Leçon 26 – 03/06/2025

9. Magnétostatique

- 9.1 Champ magnétique et force de Lorentz
- 9.2 Force de Laplace

Quelques points essentiels du semestre de physique (cours 4 et suivants)

9.1 Champ magnétique et force de Lorentz

9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

- La loi du mouvement s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = m\mathbf{a} \quad (9.2)}$$

9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

- La loi du mouvement s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = m\mathbf{a} \quad (9.2)}$$

- Le mouvement de la particule a les propriétés suivantes :

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = \frac{q}{m}(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{v} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{a} \perp \mathbf{v}$$

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = \dot{\mathbf{v}} \cdot \mathbf{v} = \frac{1}{2}\frac{d}{dt}v^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad v = \text{cste}$$

9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

- La loi du mouvement s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = m\mathbf{a} \quad (9.2)}$$

- Le mouvement de la particule a les propriétés suivantes :

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = \frac{q}{m}(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{v} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{a} \perp \mathbf{v}$$

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = \dot{\mathbf{v}} \cdot \mathbf{v} = \frac{1}{2}\frac{d}{dt}v^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad v = \text{cste}$$

- L'accélération de la particule est une accélération centripète et la norme *v* de la vitesse est une constante.

9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

- La loi du mouvement s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = m\mathbf{a} \quad (9.2)}$$

- Le mouvement de la particule a les propriétés suivantes :

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = \frac{q}{m}(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{v} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{a} \perp \mathbf{v}$$

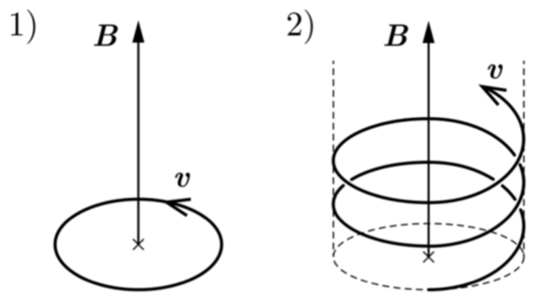
$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = \dot{\mathbf{v}} \cdot \mathbf{v} = \frac{1}{2}\frac{d}{dt}v^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad v = \text{cste}$$

- L'accélération de la particule est une accélération centripète et la norme v de la vitesse est une constante.

- Deux cas :
  1. Le mouvement est orthogonal au champ magnétique : $\mathbf{v} \perp \mathbf{B}$

  2. Le mouvement est quelconque.

9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst



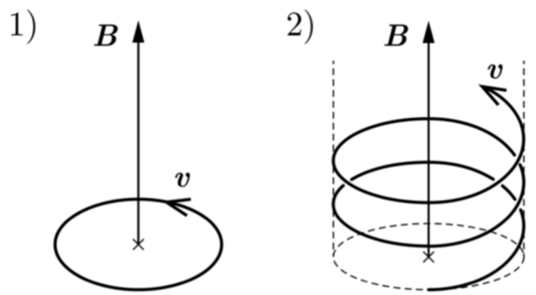
9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

1. Mouvement circulaire uniforme (MCU) :

$$\mathbf{a} = -\frac{q}{m}\mathbf{B}\times\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega}\times\mathbf{v} \text{ donc } \boxed{\boldsymbol{\omega} = -\frac{q\mathbf{B}}{m} \text{ et } \omega^2 = \frac{q^2B^2}{m^2} \quad (9.3)}$$

$$\mathbf{a} = -\omega^2\mathbf{r} = -\frac{q^2B^2}{m^2}\mathbf{r} = \frac{q^2B^2}{m^2}R\mathbf{e}_n \text{ où } \mathbf{r} = -R\mathbf{e}_n$$

$$v = \omega R = \frac{|q|B}{m}R \Rightarrow \boxed{R = \frac{mv}{|q|B} = \text{cste (rayon de courbure)} \quad (9.4)}$$



9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

1. Mouvement circulaire uniforme (MCU) :

$\mathbf{a} = -\frac{q}{m}\mathbf{B}\times\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega}\times\mathbf{v}$ donc $\boxed{\boldsymbol{\omega} = -\frac{q\mathbf{B}}{m} \text{ et } \omega^2 = \frac{q^2B^2}{m^2} \quad (9.3)}$

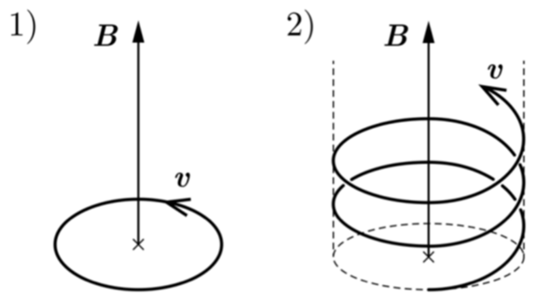
$$\mathbf{a} = -\omega^2\mathbf{r} = -\frac{q^2B^2}{m^2}\mathbf{r} = \frac{q^2B^2}{m^2}R\mathbf{e}_n \quad \text{où } \mathbf{r} = -R\mathbf{e}_n$$

$$v = \omega R = \frac{|q|B}{m}R \Rightarrow \boxed{R = \frac{mv}{|q|B} = \text{cste (rayon de courbure)} \quad (9.4)}$$

2. Mouvement hélicoïdal : $\mathbf{v} = \mathbf{v}_{//} + \mathbf{v}_{\perp}$

$$\mathbf{a} = \frac{q}{m}(\mathbf{v}\times\mathbf{B}) = \frac{q}{m}\Big(\underbrace{\mathbf{v}_{\parallel}\times\mathbf{B}}_{=\mathbf{0}}\Big) + \frac{q}{m}(\mathbf{v}_{\perp}\times\mathbf{B}) = \frac{q}{m}\mathbf{v}_{\perp}\times\mathbf{B} \Rightarrow \mathbf{v}_{\parallel} = \mathbf{cste} \text{ (MRU)}$$

$$v_{\perp} = \frac{\overbrace{|q|B}^{=\omega}}{m}R \Rightarrow \boxed{R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B} = \text{cste (rayon de courbure) (MCU)} \quad (9.5)}$$



9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

1. Mouvement circulaire uniforme (MCU) :

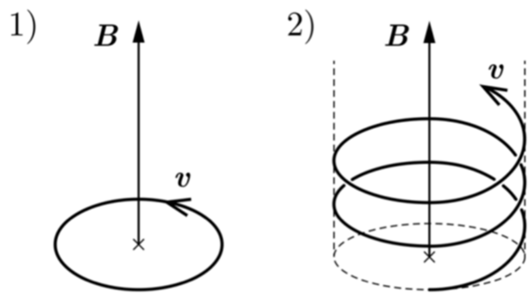
$$\mathbf{a} = -\frac{q}{m}\mathbf{B}\times\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega}\times\mathbf{v} \text{ donc } \boxed{\boldsymbol{\omega} = -\frac{q\mathbf{B}}{m} \text{ et } \omega^2 = \frac{q^2B^2}{m^2} \quad (9.3)}$$

$$\mathbf{a} = -\omega^2\mathbf{r} = -\frac{q^2B^2}{m^2}\mathbf{r} = \frac{q^2B^2}{m^2}R\mathbf{e}_n \text{ où } \mathbf{r} = -R\mathbf{e}_n$$

$$v = \omega R = \frac{|q|B}{m}R \Rightarrow \boxed{R = \frac{mv}{|q|B} = \text{cste (rayon de courbure)} \quad (9.4)}$$

2. Mouvement hélicoïdal : $\mathbf{v} = \mathbf{v}_{//} + \mathbf{v}_{\perp}$

$$\mathbf{a} = \frac{q}{m}(\mathbf{v}\times\mathbf{B}) = \frac{q}{m}\Big(\underbrace{\mathbf{v}_{\parallel}\times\mathbf{B}}_{=\mathbf{0}}\Big) + \frac{q}{m}(\mathbf{v}_{\perp}\times\mathbf{B}) = \frac{q}{m}\mathbf{v}_{\perp}\times\mathbf{B} \Rightarrow \mathbf{v}_{\parallel} = \textbf{cste} \text{ (MRU)}$$

