

Conversion électromécanique de puissance

Plan du cours

1. Rappels	1
1.1. Actions d'un champ magnétique	1
1.2. Induction	1
1.3. Puissances	2
2. Principe de la conversion électromécanique	2
2.1. Principe général	2
2.2. Conversion de puissance électrique en puissance mécanique	3
2.3. Conversion de puissance mécanique en puissance électrique	3

1. Rappels

1.1. Actions d'un champ magnétique

Définition : Expression de la force de Laplace élémentaire

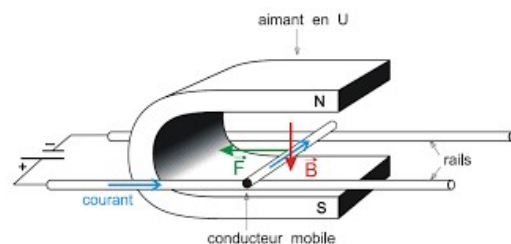
La force élémentaire $d\vec{F}$ s'appliquant à une portion élémentaire orientée $d\vec{\ell}$ de circuit filiforme, parcouru par un courant i et plongé dans un champ magnétique $\vec{B}$ est appelé **force de Laplace**, et s'exprime par :

$$d\vec{F} = i \cdot d\vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

Propriété : Résultante des forces de Laplace sur un rail plongé dans un champ $\vec{B}$ uniforme

Pour un rail rectiligne de longueur ℓ , plongé dans un champ uniforme $\vec{B} = B \cdot \vec{u}_z$ et parcouru par un courant i dans la direction $\vec{u}_x$ (« rail de Laplace »), on retrouve :

$$\vec{F}_{\text{Laplace}} = \int_0^\ell d\vec{F} = \int_0^\ell i \cdot d\vec{\ell} \wedge \vec{B} = -i \cdot \ell \cdot B \cdot \vec{u}_y$$

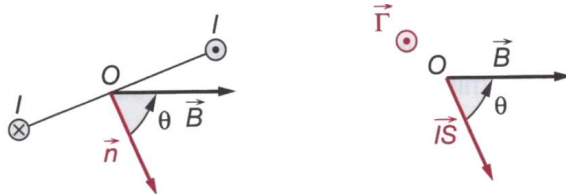


Définition : Couple de Laplace

Un cadre portant N spires parcourues par un courant I et plongé dans un champ magnétique $\vec{B}_{\text{ext}}$ uniforme orthogonal à l'axe de symétrie Δ du cadre, subit un couple de Laplace de moment :

$$\vec{\Gamma} = N \cdot I \cdot S \cdot \vec{n} \wedge \vec{B}_{\text{ext}} = \vec{\mathcal{M}} \wedge \vec{B}_{\text{ext}}$$

où le vecteur $\vec{\mathcal{M}} = N \cdot I \cdot S \cdot \vec{n}$ est appelé **moment magnétique** de la spire.



1.2. Induction

Loi : Loi de modération de Lenz

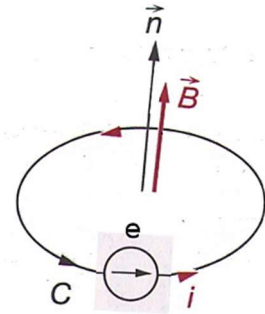
Les effets de la force électromotrice induite tendent à s'opposer à la cause qui leur a donné naissance.

- Dans le cas d'un champ magnétique variable, le champ créé par le courant induit s'oppose à la variation du champ initial.
- Dans le cas d'un circuit mobile, les forces de Laplace dues au courant induit s'opposent au mouvement initial du circuit.

