

Mesure de la force sur des conducteurs parcourus par un courant dans le champ magnétique d'un aimant en fer à cheval

Objectifs expérimentaux

- Mesure de la force sur un conducteur parcouru par un courant dans un champ magnétique en fonction de l'intensité du courant
- Mesure de la force sur des conducteurs parcourus par un courant dans un champ magnétique en fonction de la longueur du conducteur
- Mesure de la force sur un conducteur parcouru par un courant en fonction de l'angle entre le champ magnétique et le sens du courant
- Calcul du champ magnétique

Principes de base

L'induction magnétique ou plus simplement, le champ magnétique \mathbf{B} est une grandeur vectorielle. Sur une charge q qui se déplace à la vitesse \mathbf{v} dans le champ magnétique \mathbf{B} , il est exercé une force \mathbf{F} qui dépend de l'importance et de la direction de la vitesse ainsi que de l'intensité et de la direction du champ magnétique. On a :

$$\mathbf{F} = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (I)$$

Ladite force de Lorentz \mathbf{F} est elle aussi une grandeur vectorielle et elle est à la verticale sur le plan constitué par \mathbf{v} et \mathbf{B} .

On peut considérer la force sur un conducteur parcouru par un courant dans un champ magnétique comme étant la somme de chacune des forces exercées sur les porteurs de charge mobiles, constitutifs du courant. La force \mathbf{F} de Lorentz agit conformément à (I) sur chacun des porteurs de charge q qui se déplace à la vitesse \mathbf{v} . Pour un conducteur droit, il en résulte la force totale

$$\mathbf{F} = q \cdot nAs \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (II),$$

car le nombre de porteurs de charge dans le conducteur est le produit de la densité n des porteurs de charge, de la section A du conducteur et de la longueur s du tronçon de conducteur situé dans le champ magnétique.

Il est d'usage d'introduire le vecteur \mathbf{s} qui montre en direction du tronçon de conducteur. Du reste, le produit $qnAv$ correspond à l'intensité de courant I . C'est ainsi que la force d'un champ magnétique exercée sur un tronçon de conducteur droit, parcouru par un courant, est donnée par l'équation

$$\mathbf{F} = I \cdot (\mathbf{s} \times \mathbf{B}) \quad (III)$$

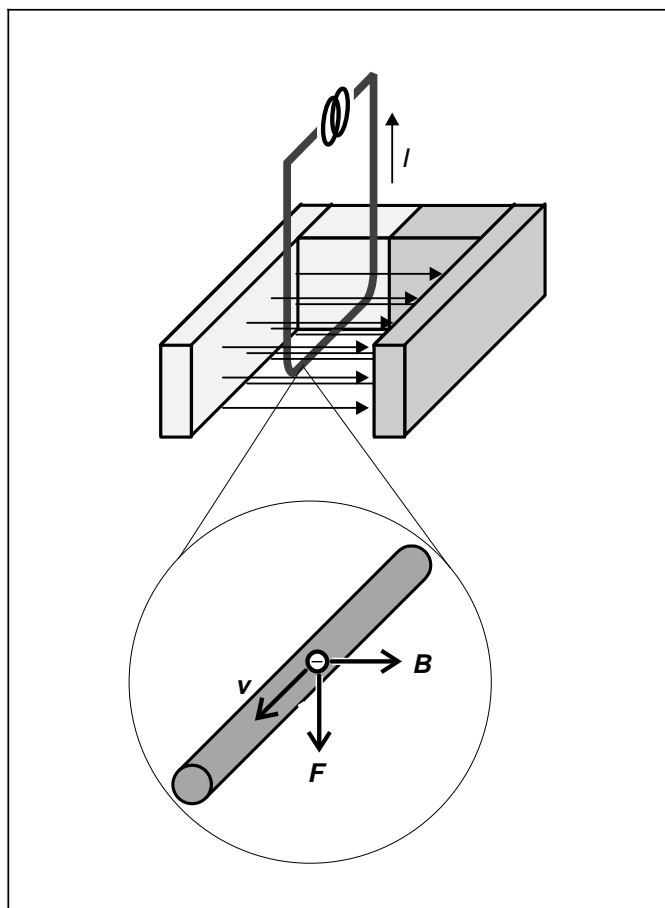
et la valeur de la force par

$$F = I \cdot s \cdot B \cdot \sin \alpha \quad (IV),$$

avec α l'angle entre le champ magnétique et le sens du courant.

