et le sinus de l'angle.

Notons tout d'abord que via les tableaux, nous pouvons voir des mesures très petites pour les forces, ce qui est normal, car la force de Laplace est très faible, mais demeure tout de même mesurable. Il faut quand même remarquer que pour la percevoir, la balance est très sensible, et il faut donc faire attention à ne pas la faire bouger, car cela fausserait les mesures. De plus, le calibrage de celle-ci à zéro au point neutre de la mesure n'est pas toujours aisé, et il oscillait parfois avec  $\pm 0.01$  [g].

Ensuite, nous pouvons assez clairement voir la relation de proportionnalité entre les résultats. Sur la variation de courant, figure 3, la courbe de tendance est très proche pour les deux échelles de mesure, et cela est confirmé par le graphe avec toutes les mesures. De plus, la droite théorique est également très proche, ce qui indique que la mesure en faisant varier le courant est très précise.

Pour la variation de la longueur du fil, figure 4, la courbe de tendance est un peu moins proche des mesures, tout comme la droite théorique, mais cela peut être mis sur le fait que la mesure de la longueur du fil est liée au fabricant et donc potentiellement moins précis que la mesure du courant. Pour la variation du nombre d'aimants, figure 5, les mesures semblent être plus dispersées, surtout entre les 5 premières mesures et la 6ème. Cela peut être attribué aux aimants qui serait mal centré ou qui ne serait pas parfaitement aligné (mais on a répété plusieurs fois ces mesures avec les mêmes résultats, donc on doute que ce soit la meilleure explication), ou, également plus ou moins lié à cela, le fait que l'on considère que le champ magnétique est homogène. Ces différences sont également visible sur la droite théorique, qui est faite en considérant que le champ est strictement proportionnel au nombre d'aimants, ce qui ne semble pas être le cas. Néanmoins, de part l'aspect



proche entre cette dernière courbe et le point 2, il n'est pas à exclure les hypothèses précédentes.

Enfin, pour la variation de l'angle, figure 6, nous pouvons voir que la courbe de tendance colle bien aux mesures, et la relation de proportionnalité est parfaitement visible sur le graphe de la force en fonction du sinus de l'angle.

## 6 Conclusion

En conclusion, nous avons pu observer expérimentalement comment s'exerce la force de Laplace sur un fil parcouru par un courant électrique, et nous avons pu constater que les résultats obtenus sont en accord avec les prédictions théoriques. L'expérience pourrait être améliorée, principalement en créant un champ magnétique plus homogène et mieux contrôlé, afin d'améliorer la mesure. Cela pourrait être fait en utilisant un électroaimant, ce qui améliorerait les deux points précédents. De plus, créer un montage permettant de mieux observer la variation de la force selon la longueur du fil pourrait être intéressant, comme c'est une des mesures pour laquelle on a le moins de points. Malgré tout, cela demeure une expérience intéressante, et qui permet de bien comprendre le phénomène de la force de Laplace.