Loi : Loi de Faraday

La force électromotrice induite e est égale à l'opposée de la dérivée temporelle du flux magnétique **total** traversant la surface définie par le circuit électrique

$$e = - \frac{d\Phi_{\text{tot}}}{dt}$$

**1.3. Puissances****Rappel : Exprimer une puissance**

- Puissance mécanique reçue par un objet soumis à une résultante $\vec{F}$ de point d'application A :

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}(A)$$

- Puissance mécanique reçue par un objet en rotation (vitesse angulaire ω) autour de Oz, soumis à un couple $\vec{I}$:

$$P = \vec{I} \cdot \omega \cdot \vec{u}_z$$

- Puissance électrique fournie par un générateur (convention générateur), de tension U et débitant i :

$$P_{\text{fournie}} = U \times i$$

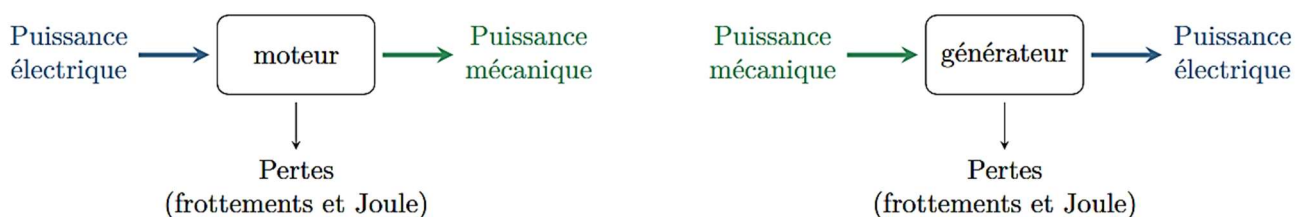
- Puissance électrique reçue par un dipôle (convention récepteur), de tension U et recevant i :

$$P_{\text{reçue}} = U \times i$$

2. Principe de la conversion électromécanique**2.1. Principe général**

La conversion électromécanique regroupe deux types de conversion d'énergie :

- Grâce à la force de Laplace, il est possible, en présence d'un champ magnétique, de mettre en mouvement un circuit parcouru par un courant électrique pour créer des moteurs.
- Grâce au phénomène d'induction, il est possible de générer de la puissance électrique grâce à un mouvement mécanique.



La conversion électromécanique étant réversible, un même convertisseur électromécanique peut être utilisé en tant que moteur ou en tant que générateur.

Propriété : Bilan énergétique

Lorsqu'un circuit mobile est plongé dans un champ magnétique stationnaire (induction de Lorentz), il est le siège d'une conversion de puissance électromécanique vérifiant la relation :

$$P_{\text{Laplace}} + P_{f.\text{é.m.}} = 0$$

avec P_{Laplace} la puissance mécanique fournie par la force de Laplace et $P_{f.\text{é.m.}}$ la puissance électrique fournie par la f.é.m. induite par le champ magnétique extérieur.

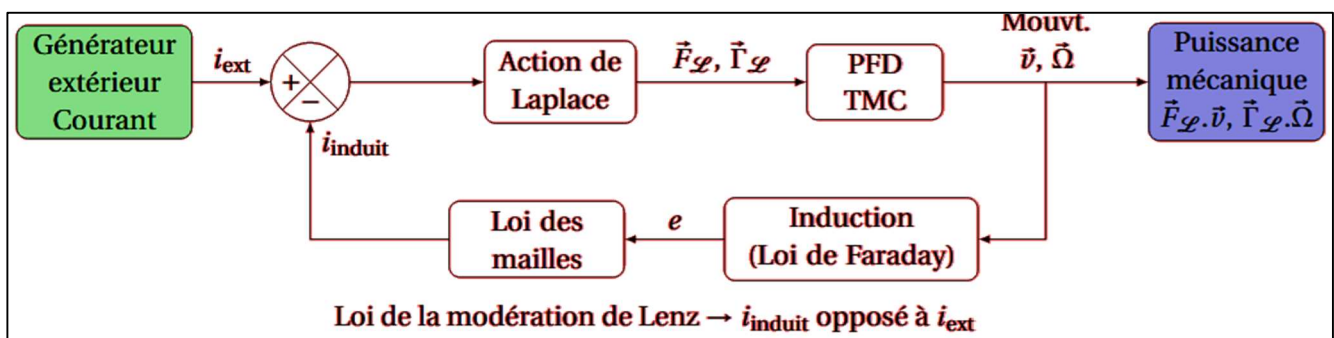
Cette relation traduit le fait que la puissance mécanique des forces de Laplace compense systématiquement la puissance électrique associée au phénomène d'induction et vice versa.