Dans l'expérience, on place des boucles conductrices rectangulaires parcourues par un courant de max. 20 A dans le champ magnétique horizontal d'un aimant en fer à cheval. La force mesurée est celle exercée sur la partie horizontale d'une boucle conductrice. Les forces exercées sur les deux sections verticales s'annulent entre elles.

Image titre: Schéma expliquant l'action de la force exercée sur un conducteur parcouru par un courant dans un champ magnétique



Matériel

1 aimant en fer à cheval avec joug	510 21
1 capteur de force	314 261
1 jeu de boucles conductrices pour la mesure de la force	516 34
1 support de boucle conductrice	314 265
1 newtonmètre	314 251
1 câble de connexion, hexapolaire, 1,5 m de long	501 16
1 alimentation en courant fort	521 55
1 petit pied en V	300 02
1 tige, 47 cm de long, Ø 12 mm	300 42
1 noix Leybold	301 01

Câbles d'expérience d'une section de 2,5 mm²

Les boucles conductrices sont fixées à un capteur de force. Il comprend un élément de flexion sur lesquels sont disposées des jauges extensométriques dont la résistance électrique varie sous l'action d'une charge. La variation de la résistance est proportionnelle à la force subite. Un newtonmètre connecté mesure la variation de la résistance et indique la force correspondante.

Montage et réalisation

Remarques:

Comme la grandeur mesurée est très petite, la mesure est très facilement affectée par des influences environnantes perturbatrices:

éviter les secousses aux abords du dispositif, les courants d'air et les variations de température.

Il faut laisser chauffer le newtonmètre pendant au moins 15 min avant de commencer l'expérience:

pour cela, activer l'interrupteur secteur au dos de l'appareil pour mettre en marche le newtonmètre avec le capteur de force connecté.

La charge de 20 A appliquée au support de boucle conductrice et aux boucles conductrices ne devra être que temporaire (quelques minutes seulement).

Le champ magnétique de l'aimant en fer à cheval n'est pas homogène: pour toutes les mesures, disposer la boucle conductrice bien au milieu entre les deux branches de l'aimant pour que le champ magnétique change le moins possible.

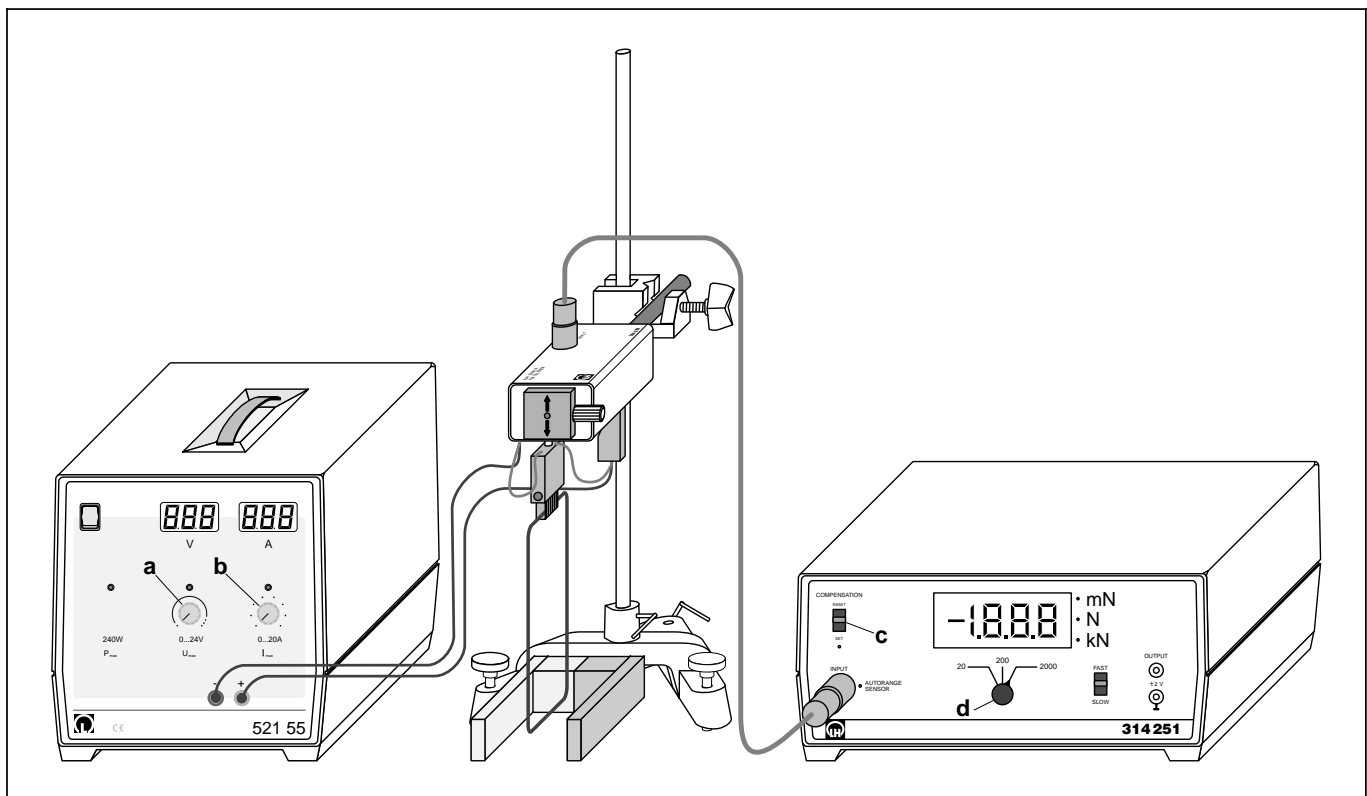
- Réaliser le montage expérimental conformément à la fig.1
- Pour éviter un court-circuit, veiller à ce que les parties de câbles pas isolées du support de boucle conductrice ne se touchent pas.
- Régler le sélecteur de la plage de mesure (**d**) du newtonmètre sur 2000.

