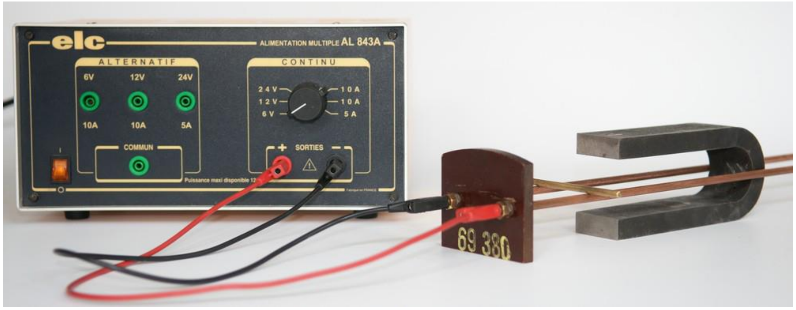
BS2 : ACTION D'UN CHAMP MAGNETIQUE

I . Force de Laplace

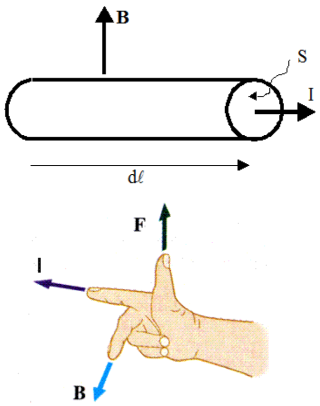
I.1. Mise en évidence



Un générateur fait circuler un courant continu dans un circuit constitué de trois barres fixes et une quatrième peut rouler sur les deux rails. Le tout est placé dans l'entrefer d'un aimant en U pour lequel le champ magnétique est vertical.

La barre se met en mouvement quand on fait circuler le courant.
Si on enlève l'aimant,
Si on inverse le courant
Si on inverse le sens du champ magnétique (en retournant l'aimant),

I.2. Expression de la force



Soit un fil supposé rectiligne, parcouru par un courant électrique d'intensité I continu. Si un élément de courant $I\vec{dl}$ est soumis à un champ magnétique extérieur $\vec{B}$, il subit alors une force appelée force de Laplace : $\vec{df} = I\vec{dl}\wedge\vec{B}$.

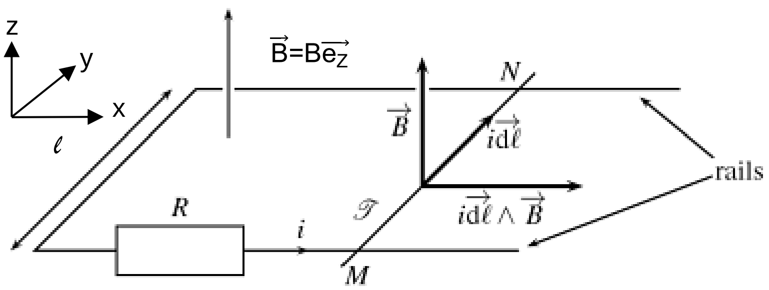
La force de Laplace

La force totale qui s'exerce sur une longueur quelconque de conducteur parcouru par un courant I et plongé dans un champ magnétique $\vec{B}$ vaut

I.3. Force de Laplace sur une tige en translation

I.3.1. Présentation du problème

Soit une tige MN conductrice posée sur deux rails conducteurs.
Ces rails sont nommés rails de Laplace, ils sont espacés de la distance ℓ.
L'ensemble forme un circuit électrique fermé parcouru par un courant I créé par un générateur non représenté ici.
L'ensemble est plongé dans un champ magnétique uniforme et stationnaire $\vec{B}=B\vec{e_z}$



I.3.2. Résultante de la force de Laplace

On utilise l'expression de la force élémentaire de la force de Laplace :

On fait ensuite la somme sur toute la tige :

Si on inverse le courant cela revient
Si on inverse le sens du champ magnétique

I.3.3. Puissance de la force de Laplace

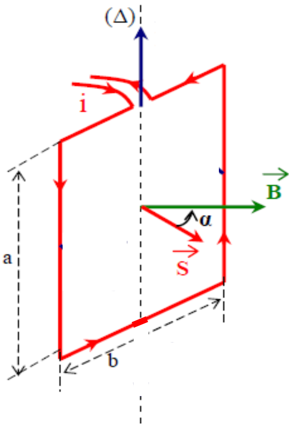
La tige a un mouvement de translation selon l'axe $\vec{e}_x$, soit sa vitesse $\vec{v} = v\vec{e}_x$.
La puissance de la force de Laplace s'écrit alors : $\mathscr{P} =$

