



CONVERSION DE L'ENERGIE

COURS

CH.35 : CONVERSION ELECTROMECHANIQUE

Plan (Cliquez sur le titre pour accéder au paragraphe)

CH.35 : CONVERSION ELECTROMECHANIQUE	1
I. BILAN DE PUISSANCE DE LA FORCE DE LORENTZ	1
I.1. PUISSANCE MECANIQUE DE LA FORCE DE LAPLACE	1
I.2. PUISSANCE ELECTRIQUE DE LA F.E.M D' INDUCTION	2
I.3. PUISSANCE NULLE DE LA FORCE DE LORENTZ : CONSEQUENCE	2
I.4. CONVERSION ELECTROMECHANIQUE ; REVERSIBILITE	2
II. APPLICATION A LA « MACHINE A COURANT CONTINU »	2
II.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	2
II.2. F.E.M INDUITE ET COUPLE MOTEUR	3
II.3. M.C.C EN FONCTIONNEMENT MOTEUR	4
II.3.1. Mise en équations	4
II.3.2. Régime permanent	4
II.3.3. Régime transitoire	5
III. REALISATION DE CHAMPS MAGNETIQUES TOURNANTS	5
III.1. DISPOSITIF DE PRINCIPE	5
III.2. INTERACTION D'UN MOMENT MAGNETIQUE PERMANENT ET D'UN C.M.T ...	6
III.3. FONCTIONNEMENT EN ALTERNATEUR	7
III.4. FONCTIONNEMENT EN MOTEUR	7
III.4.1. Notion de synchronisme	7
III.4.2. Caractéristiques du moteur synchrone	8
IV. CONCLUSION	9

I. BILAN DE PUISSANCE DE LA FORCE DE LORENTZ

I.1. PUISSANCE MECANIQUE DE LA FORCE DE LAPLACE

- On considère un milieu conducteur **neutre** où n est la densité volumique des porteurs **mobiles** de charge q (la densité volumique des charges **fixes** $-q$ est également n).
- Ce conducteur, placé dans un champ magnétique \vec{B} , est en mouvement par rapport au référentiel du laboratoire (R) ; nous noterons :
 - ♦ \vec{v} = vitesse d'un porteur mobile par rapport à (R)
 - ♦ \vec{v}_1 = vitesse d'un porteur mobile par rapport à (R_1), lié au conducteur
 - ♦ \vec{v}_e = vitesse d'entraînement **locale** de (R_1) par rapport à (R)

• En admettant la loi de composition galiléenne des vitesses, on a :

$$\vec{j}_{(R)} = nq(\vec{v}_1 + \vec{v}_e) + n(-q)\vec{v}_e \Rightarrow \boxed{\vec{j}_{(R)} = nq\vec{v}_1 = \vec{j}_{(R_1)} = \vec{j}} \quad (\text{indépendant du référentiel})$$

• La force de Laplace s'exerçant sur le conducteur de volume (V) est : $\vec{F}_{Lap} = \iiint_V (\vec{j} \wedge \vec{B}) d\tau \Rightarrow$
 la **puissance mécanique** fournie par la force de Laplace s'exerçant sur le conducteur s'écrit :

$$\boxed{P_m = \iiint_V (\vec{j} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v}_e d\tau}$$

1.2. PUISSANCE ELECTRIQUE DE LA F.E.M D' INDUCTION

- Nous savons que le conducteur mobile est le siège d'un champ induit : $\vec{E}_i = \vec{v}_e \wedge \vec{B} \Rightarrow$

sur une portion de conducteur AB, la f.e.m d'induction est de la forme :
$$e = \int_A^B (\vec{v}_e \wedge \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$

- Pour un conducteur filiforme, la **puissance électrique** fournie par cette f.e.m s'écrit :

$P_e = e \times i = \int_A^B (\vec{v}_e \wedge \vec{B}) \cdot i d\vec{l}$, avec e et i orientés dans le **même sens**.