Les expériences ne sont réalisées qu'avec les boucles conductrices sans retrécissement. Le plus simple pour le réglage de l'intensité du courant est de se contenter d'utiliser le bouton de réglage de l'intensité du courant (**b**). Il faut pour cela tourner le bouton de réglage de la tension (**a**) à fond vers la droite.

Fig. 1 Montage expérimental pour la mesure de la force exercée sur des conducteurs parcourus par un courant dans un champ magnétique

a) Mesure en fonction de l'intensité du courant

- Commencer par fixer la boucle conductrice de 8 cm de large au capteur de force.



- Tourner le bouton de réglage de l'intensité du courant **(b)** à fond vers la gauche et le bouton de réglage de la tension **(a)** à fond vers la droite, pour finir, brancher l'alimentation en courant fort.
- Pour la compensation du zéro du newtonmètre, régler le bouton-poussoir COMPENSATION **(c)** sur SET.
- Avec le bouton de réglage de l'intensité du courant **(b)**, augmenter à chaque fois le courant de 2 A jusqu'à 20 A et pour chacune des intensités de courant, relever la force sur le newtonmètre et la noter.
- Régler une intensité du courant $I = 0$ A et contrôler le zéro de l'affichage de la force.

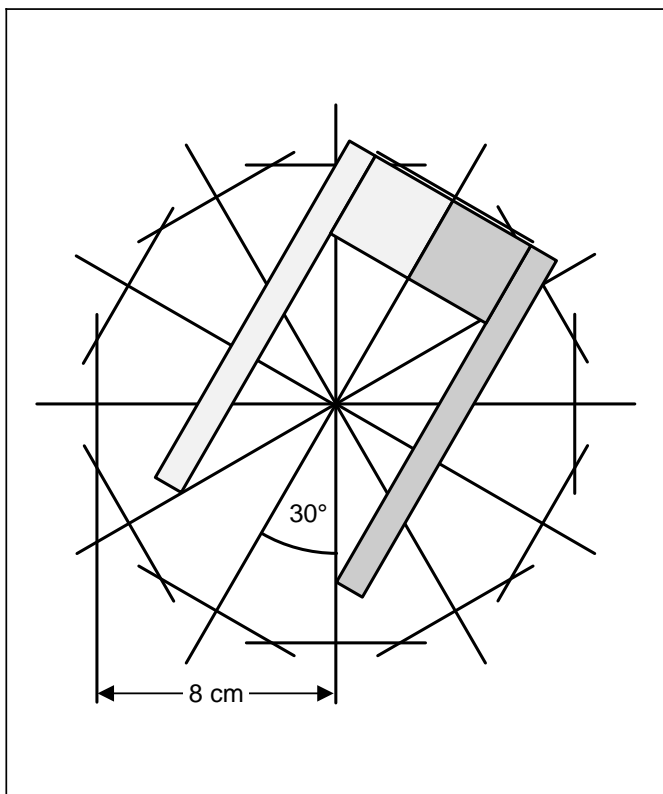
b) Mesure en fonction de la longueur du conducteur:

- Fixer la boucle conductrice de 4 cm de large sur le capteur de force.
- Pour la compensation du zéro du newtonmètre, positionner le bouton-poussoir COMPENSATION **(c)** sur SET.
- Régler une intensité du courant $I = 20$ A puis relever la force sur le newtonmètre et la noter.
- Régler une intensité du courant $I = 0$ A et contrôler le zéro de l'affichage de la force.
- Recommencer la mesure avec la boucle conductrice de 2 cm de large et celle de 1 cm de large.

c) Mesure en fonction de l'angle entre le champ magnétique et le sens du courant:

Recommandation: A cause de l'inhomogénéité du champ magnétique et pour le réglage de l'angle de rotation, la réalisation d'un gabarit est d'une aide appréciable (voir fig. 2). Cela permet un positionnement plus rapide et plus précis de l'aimant en fer à cheval.

Fig. 2 Utilisation d'un gabarit comme aide pour le positionnement de l'aimant en fer à cheval



- Tourner le bouton de réglage de l'intensité du courant à fond vers la gauche et fixer la boucle conductrice de 4 cm de large sur le support de boucle conductrice.
- Placer le gabarit sous la boucle conductrice de façon à ce que le centre de celui-ci soit exactement sous le centre de la partie horizontale de la boucle conductrice et qu'il y ait une ligne auxiliaire du gabarit qui soit parallèle à cette partie de boucle conductrice.
- Placer l'aimant en fer à cheval de façon à ce que le champ magnétique et la partie de boucle conductrice évoluent parallèlement.
- Pour la compensation du zéro du newtonmètre, positionner le bouton-poussoir COMPENSATION **(c)** sur SET.
- Régler une intensité du courant $I = 10$ A.
- Tourner l'aimant de 360° par pas de 30° et relever sur le newtonmètre la force qui correspond à chacun des angles de rotation.
- Régler une intensité du courant de 0 A et contrôler le zéro de l'affichage de la force.

Exemple de mesure et exploitation

a) Mesure en fonction de l'intensité du courant:

Tab. 1: Force F en fonction de l'intensité du courant I ($s = 8$ cm)

I A	F mN
0	0,0
2	4,5
4	9,3
6	13,5
8	18,0
10	22,5
12	27,0
14	31,4
16	35,9
18	40,4
20	45,6

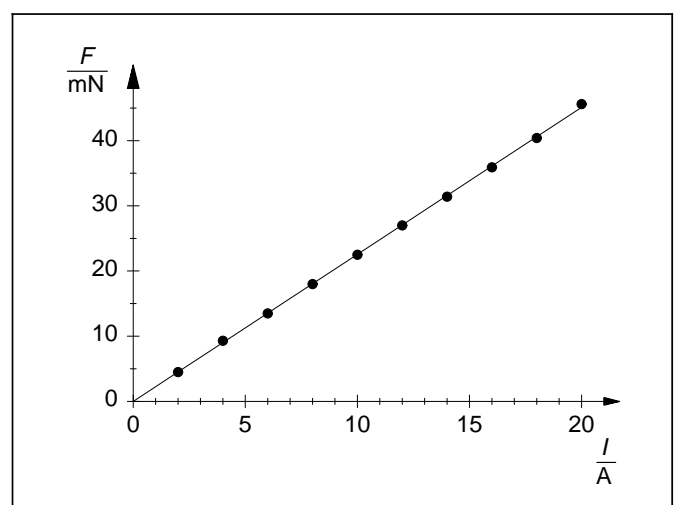


Fig. 3 Force F exercée sur un conducteur parcouru par un courant en fonction de l'intensité du courant I (cf. tab. 1)

Sur la fig. 3, les valeurs mesurées sont à peu près bien alignées sur une droite passant par l'origine de pente

$$\frac{F}{I} = 2,26 \frac{\text{mN}}{\text{A}}$$

Avec (IV), on obtient à cause de $\sin 90^\circ = 1$ le champ magnétique

$$B = \frac{F}{I \cdot s} = \frac{2,26 \text{ mN}}{\text{A} \cdot 0,08 \text{ m}} = 28,5 \text{ mT}$$