II. Cas d'un circuit fermé : une spire rectangulaire

II.1. Notations

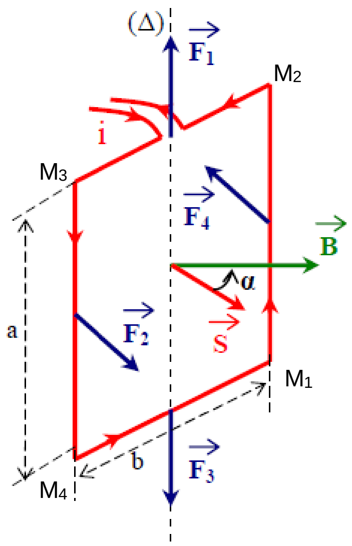
Considérons une spire de forme rectangulaire, parcourue par un courant I et capable de tourner autour d'un axe vertical Δ selon $\vec{e}_z$.
Cette spire est placée dans un champ magnétique uniforme B.
Le circuit est caractérisé par ses dimensions a x b (a côté vertical et b côté horizontal).

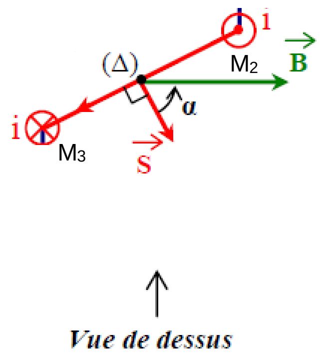
Le champ magnétique est orienté selon un axe perpendiculaire à Δ : $\vec{B} = B\vec{e}_x$



II.2. Résultante des forces

Nous allons montrer que pour des raisons de symétrie le bilan des forces de Laplace appliquées au cadre est nul.





• <u>Contribution des parties verticales</u>
→ Côté M_1M_2

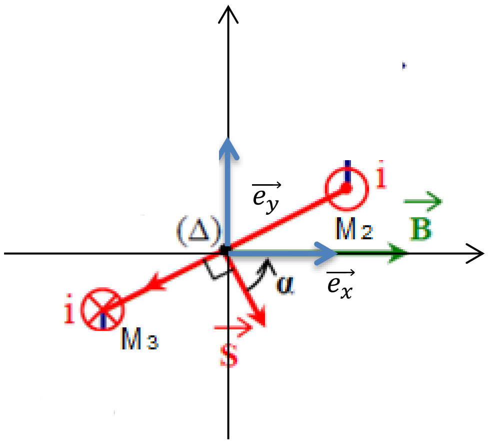
• <u>Contribution des parties horizontales</u>
→ Côté M_2M_3

Conclusion : La résultante des forces de Laplace sur le cadre

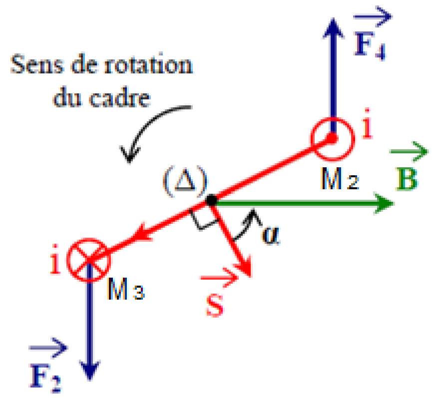
Lorsqu'un système est soumis à une résultante de forces nulle mais que les points d'application sont différents on dit que le système

II.3. Le moment résultant

• <u>Contribution des parties verticales</u>
→ Côté M_1M_2
Notons M un point courant sur le segment



D'où la rotation autour de Δ



• <u>Contribution des parties horizontales</u>
Montrons que le moment résultant est nul.