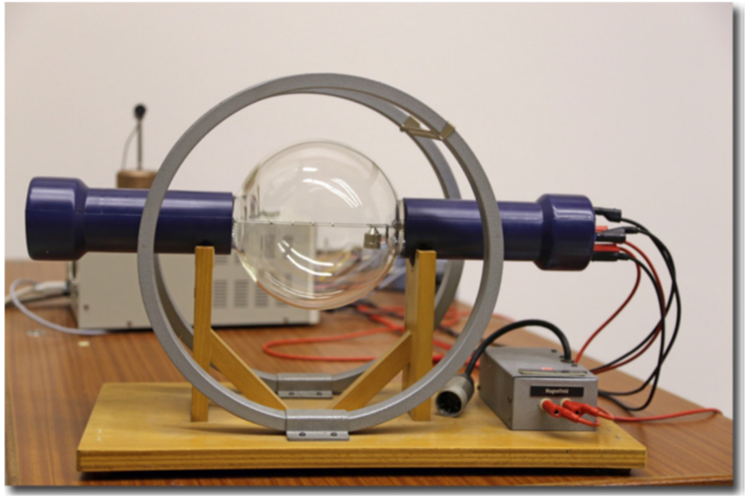


$$v_{\perp} = \frac{\overbrace{|q|B}^{=\omega}}{m}R \Rightarrow \boxed{R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B} = \text{cste (rayon de courbure) (MCU)} \quad (9.5)}$$

- La combinaison entre un MRU selon **B** et un MCU dans un plan perpendiculaire à **B** est un mouvement hélicoïdal (hélice).

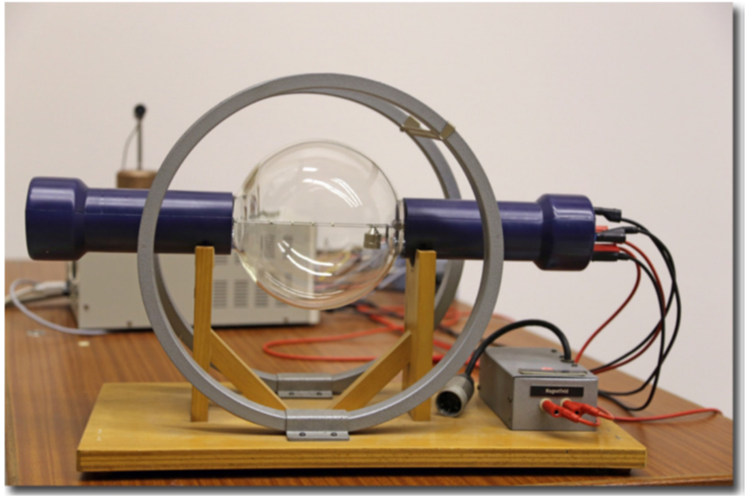
9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

Expérience :



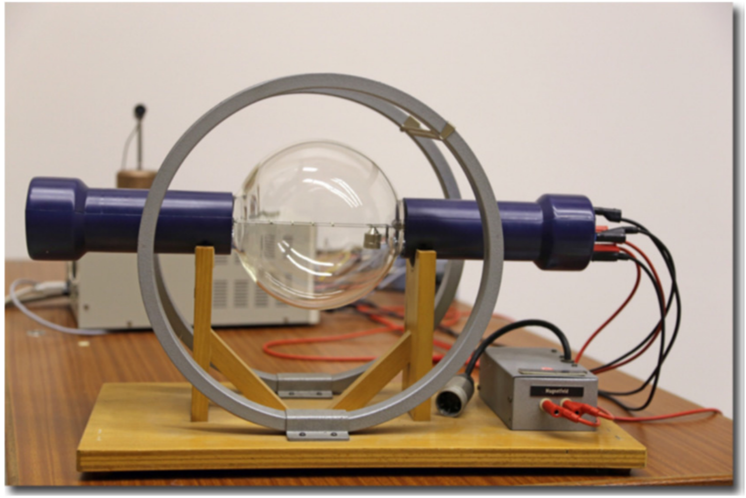
9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

Expérience : Faisceau d'électrons dans un champ magnétique



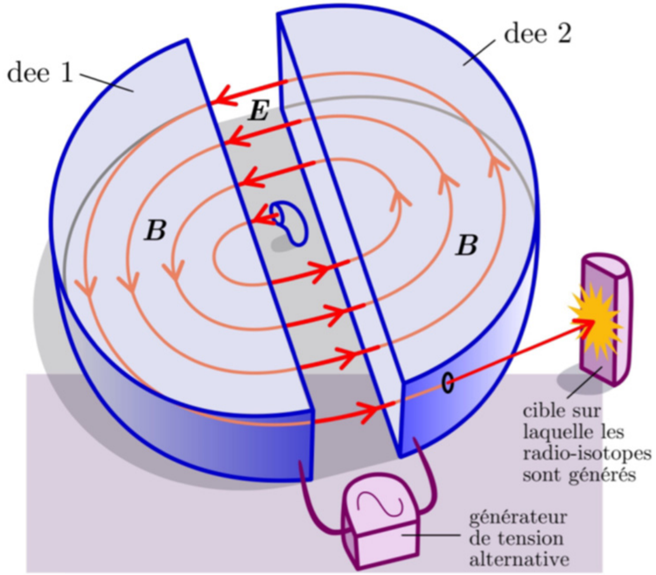
9.1.2 Mvt d'une partic. chargée dans un champ magn. unif. et cst

Expérience : Faisceau d'électrons dans un champ magnétique



Si le faisceau est perpendiculaire au champ magnétique, on observe une trajectoire circulaire. Si le faisceau est parallèle au champ, on observe une trajectoire rectiligne. Dans le cas général, la trajectoire est hélicoïdale.

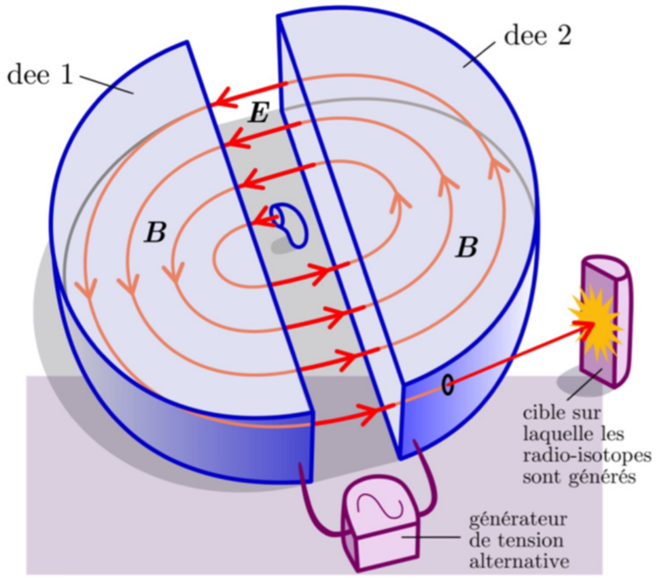
9.1.3 Cyclotron, accélérateur de particules



Cyclotron

9.1.3 Cyclotron, accélérateur de particules

- Le cyclotron est un accélérateur de particules chargées, formé de deux demi-cylindres creux (« D » ou dee) plongés dans un champ magnétique **B** uniforme.



Cyclotron

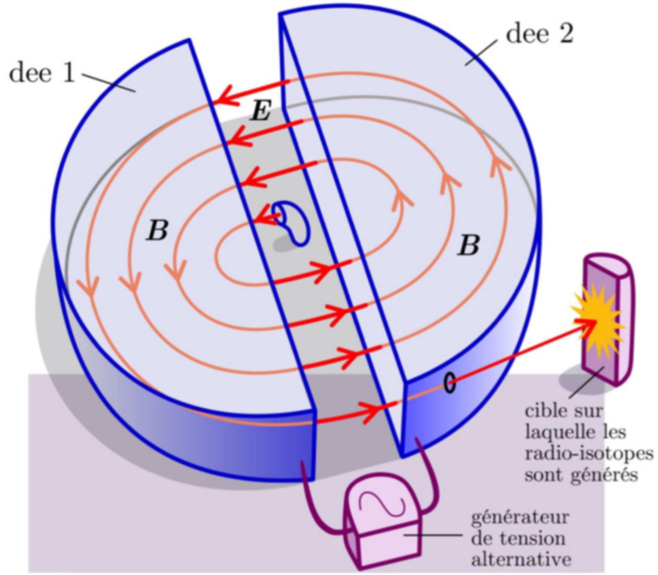
9.1.3 Cyclotron, accélérateur de particules

- Le cyclotron est un accélérateur de particules chargées, formé de deux demi-cylindres creux (« D » ou dee) plongés dans un champ magnétique **B** uniforme.