La relation précédente se généralise en :
$$P_e = \iiint_V (\vec{v}_e \wedge \vec{B}) \cdot \vec{j} d\tau$$

1.3. PUISSANCE NULLE DE LA FORCE DE LORENTZ : CONSEQUENCE

- Nous savons que la force de Lorentz ne travaille jamais ; dans le référentiel du laboratoire (R), on peut donc écrire :
$$P_{Lorentz} = 0 = \iiint_V nq[(\vec{v}_1 + \vec{v}_e) \wedge \vec{B}] \cdot (\vec{v}_1 + \vec{v}_e) d\tau$$

- En développant la relation précédente, on remarque la nullité des produits mixtes du type $(\vec{v}_1 \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v}_1$; il vient :
$$0 = \iiint_V (nq\vec{v}_1 \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v}_e d\tau + \iiint_V nq(\vec{v}_e \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v}_1 d\tau \Rightarrow$$

$$0 = \iiint_V (\vec{j} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v}_e d\tau + \iiint_V (\vec{v}_e \wedge \vec{B}) \cdot \vec{j} d\tau \Rightarrow \boxed{P_m + P_e = 0}$$
 (puissances fournies)

1.4. CONVERSION ELECTROMECHANIQUE ; REVERSIBILITE

- La puissance nulle de la force de Lorentz a donc pour conséquence **l'égalité** (en valeur absolue) de la puissance mécanique de la force de Laplace et de la puissance électrique de la f.e.m d'induction : on parle de « **CONVERSION ELECTROMECHANIQUE** » parfaite.

- On peut distinguer 2 types de fonctionnement :

- ♦ **MOTEUR** ($P_m > 0$ et $P_e < 0$) : une source impose un courant i dans le circuit électrique ; une force de Laplace motrice apparaît : $P_m > 0 \Rightarrow P_e = e \times i < 0 \Rightarrow e$ et i sont de **signe contraire**, on parle pour e de « force contre-électromotrice ».

- ♦ **GENERATEUR** ($P_m < 0$ et $P_e > 0$) : un système mécanique extérieur met en mouvement une partie du circuit électrique (barreaux, rotor...) ; une f.e.m d'induction est générée et, si le circuit électrique est fermé, fait circuler un courant i dans le **même sens** $\Rightarrow P_e = e \times i > 0$. L'apparition de i provoque une force de Laplace de puissance $P_m < 0$: on parle de « force résistante » ou de « couple résistant ».

- Pour résumer ces 2 possibilités, on dit qu'il y a « **REVERSIBILITE** » de la conversion électromécanique.

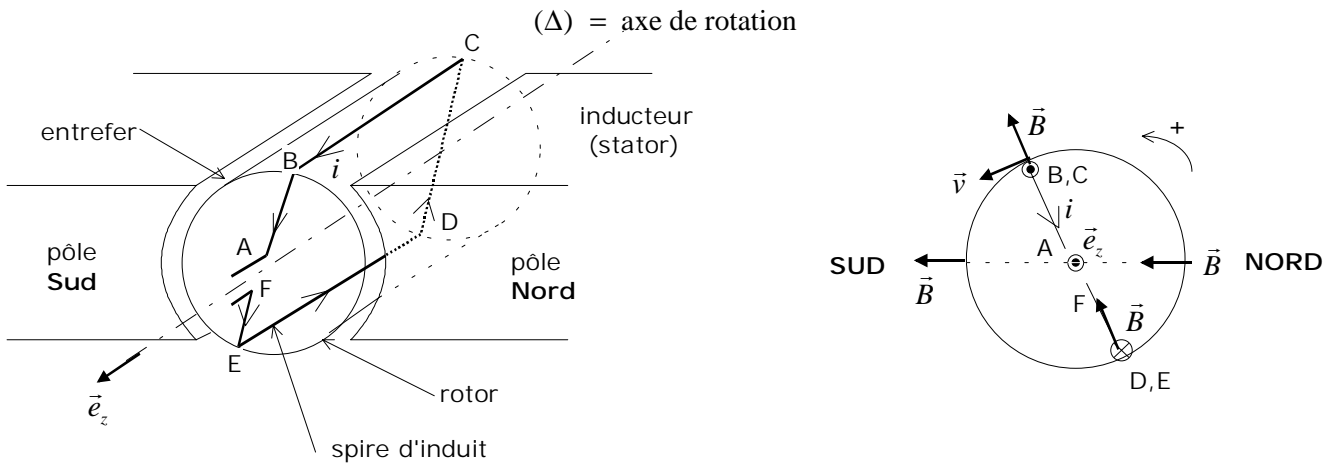
II. APPLICATION A LA « MACHINE A COURANT CONTINU »