• <u>Bilan</u>
Le moment est dû aux seules contributions des parties verticales du cadre.
D'après les calculs précédents on a
$\Gamma_{Laplace/Oz}$ = IB a b sinα

• <u>Autre écriture</u>
La spire rectangulaire peut être caractérisée par son moment magnétique :

$$\vec{m} = I\vec{S} = \mathrm{I\ ab}\,\vec{n}$$

où $\vec{n}$ est le vecteur unitaire perpendiculaire à la spire orientée par le sens du courant.
Ainsi

L'intérêt de cette formule est qu'elle reste valable pour toutes les géométries de spire, ou pour un système comme un aimant dans la mesure où on peut le modéliser simplement par son moment magnétique.

<u>II.4. Puissance de l'action de Laplace</u>

On peut considérer la spire comme un solide en rotation autour de l'axe Δ = Oz à la vitesse angulaire $\omega = -\dot{\alpha}$ (le signe – provient du fait que si on associe des coordonnées polaires à la spire $\alpha = -\theta$).
La puissance développée par le moment $\Gamma_{Laplace/Oz}$ s'écrit comme on l'a vu :

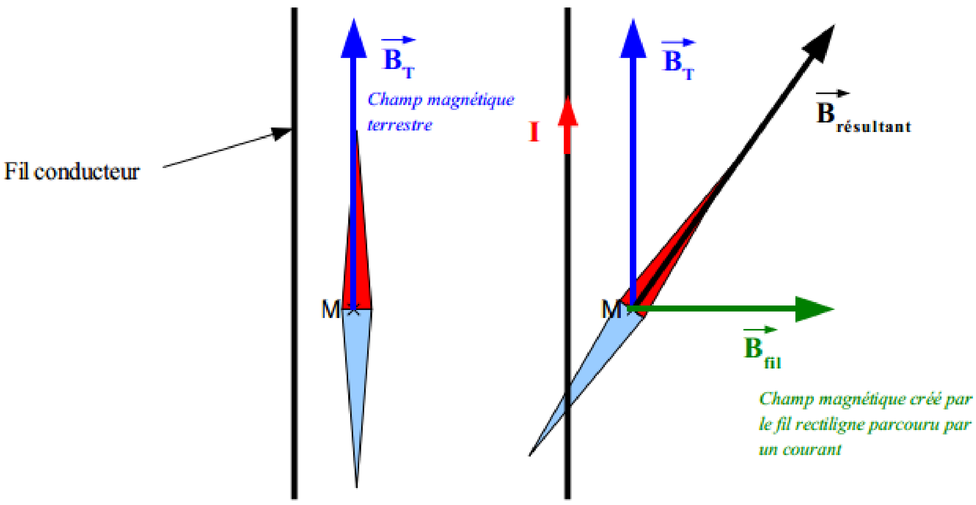
$$\mathscr{P} = \Gamma_{Laplace/Oz}.\omega$$

Ainsi d'après les calculs précédents : $\mathscr{P} = -\dot{\alpha}\, m\, \mathrm{B}\sin\alpha$

III. Action d'un champ magnétique extérieur sur un aimant

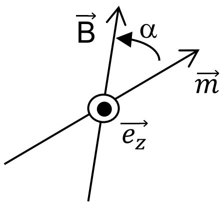
III.1. Expérience d'Oersted

• Expérience :
On place une boussole à proximité d'un fil conducteur parcouru par un courant d'intensité de l'ordre de 5 à 10A.
• Observations :
On constate que lorsque le fil est parcouru par un courant d'intensité suffisamment élevé, l'aiguille aimantée de la boussole change de direction.
• Interprétation :



III.2. Position d'équilibre

Lorsqu'on place un aimant dans un champ magnétique, il subit un couple : $\vec{\Gamma} = \vec{m} \wedge \vec{B}$ qui tend à aligner le vecteur $\vec{m}$ selon les lignes de champ.
Regardons le cas d'un aimant pouvant tourner autour d'un axe Oz :
On a alors

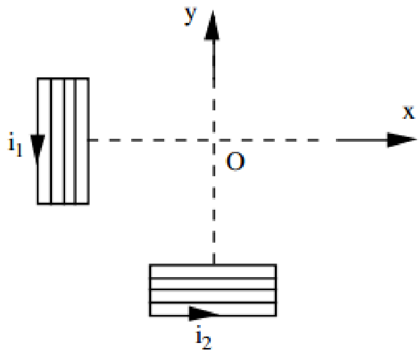


Conclusion :
$\vec{m}$ parallèle au champ $\vec{B}$ il s'agit d'une position d'équilibre stable
$\vec{m}$ antiparallèle au champ $\vec{B}$ il s'agit d'une position d'équilibre instable