- Dans chaque dee, les particules ont un MCU de rayon de courbure :

$$\boxed{R = \frac{mv}{|q|B} \quad (9.4)}$$

et une demi-période : $\frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi m}{|q|B} \Rightarrow \boxed{\nu = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m} \quad (9.6)}$



Cyclotron

9.1.3 Cyclotron, accélérateur de particules

- Le cyclotron est un accélérateur de particules chargées, formé de deux demi-cylindres creux (« D » ou dee) plongés dans un champ magnétique **B** uniforme.

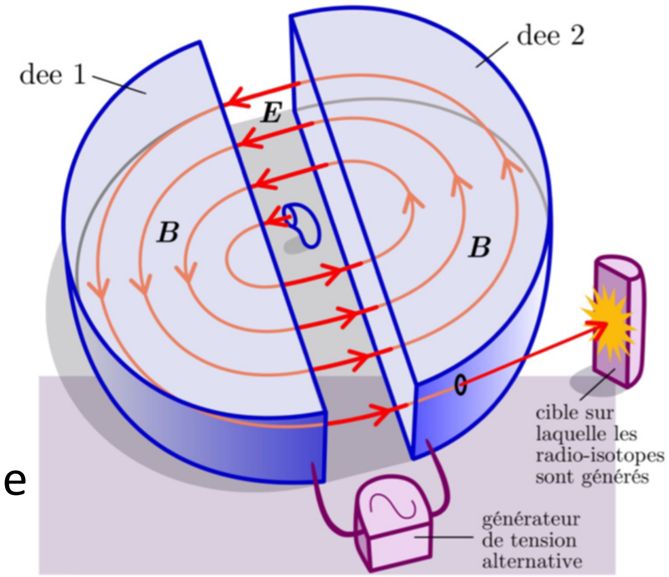
- Dans chaque dee, les particules ont un MCU de rayon de courbure :

$$\boxed{R=\frac{mv}{|q|B} \quad (9.4)}$$

et une demi-période : $\frac{T}{2}=\frac{\pi}{\omega}=\frac{\pi m}{|q|B} \Rightarrow \boxed{\nu=\frac{1}{T}=\frac{|q|B}{2\pi m} \quad (9.6)}$

- L'accélération est due à un champ électrique **E** uniforme entre les dees.

$$\boxed{ma=qE \Rightarrow a=\frac{q}{m}E \quad (9.7)}$$



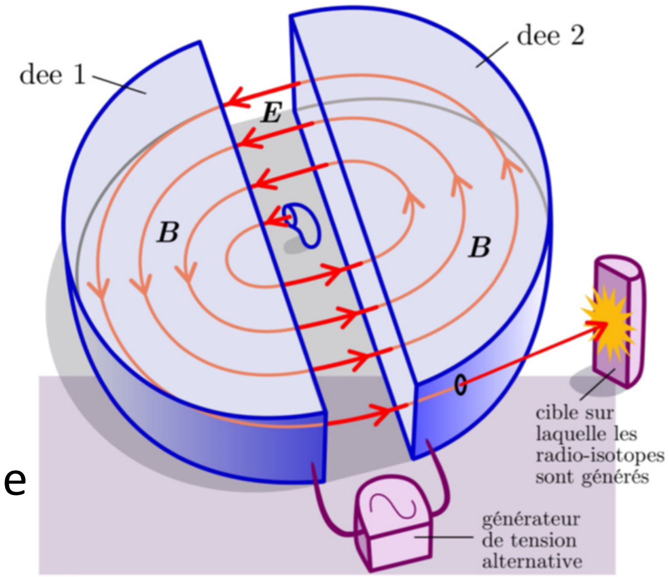
Cyclotron

9.1.3 Cyclotron, accélérateur de particules

- Le cyclotron est un accélérateur de particules chargées, formé de deux demi-cylindres creux (« D » ou dee) plongés dans un champ magnétique **B** uniforme.

- Dans chaque dee, les particules ont un MCU de rayon de courbure :

$$\boxed{R = \frac{mv}{|q|B} \quad (9.4)}$$



Cyclotron

et une demi-période : $\frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi m}{|q|B} \Rightarrow \boxed{\nu = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m} \quad (9.6)}$

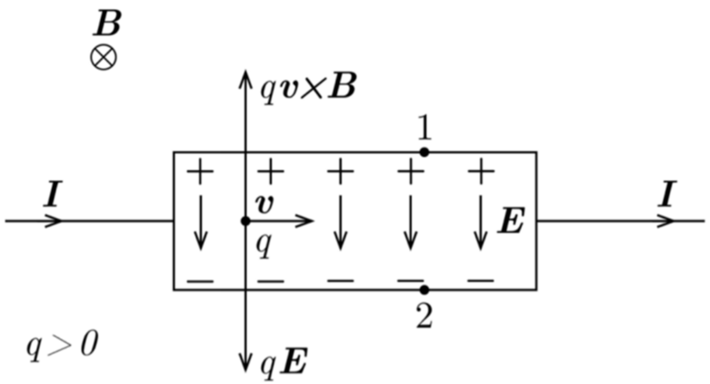
- L'accélération est due à un champ électrique **E** uniforme entre les dees.

$$\boxed{ma = qE \Rightarrow a = \frac{q}{m}E \quad (9.7)}$$

- À chaque demi-tour, la vitesse augmente et donc également le rayon de courbure *R*.

9.1.4 Effet Hall

Edwin Hall

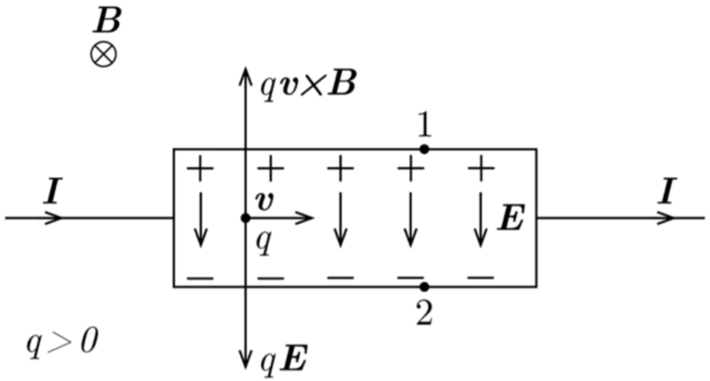


9.1.4 Effet Hall

- En présence d'un champ électrique **E** et d'un champ magnétique **B**, la force de Lorentz **F** exercée sur une charge en mouvement se généralise à :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\left(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}\right) \quad (9.8)}$$

Edwin Hall



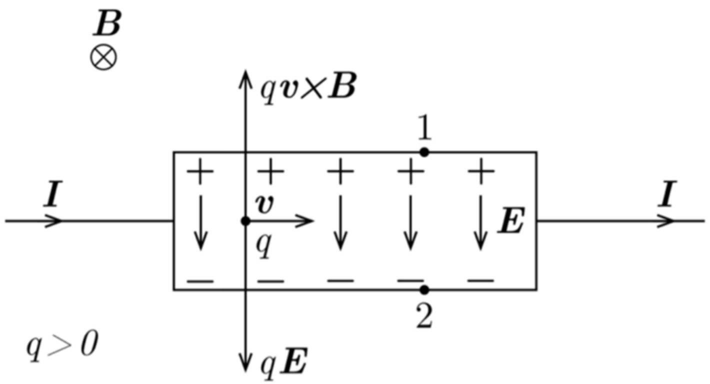
9.1.4 Effet Hall

- En présence d’un champ électrique **E** et d’un champ magnétique **B**, la force de Lorentz **F** exercée sur une charge en mouvement se généralise à :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\left(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}\right) \quad (9.8)}$$

Edwin Hall

- Effet Hall : Un courant dans une feuille métallique plongée dans un champ magnétique **B** induit une tension transversale U_{12}.