Le rapport linéaire entre la force et l'intensité du courant qui est formulé dans les équations (III) et (IV) pour une longueur constante du conducteur est confirmé.

b) Mesure en fonction de la longueur du conducteur:

Tab. 2: Force F en fonction de la longueur s ($I = 20 \text{ A}$)

$\frac{s}{\text{cm}}$	$\frac{F}{\text{mN}}$
8	45,6
4	23,0
2	11,7
1	6,2

Dans la fig. 4, les valeurs mesurées sont également à peu près bien alignées sur une droite passant par l'origine de pente

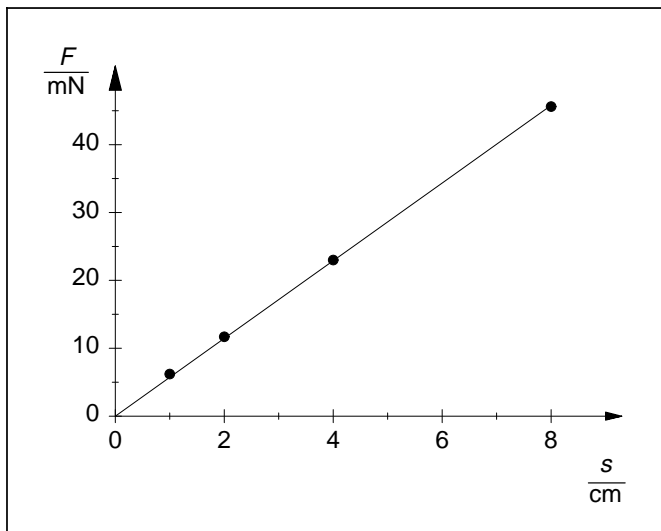


Fig. 4 Force F exercée sur des conducteurs parcourus par un courant en fonction de la longueur s des conducteurs (cf. tab. 2)

$$\frac{F}{s} = 572 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

On obtient pour le champ magnétique

$$B = \frac{F}{s \cdot I} = \frac{572 \text{ mN}}{\text{m} \cdot 20 \text{ A}} = 28,6 \text{ mT}$$

Le rapport linéaire entre la force et la longueur du conducteur qui est formulé dans les équations (III) et (IV) pour une intensité constante du courant est confirmé.

c) Mesure en fonction de l'angle entre le champ magnétique et le sens du courant:

Tab. 3: Force F en fonction de l'angle α ($s = 4 \text{ cm}$, $I = 10 \text{ A}$)

α	$\frac{F}{\text{mN}}$
0	0,0
30	5,6
60	9,9
90	11,6
120	10,4
150	6,3
180	0,1
210	-5,8
240	-9,9
270	-11,5
300	-10,1
330	-6,0
360	0,1

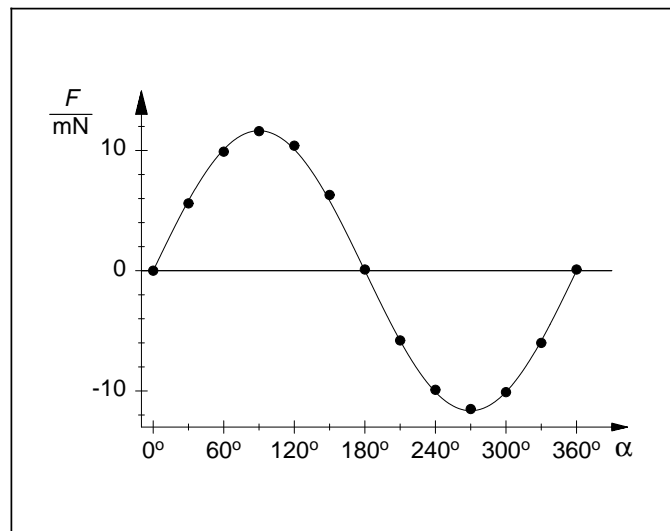


Fig. 5 Force F exercée sur un conducteur parcouru par un courant en fonction de l'angle α entre le champ magnétique et le sens du courant (cf. tab. 3)

Les valeurs mesurées à la fig. 5 sont à peu près bien alignées sur une courbe sinusoïdale, calculée conformément à l'équation (IV) avec un champ magnétique $B = 28,5 \text{ mT}$.