IV. Effet moteur d'un champ tournant

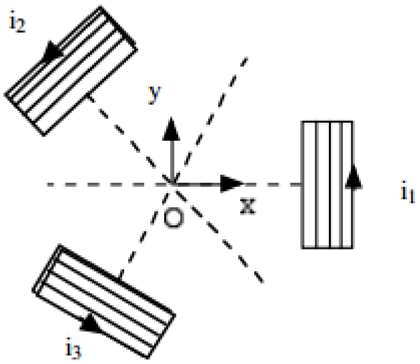
IV.1. Création d'un champ magnétique tournant

• Deux bobines placées en quadrature spatiale (axes orthogonaux) et parcourues par des courants en quadrature temporelle :
$i_1(t) = I_0\cos(\Omega_0 t)$ et $i_2(t) = I_0\sin(\Omega_0 t)$) créent un champ magnétique au point O qui aura la forme :



En agissant sur la fréquence des courants alimentant les bobines, on contrôle la vitesse de rotation du champ tournant.

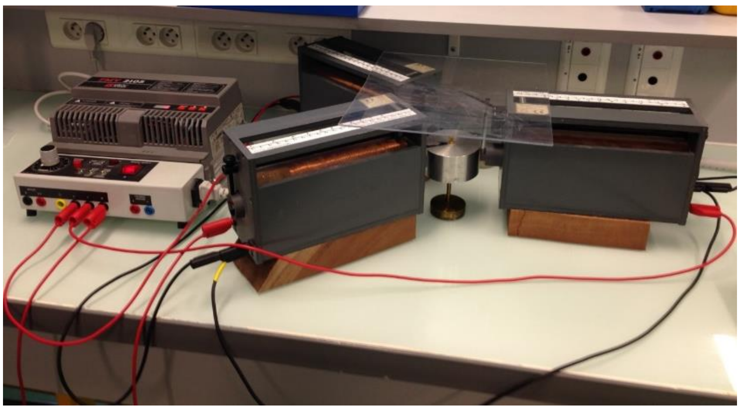
• Le système diphasé ci-dessus n'est pas le plus utilisé en pratique. Le réseau de distribution électrique délivrant du courant triphasé, on préfère recourir à un système de 3 bobines dont les axes font deux à deux un angle de 2π/3 et parcourues par des courants déphasés temporellement de 2π/3.
$i_1 = I_0\cos\omega_0 t$; $i_2 = I_0\cos(\omega_0 t - 2\pi/3)$; $i_3 = I_0\cos(\omega_0 t - 4\pi/3)$
Le champ magnétique en O est alors :

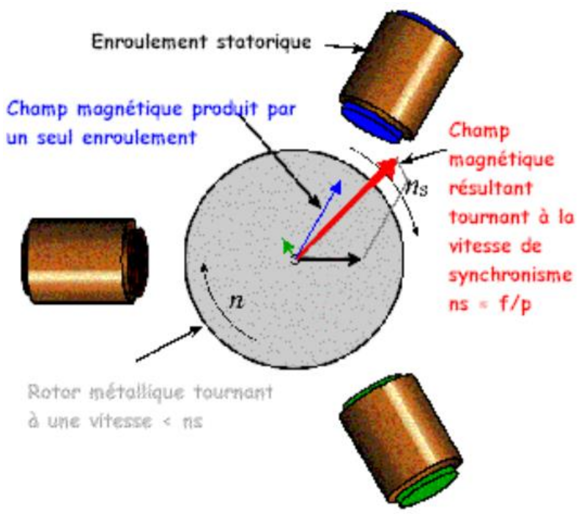


L'intérêt de mettre plusieurs bobines est d'homogénéiser et d'intensifier le champ magnétique autour du point O.

IV.2. Action sur un aimant

Si on place une aiguille aimantée en O, l'action du champ magnétique exerce comme on l'a vu un couple. Ainsi l'aimant tourne pour s'orienter parallèle au champ magnétique. Comme celui-ci tourne, l'aiguille va en faire de même. Sa vitesse angulaire sera aussi Ω_0.
C'est le principe du moteur asynchrone.





BS2 : ACTION D'UN CHAMP MAGNETIQUE