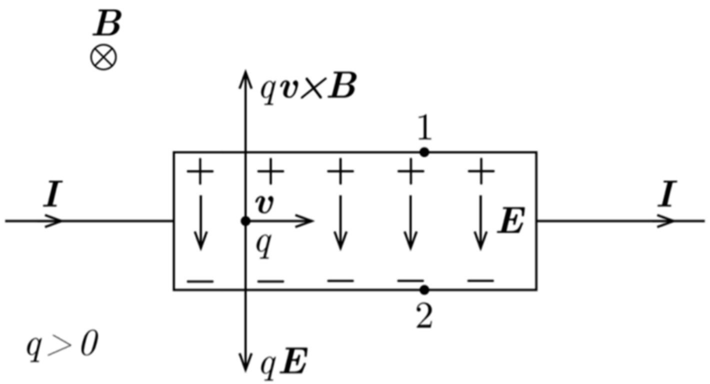
9.1.4 Effet Hall

- En présence d'un champ électrique **E** et d'un champ magnétique **B**, la force de Lorentz **F** exercée sur une charge en mouvement se généralise à :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\left(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}\right) \quad (9.8)}$$

Edwin Hall

- Effet Hall : Un courant dans une feuille métallique plongée dans un champ magnétique **B** induit une tension transversale U_{12}.



- Sous l'effet de la force de Lorentz **F**, les charges se séparent jusqu'à ce que la force électrique **F** = q**E** compense la force magnétique **F** = q**v** × **B**.

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) = \mathbf{0} \Rightarrow \mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

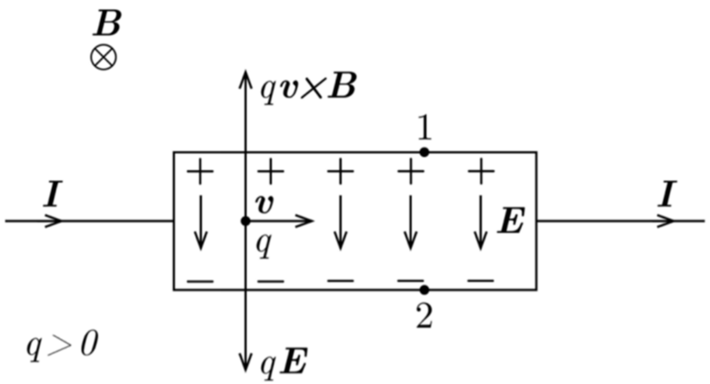
9.1.4 Effet Hall

- En présence d'un champ électrique **E** et d'un champ magnétique **B**, la force de Lorentz **F** exercée sur une charge en mouvement se généralise à :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\left(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}\right) \quad (9.8)}$$

Edwin Hall

- <u>Effet Hall</u> : Un courant dans une feuille métallique plongée dans un champ magnétique **B** induit une tension transversale U_{12}.



- Sous l'effet de la force de Lorentz **F**, les charges se séparent jusqu'à ce que la force électrique **F** = q**E** compense la force magnétique **F** = q**v** × **B**.

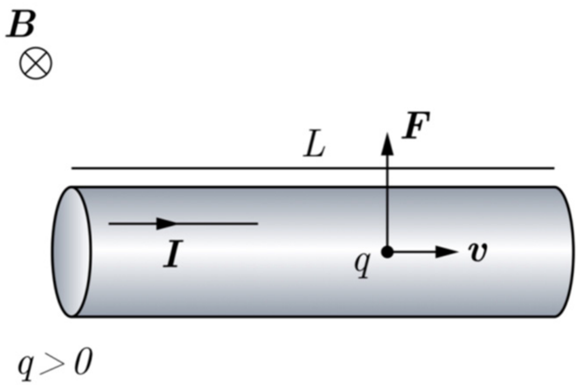
$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) = \mathbf{0} \Rightarrow \mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

- Il apparaît une tension transversale U_{12}.

9.2 Force de Laplace

9.2 Force de Laplace

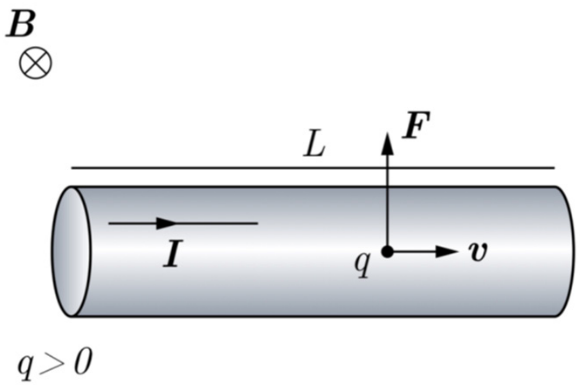
Pierre-Simon de Laplace



9.2 Force de Laplace

- On considère un fil de longueur L parcouru par un courant **I** et plongé dans un champ magnétique **B**.

Pierre-Simon de Laplace

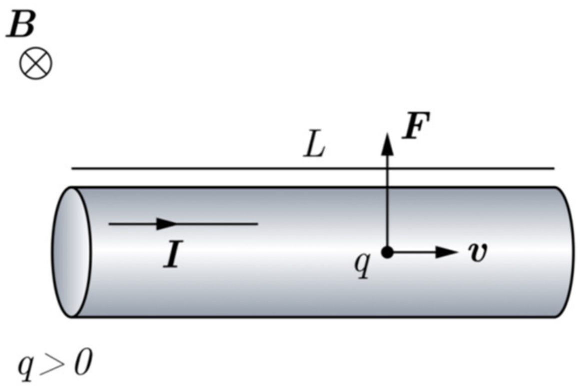


9.2 Force de Laplace

- On considère un fil de longueur L parcouru par un courant $\mathbf{I}$ et plongé dans un champ magnétique $\mathbf{B}$.

- Les porteurs de charge électrique q subissent une force de Lorentz (magnétique) $\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ qui s'exerce sur le fil. Ainsi, le fil subit une force de Laplace :

$$\boxed{\mathbf{F} = L\mathbf{I} \times \mathbf{B} \quad (9.9)}$$



Pierre-Simon de Laplace

9.2.1 Force de Lorentz magnétique et force de Laplace

9.2.1 Force de Lorentz magnétique et force de Laplace

- La force extérieure résultante exercée sur un fil de longueur L est la résultante des forces de Lorentz magnétiques exercées sur tous les électrons de conduction : $\mathbf{F} = N(e\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ où N = nb d'électrons de conduction.

9.2.1 Force de Lorentz magnétique et force de Laplace

- La force extérieure résultante exercée sur un fil de longueur L est la résultante des forces de Lorentz magnétiques exercées sur tous les électrons de conduction : $\mathbf{F} = N(e\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ où N = nb d'électrons de conduction.

- Compte tenu que le courant $\mathbf{I} = enS\mathbf{v}$ où n est la densité des électrons de conduction dans le fil et de $N = nSL$, $\mathbf{F} = nSLe\mathbf{v} \times \mathbf{B} = L(enS\mathbf{v}) \times \mathbf{B} = L\mathbf{I} \times \mathbf{B}$

9.2.1 Force de Lorentz magnétique et force de Laplace

- La force extérieure résultante exercée sur un fil de longueur L est la résultante des forces de Lorentz magnétiques exercées sur tous les électrons de conduction : $\mathbf{F} = N(e\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ où N = nb d'électrons de conduction.

- Compte tenu que le courant $\mathbf{I} = enS\mathbf{v}$ où n est la densité des électrons de conduction dans le fil et de $N = nSL$, $\mathbf{F} = nSLe\mathbf{v} \times \mathbf{B} = L(enS\mathbf{v}) \times \mathbf{B} = L\mathbf{I} \times \mathbf{B}$

- La force de Lorentz magnétique $\mathbf{F} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ est une force qui s'exerce à l'échelle microscopique sur un électron.

9.2.1 Force de Lorentz magnétique et force de Laplace

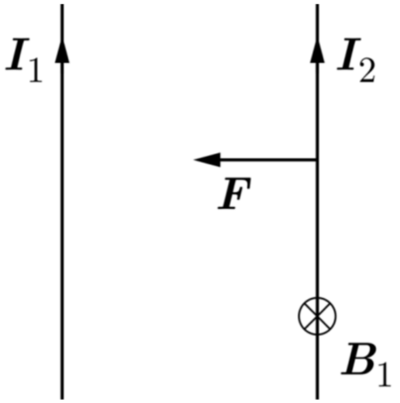
- La force extérieure résultante exercée sur un fil de longueur L est la résultante des forces de Lorentz magnétiques exercées sur tous les électrons de conduction : $\mathbf{F} = N(e\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ où N = nb d'électrons de conduction.