II.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- Un dispositif **INDUCTEUR** (aimants permanents, bobinages...) de forme adéquate permet d'engendrer un champ magnétique \vec{B} **radial** dans l'**entrefer** (= espace entre l'inducteur fixe, ou **STATOR**, et une partie mobile, le **ROTOR**).

- Dans des « encoches » ménagées à la périphérie du rotor, sont logées des **spires** conductrices raccordées les unes aux autres en série et/ou en parallèle : cet ensemble constitue un **enroulement d'induit**, ou « **INDUIT** » tout court.

- Dans un premier temps, nous allons raisonner sur une seule spire, avec les schémas de principe ci-dessous :



Rq : on notera L la longueur $BC = DE$ d'une spire, et $d = BE = CD$ son diamètre ; la vitesse d'un point à la périphérie du rotor sera donc : $\vec{v} = \frac{d}{2} \omega \vec{e}_\theta$, où ω est la vitesse angulaire du rotor.

II.2. F.E.M INDUITE ET COUPLE MOTEUR

- Sur les côtés BE et CD, le champ magnétique est colinéaire au courant \Rightarrow la force de Laplace y est nulle.

• Sur BC : $\vec{F}_{Lap}(CB) = \int_C^B i d\vec{l} \wedge \vec{B} = iBL\vec{e}_{\theta,B}$

sur ED : $\vec{F}_{Lap}(ED) = \int_E^D i d\vec{l} \wedge \vec{B} = iBL\vec{e}_{\theta,E}$ avec : $\vec{e}_{\theta,E} = -\vec{e}_{\theta,B} \Rightarrow \boxed{\sum \vec{F}_{Lap} = \vec{0}}$

\Rightarrow les actions extérieures agissant sur la spire se résume à un **couple** : $\vec{C} = d\vec{e}_r \wedge iBL\vec{e}_\theta = iBLd\vec{e}_z$

- On remarque que $B \times Ld$ est homogène à un **flux** (en gros, le flux à travers la spire considérée : dans la réalité, c'est un peu plus compliqué car le champ n'est pas partout radial et la spire ne se referme pas par des segments BE et DC parfaitement radiaux) ; on écrira alors :

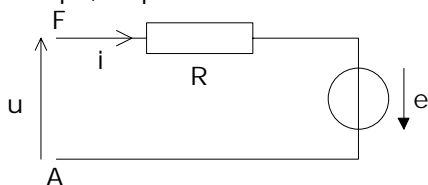
$\boxed{\vec{C} = \Phi \times i \vec{e}_z = \text{"couple moteur"}}$

et :

$\boxed{P_m = C \times \omega = \text{puissance mécanique fournie}}$

Rq : Φ (en Weber) est la « **constante électromécanique** » de la machine à courant continu.

- Donnons un schéma électrocinétique équivalent de la spire, en négligeant, dans un premier temps, le phénomène d'auto-induction :



Le champ électrique induit \vec{E}_i s'écrit:

$$\vec{E}_i = \vec{v} \wedge \vec{B} = \pm \frac{d}{2} \omega B \vec{e}_z$$

\Rightarrow la circulation de \vec{E}_i sur les côtés BE et DC est nulle ; on a donc :

$$e = \int_C^B -\frac{d}{2} \omega B \vec{e}_z \cdot d\vec{l} \vec{e}_z + \int_E^D \frac{d}{2} \omega B \vec{e}_z \cdot (-d\vec{l} \vec{e}_z) = -BLd\omega \Rightarrow \boxed{e = -\Phi \times \omega} \quad (\text{f.e.m induite dans la spire})$$

et la puissance électrique **fournie** par cette f.e.m :

$\boxed{P_e = e \times i = -\Phi \times \omega \times i}$