ACTION D'UN CHAMP MAGNETIQUE : RAPPELS DE PCSI

Extrait du programme de PCSI 2021 :

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.7.2. Actions d'un champ magnétique	
Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.
Résultante et puissance des forces de Laplace.	Établir et citer l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Exprimer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Établir et exploiter l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique. Exprimer la puissance des actions mécaniques de Laplace.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	**Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.**
Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	**Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.**

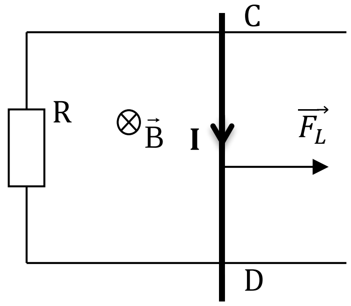
1. Définition :

La force de Laplace est la force exercée par le champ $(\vec{E},\vec{B})$ sur **l'ensemble** des charges d'un conducteur.

Pour un élément de courant $id\vec{l}$ d'une distribution linéique, la force élémentaire de Laplace est :

$$\boldsymbol{\overrightarrow{dF_L} = Id\vec{l} \wedge \vec{B}}$$

2. Cas de la translation : rail de Laplace :



On considère une tige CD glissant sur deux rails parallèles et horizontaux, distants de b, parcourue par un courant I et plongée dans un champ magnétique perpendiculaire au plan des rails, uniforme et permanent B.

La force de Laplace exerceé sur cette barre est :

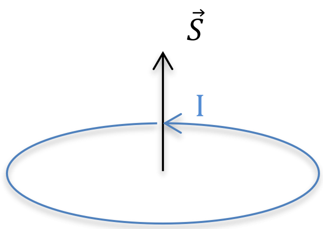
$$\vec{F_L} = I\overrightarrow{CD} \wedge \vec{B}$$

Si la barre est en translation à la vitesse $\vec{v}$, la puissance de la force de Laplace est :

$$P_L = \vec{F_L}.\vec{v} = I\left(\overrightarrow{CD} \wedge \vec{B}\right).\vec{v}$$

3. Cas de la rotation d'un circuit plan :

3.1. Moment magnétique d'un circuit :



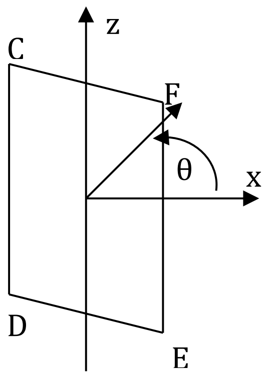
A un circuit plan parcouru par un courant I peut être associé un vecteur moment magnétique défini par :

$$\boldsymbol{\vec{M} = I\vec{S}}$$

Le vecteur surface est orienté en concordance avec I par la règle du tire-bouchon.

3.2. Résultante, couple et puissance des forces de Laplace :

On considère l'action d'un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme et stationnaire sur une spire rectangulaire plane CDEF parcourue par un courant I et pivotant autour d'une axe Oz perpendiculaire à $\vec{B}$ avec une vitesse angulaire $\vec{\omega} = \omega\vec{e_z}$.



Les forces de Laplace exercées sur les cotés CD et EF sont égales et opposées : elles forment un **couple**.

La résultante de ces forces de Laplace est nulle :

$$\boldsymbol{\vec{F_L} = \vec{0}}$$

Leur moment résultant est :

$$\boldsymbol{\vec{\Gamma_L} = \vec{M} \wedge \vec{B}}$$

Ce moment tend à aligner le moment magnétique du circuit avec le champ magnétique.

La puissance de ce couple est :

$$\boldsymbol{\vec{P_L} = \vec{\Gamma_L}.\vec{\omega}}$$

4. Action d'un champ magnétique sur un aimant :

Un aimant possède un moment magnétique résultant $\vec{M}$.

Dans un champ magnétique extérieur $\vec{B}$, il est également soumis à un couple :

$$\boldsymbol{\vec{\Gamma_L} = \vec{M} \wedge \vec{B}}$$

L'énergie potentielle du moment magnétique $\vec{M}$ dans le champ $\vec{B}$ est :

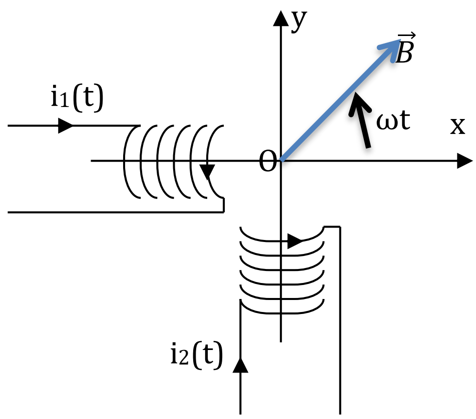
$$\boldsymbol{E_p = -\vec{M}.\vec{B}}$$

Il existe deux positions d'équilibre, l'une stable lorsque $\vec{M}$ *et* $\vec{B}$ sont alignés et de même sens, l'autre instable lorsque $\vec{M}$ *et* $\vec{B}$ sont alignés et de sens opposés.

5. Réalisation d'un champ tournant.

On réalise un champ tournant avec deux bobines identiques alimentées par des courants alternatifs déphasés de $\pi/2$:

$i_1 = I_m.\cos(\omega t)$; $i_2 = I_m.\cos(\omega t-\pi/2) = I_m.\sin(\omega t)$.



Les champs magnétiques en O créés par i_1 et i_2 sont :

$$\vec{B_1} = B_m cos(\omega t)\vec{u_x} \quad ; \quad \vec{B_2} = B_m sin(\omega t)\vec{u_y}$$

Le champ résultant en O $\vec{B} = \vec{B_1} + \vec{B_2}$ tourne donc à la vitesse angulaire ω dans le sens direct.

Un aimant placé en 0 est entrainé en rotation par le champ ; c'est le principe du moteur synchrone.