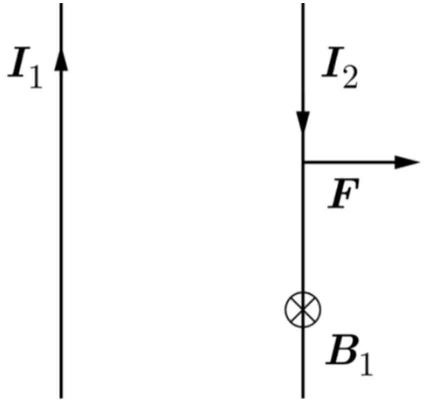
- Compte tenu que le courant $\mathbf{I} = enS\mathbf{v}$ où n est la densité des électrons de conduction dans le fil et de $N = nSL$, $\mathbf{F} = nSLe\mathbf{v} \times \mathbf{B} = L(enS\mathbf{v}) \times \mathbf{B} = L\mathbf{I} \times \mathbf{B}$

- La force de Lorentz magnétique $\mathbf{F} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ est une force qui s'exerce à l'échelle microscopique sur un électron.

- La force de Laplace $\mathbf{F} = L\mathbf{I} \times \mathbf{B}$ est une force qui s'exerce à l'échelle macroscopique sur l'ensemble des électrons de conduction d'un fil.

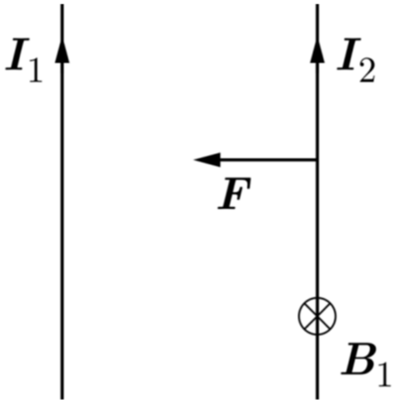
9.2.2 Cas de deux fils parallèles parcourus par des courants

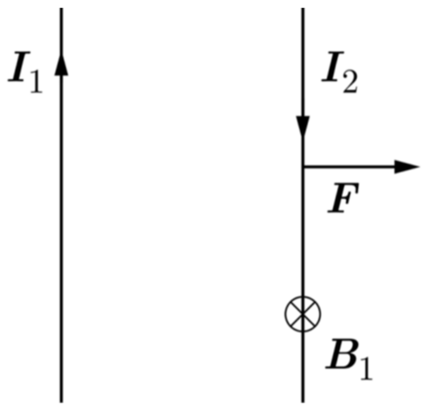




9.2.2 Cas de deux fils parallèles parcourus par des courants

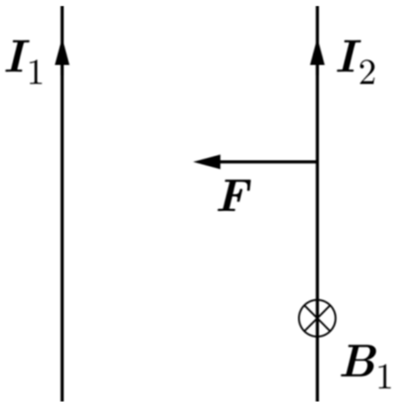
1. Courants orientés dans le même sens :





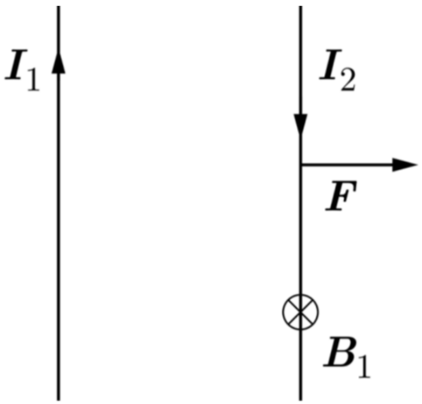
9.2.2 Cas de deux fils parallèles parcourus par des courants

1. Courants orientés dans le même sens :



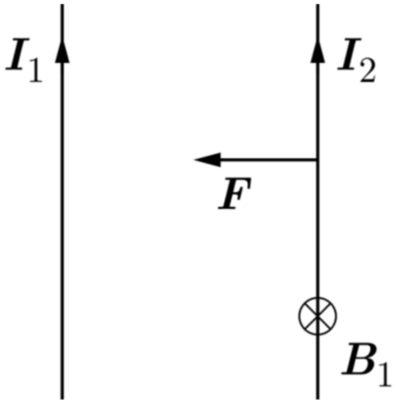
- Le courant $\mathbf{I_2}$ est plongé dans le champ magnétique $\mathbf{B_1}$ généré par le courant $\mathbf{I_1}$.

- Comme la force de Laplace **F** est orientée vers l'intérieur, les fils se rapprochent (force attractive).



9.2.2 Cas de deux fils parallèles parcourus par des courants

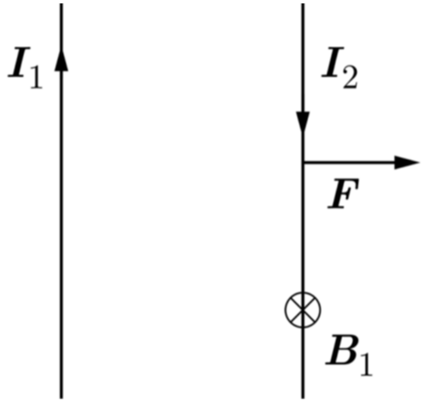
1. Courants orientés dans le même sens :



- Le courant $\mathbf{I_2}$ est plongé dans le champ magnétique $\mathbf{B_1}$ généré par le courant $\mathbf{I_1}$.

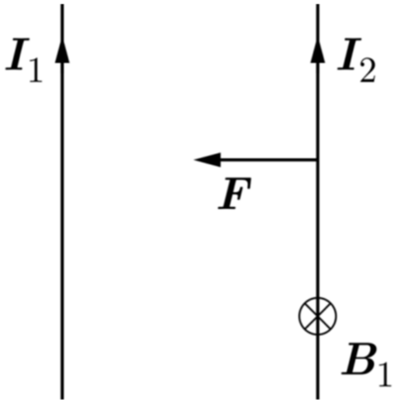
- Comme la force de Laplace **F** est orientée vers l'intérieur, les fils se rapprochent (force attractive).

2. Courants orientés dans le sens opposé :



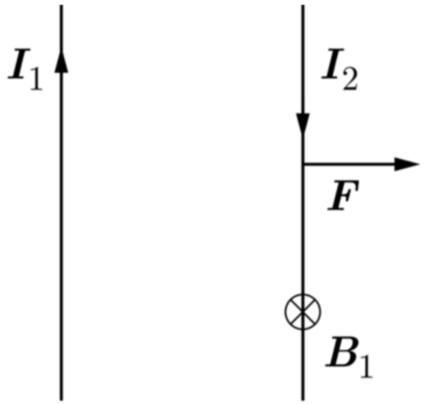
9.2.2 *Cas de deux fils parallèles parcourus par des courants*

1. Courants orientés dans le même sens :



- Le courant $\mathbf{I_2}$ est plongé dans le champ magnétique $\mathbf{B_1}$ généré par le courant $\mathbf{I_1}$.
- Comme la force de Laplace **F** est orientée vers l'intérieur, les fils se rapprochent (force attractive).