Méthode : Analyser le comportement d'un système de conversion électromécanique

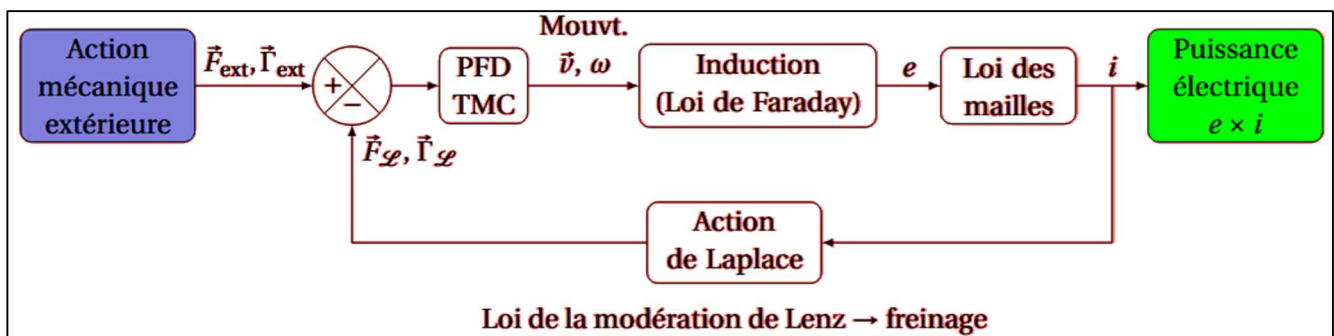
- Commencer par analyser le comportement du dispositif étudié en s'appuyant sur la loi de Lenz ;
- Orienter le circuit ;
- En déduire le sens de la normale au circuit par la règle de la main droite ;
- Etablir l'équation électrique ($E.E.$) ;
- Etablir l'équation mécanique ($E.M.$) ;
- Découpler les équations pour obtenir soit une équation en vitesse v , soit une équation en courant i ;
- Faire le bilan énergétique :

$$\begin{cases} (E.M.) \times v \\ (E.E.) \times i \end{cases}$$

et éliminer le terme de couplage entre les deux équations.

2.2. Conversion de puissance électrique en puissance mécanique

Exemples d'application : moteur électrique, haut-parleur (voir TD).

2.3. Conversion de puissance mécanique en puissance électrique

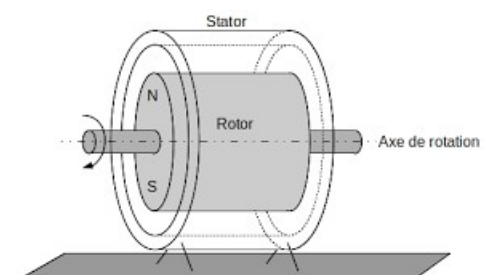
Exemples d'application : freinage par induction (*Exercice 3*), alternateur (*Exercice 4*).

Un **alternateur** est un dispositif tournant convertissant une puissance mécanique en puissance électrique. Ce dispositif est utilisé :

- sur les vélos (dynamo) dont la roue entraîne la rotation pour alimenter les phares ;
- dans les centrales EDF, où l'alternateur est entraîné par une turbine elle-même mise en rotation par de l'eau liquide (barrage hydraulique), de la vapeur d'eau (centrale thermique) ou de l'air (éolienne).

Un alternateur est constitué :

- d'un **stator**, fixe par rapport au référentiel d'étude ;
- et d'un **rotor** en rotation autour d'un axe fixe dans le référentiel.



AU PROGRAMME

Notions et contenus	Capacités exigibles	Dans les exercices
Conversion de puissance mécanique en puissance électrique Rail de Laplace. Spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique.	▪ Interpréter qualitativement les phénomènes observés. ▪ Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. ▪ Effectuer un bilan énergétique. ▪ Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.	
Freinage par induction.	▪ Expliquer l'origine des courants de Foucault et en citer des exemples d'utilisation. ▪ <i>Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.</i>	
Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	▪ <i>Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.</i>	