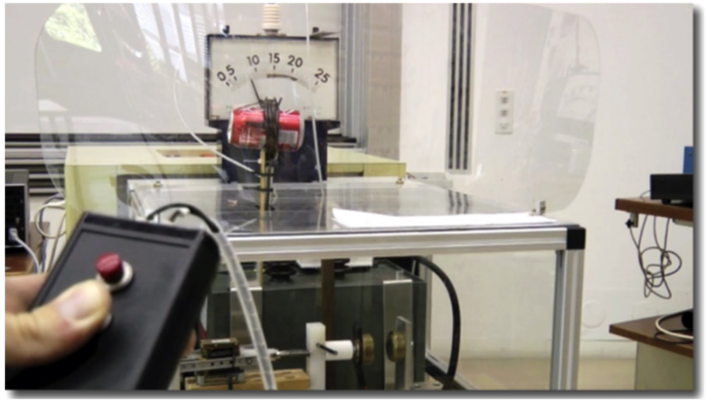
2. Courants orientés dans le sens opposé :

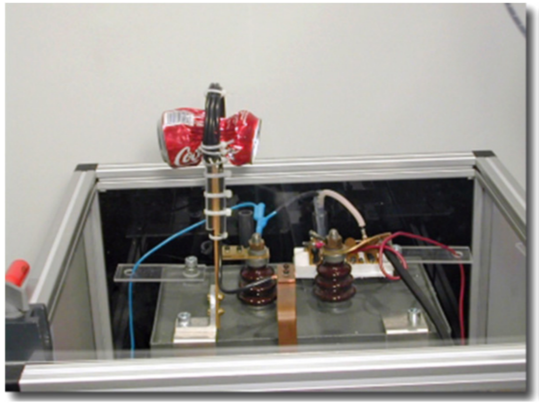


- Le courant $\mathbf{I_2}$ est plongé dans le champ magnétique $\mathbf{B_1}$ généré par le courant $\mathbf{I_1}$.
- Comme la force de Laplace **F** est orientée vers l'extérieur, les fils s'éloignent (force répulsive).

9.2.2 Cas de deux fils parallèles parcourus par des courants

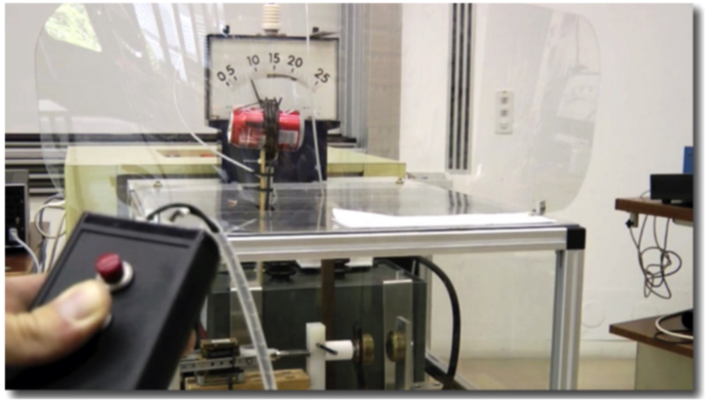
Expérience :

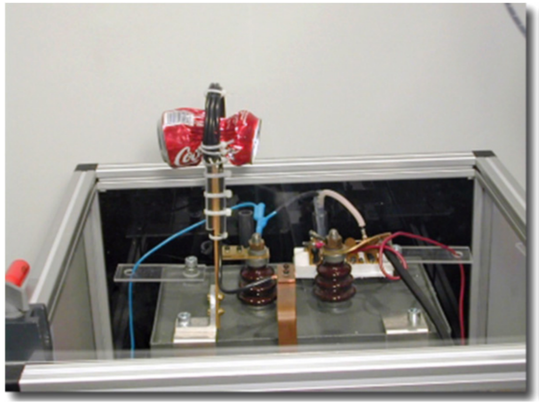




9.2.2 *Cas de deux fils parallèles parcourus par des courants*

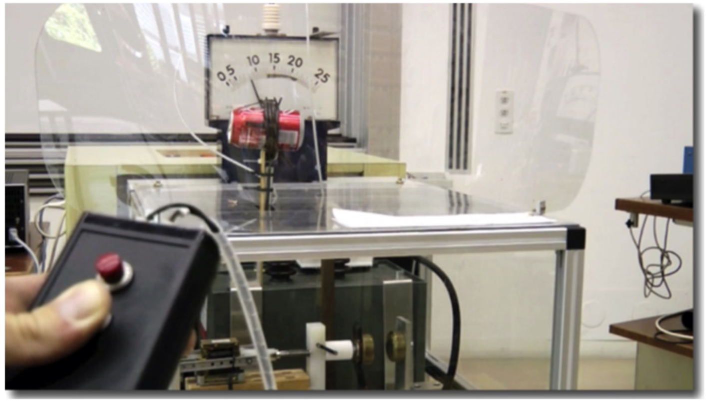
Expérience : Force de Laplace exercée sur une canette

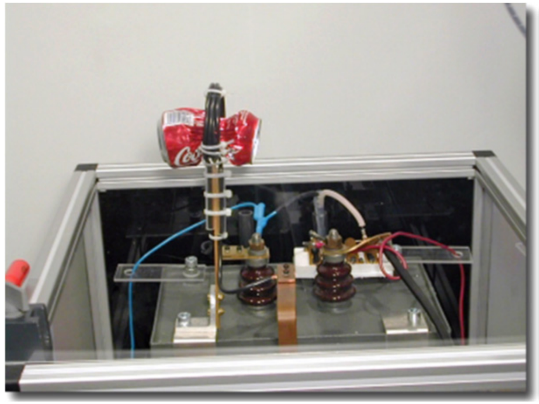




9.2.2 Cas de deux fils parallèles parcourus par des courants

Expérience : Force de Laplace exercée sur une canette

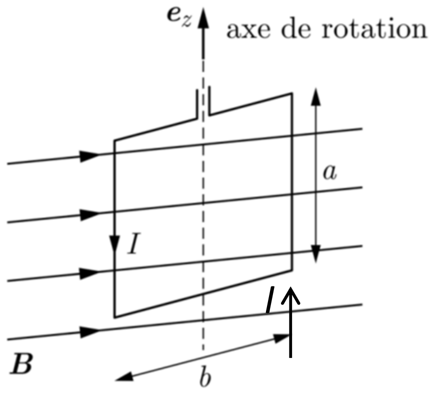


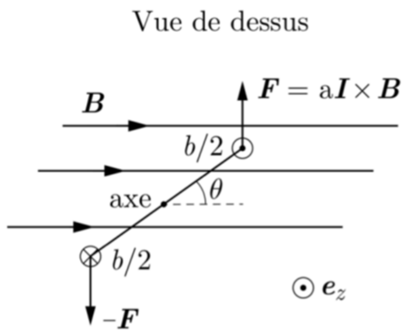


1. Le champ magnétique créé par la bobine induit le mouvement des charges électriques dans la canette ce qui génère une force de Laplace qui déforme la canette jusqu'à ce qu'elle se coupe en deux.

2. La force de Laplace qui s'exerce sur les extrémités (composante perpendiculaire à la bobine) éjecte puissamment les deux parties de la canette.

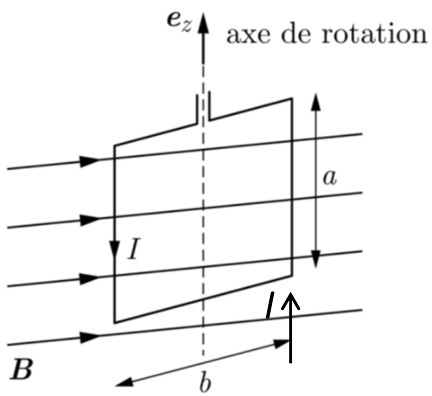
9.2.3 Galvanomètre

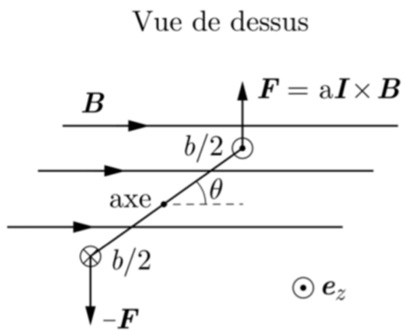




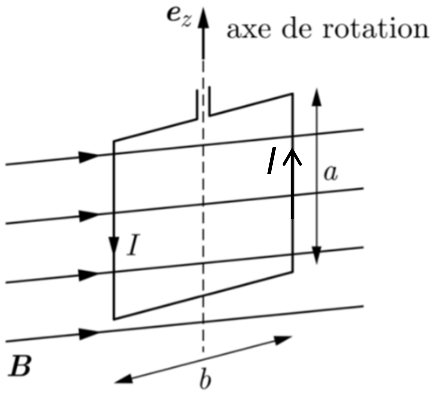
9.2.3 Galvanomètre

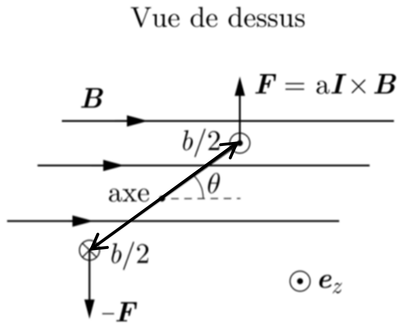
- Un galvanomètre est un cadre rectangulaire de côtés « *a* » et « *b* » mobile autour d'un axe. Le cadre est plongé dans un champ magnétique **B** uniforme et constant. Lorsque le cadre est parcouru par un courant **I**, ce dernier subit un moment de force de Laplace **M** = 2**r** × **F** compensé par un moment de force élastique **M** de constante élastique en torsion *C* :



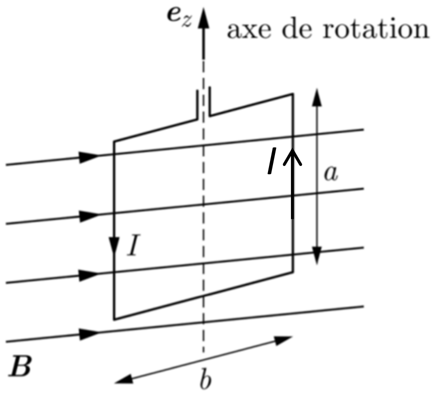


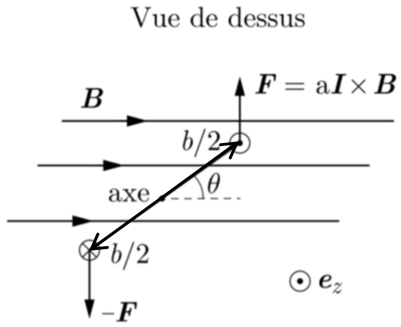
9.2.3 Galvanomètre





9.2.3 Galvanomètre

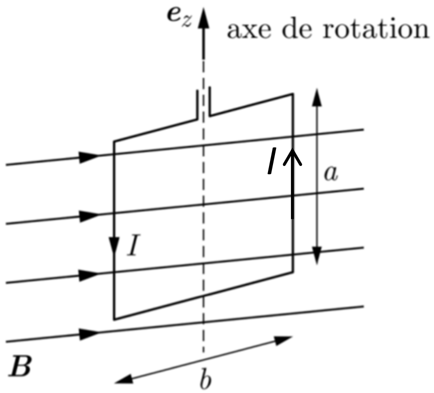


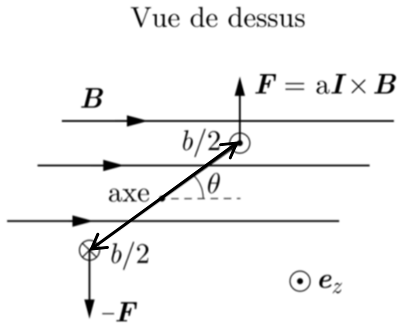


$$\mathbf{r} \times \mathbf{F} + (-\mathbf{r}) \times (-\mathbf{F}) = \mathbf{r} \times 2\mathbf{F}$$

$$\alpha + \theta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sin\alpha = \cos\theta$$

9.2.3 Galvanomètre





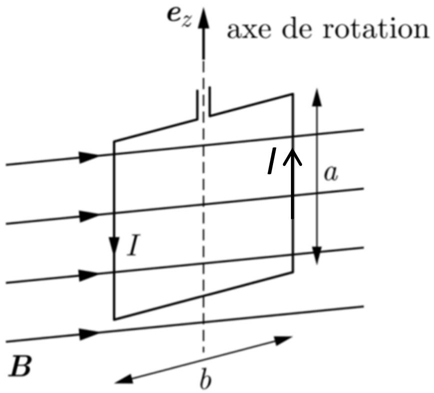
$$\mathbf{r}\times\mathbf{F}+(-\mathbf{r})\times(-\mathbf{F})=\mathbf{r}\times 2\mathbf{F}$$

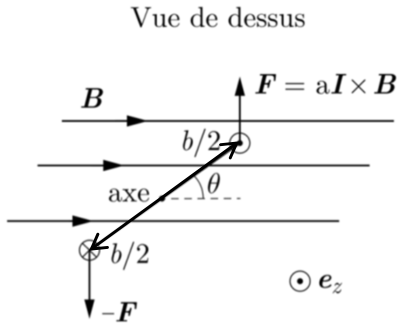
$$\alpha+\theta=\frac{\pi}{2}\Rightarrow \sin\alpha=\cos\theta$$

- Moment de force de Laplace : (couple de forces **F** et -**F**)

$$\mathbf{M}=\mathbf{r}\times 2\mathbf{F}=2\|\mathbf{r}\|\|\mathbf{F}\|\sin\alpha\,\mathbf{e}_z=2\frac{b}{2}aIB\cos\theta\,\mathbf{e}_z$$

9.2.3 Galvanomètre





$$\mathbf{r}\times\mathbf{F}+(-\mathbf{r})\times(-\mathbf{F})=\mathbf{r}\times 2\mathbf{F}$$

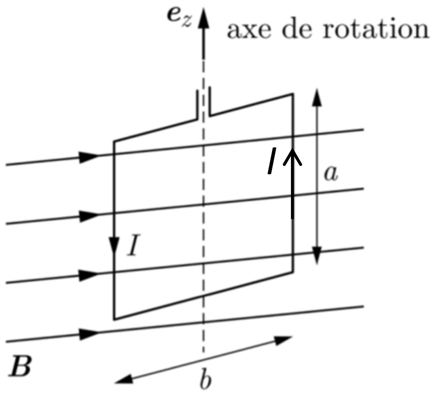
$$\alpha+\theta=\frac{\pi}{2}\Rightarrow \sin\alpha=\cos\theta$$

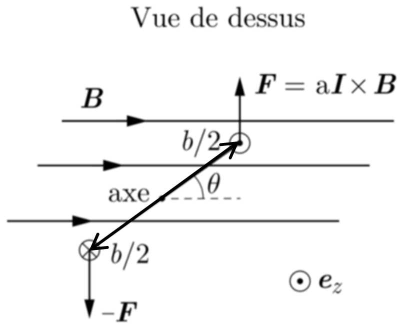
- Moment de force de Laplace : (couple de forces **F** et -**F**)

$$\mathbf{M}=\mathbf{r}\times 2\mathbf{F}=2\|\mathbf{r}\|\|\mathbf{F}\|\sin\alpha\,\mathbf{e}_z=2\frac{b}{2}aIB\cos\theta\,\mathbf{e}_z$$

- Moment de force de rappel élastique : $\mathbf{M}=-C\theta\mathbf{e}_z$ où $C>0$

9.2.3 Galvanomètre





$$\mathbf{r} \times \mathbf{F} + (-\mathbf{r}) \times (-\mathbf{F}) = \mathbf{r} \times 2\mathbf{F}$$

$$\alpha + \theta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sin\alpha = \cos\theta$$

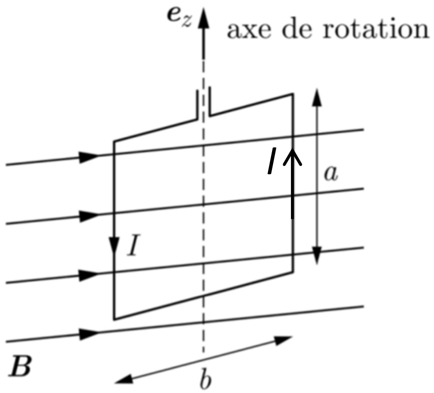
- Moment de force de Laplace : (couple de forces **F** et -**F**)

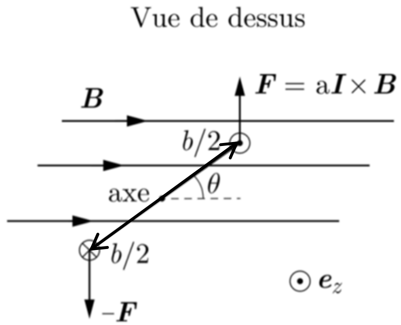
$$\mathbf{M} = \mathbf{r} \times 2\mathbf{F} = 2\|\mathbf{r}\|\|\mathbf{F}\|\sin\alpha\,\mathbf{e}_z = 2\frac{b}{2}aIB\cos\theta\,\mathbf{e}_z$$

- Moment de force de rappel élastique : $\mathbf{M} = -C\theta\mathbf{e}_z$ où $C > 0$
- État d'équilibre : (moment de force résultant nul)

$$\mathbf{r} \times 2\mathbf{F} - C\theta\mathbf{e}_z = \mathbf{0} \Rightarrow baIB\cos\theta - C\theta = 0 \Rightarrow \boxed{I = \frac{C\theta}{Bab\cos\theta} \quad (9.10)}$$

9.2.3 Galvanomètre





$$\mathbf{r} \times \mathbf{F} + (-\mathbf{r}) \times (-\mathbf{F}) = \mathbf{r} \times 2\mathbf{F}$$

$$\alpha + \theta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sin\alpha = \cos\theta$$

- Moment de force de Laplace : (couple de forces **F** et -**F**)

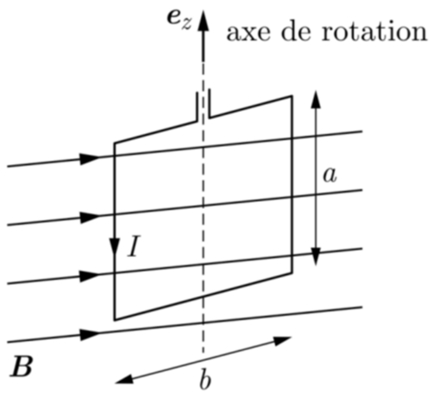
$$\mathbf{M} = \mathbf{r} \times 2\mathbf{F} = 2\|\mathbf{r}\|\|\mathbf{F}\|\sin\alpha\,\mathbf{e}_z = 2\frac{b}{2} aIB\cos\theta\,\mathbf{e}_z$$

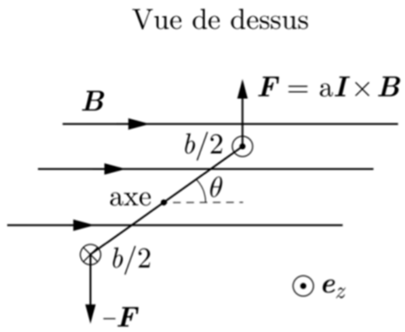
- Moment de force de rappel élastique : $\mathbf{M} = -C\theta\mathbf{e}_z$ où $C > 0$
- État d'équilibre : (moment de force résultant nul)

$$\mathbf{r} \times 2\mathbf{F} - C\theta\mathbf{e}_z = \mathbf{0} \Rightarrow baIB\cos\theta - C\theta = 0 \Rightarrow \boxed{I = \frac{C\theta}{Bab\cos\theta} \quad (9.10)}$$

- On a ainsi construit un ampèremètre qui permet de mesurer le courant électrique I proportionnel à l'angle de déviation θ si θ << 1.

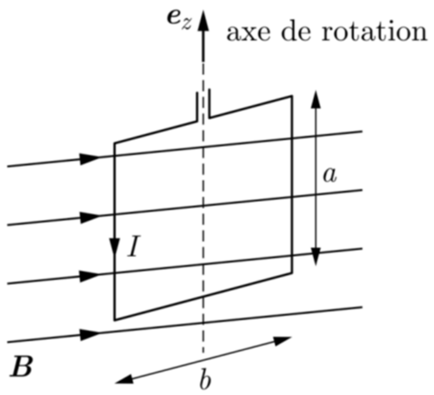
9.2.4 Moteur à courant continu

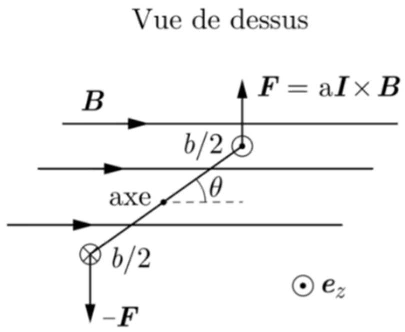




9.2.4 Moteur à courant continu

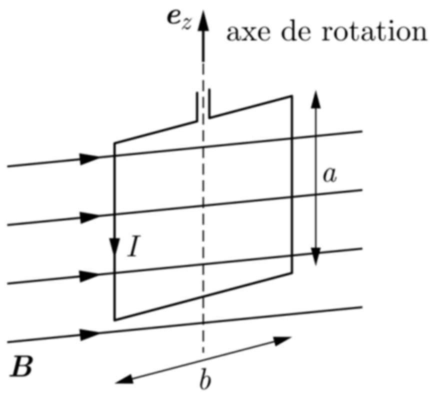
Le moteur électrique à courant continu est basé sur le même principe que le galvanomètre si ce n'est qu'il n'y a pas de force élastique de rappel et que le courant est inversé à chaque demi-tour afin que le moment de force de Laplace $\mathbf{M} = IBab\cos\theta\,\mathbf{e}_z$ soit toujours orienté dans le même sens.

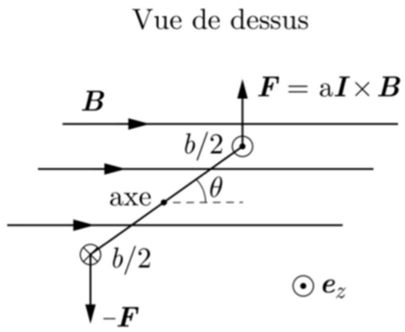




9.2.4 Moteur à courant continu

Le moteur électrique à courant continu est basé sur le même principe que le galvanomètre si ce n'est qu'il n'y a pas de force élastique de rappel et que le courant est inversé à chaque demi-tour afin que le moment de force de Laplace $\mathbf{M} = IBab\cos\theta\,\mathbf{e}_z$ soit toujours orienté dans le même sens.





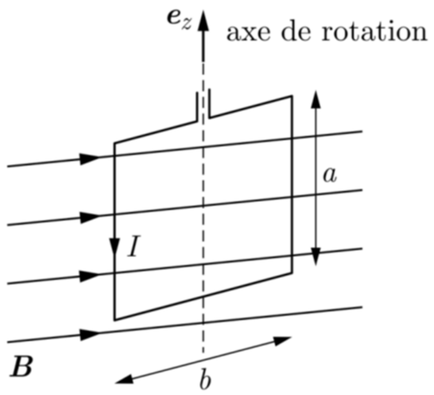
- Moment de force :

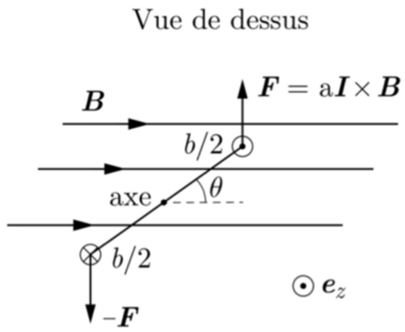
$$\mathbf{M} = IBab\cos\theta\,\mathbf{e}_z$$

1. $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2} \Rightarrow \mathbf{M} \odot$
2. $\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3\pi}{2} \Rightarrow \mathbf{M} \otimes$

9.2.4 *Moteur à courant continu*

Le moteur électrique à courant continu est basé sur le même principe que le galvanomètre si ce n'est qu'il n'y a pas de force élastique de rappel et que le courant est inversé à chaque demi-tour afin que le moment de force de Laplace $\mathbf{M} = IBab\cos\theta\,\mathbf{e}_z$ soit toujours orienté dans le même sens.





- Moment de force :

$$\mathbf{M} = IBab\cos\theta\,\mathbf{e}_z$$

1. $-\dfrac{\pi}{2} < \theta < \dfrac{\pi}{2} \Rightarrow \mathbf{M} \odot$
2. $\dfrac{\pi}{2} < \theta < \dfrac{3\pi}{2} \Rightarrow \mathbf{M} \otimes$

- En inversant le sens du courant **I** lorsque $\theta = \pi/2$ et $\theta = 3\pi/2$, le cadre tourne toujours dans le même sens!

9.2.4 Moteur à courant continu

Expérience :

9.2.4 Moteur à courant continu

Expérience : Moteur électrique simple

9.2.4 Moteur à courant continu

Expérience : Moteur électrique simple

- On suspend une bobine au-dessus d'un aimant. La bobine est reliée à une pile logée dans le boîtier en plastique situé sous l'aimant.

- Le moment de force de Laplace entretient le mouvement de rotation de la bobine.