# CH.35 : CONVERSION ELECTROMECANIQUE

**Plan** *(Cliquer sur le titre pour accéder au paragraphe)*

**********************



**********************

## 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 :

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

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

### I.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 : $\boxed{e = \int_A^B (\vec{v}_e \wedge \vec{B}) \cdot d\vec{l}}$

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

### I.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**)

### I.4. CONVERSION ELECTROMECANIQUE ; 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 ELECTROMECANIQUE** » parfaite.
• On peut distinguer 2 types de fonctionnement :

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

♦ **GENERATEUR** ($P_m \prec 0$ et $P_e \succ 0$) : 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** $\Rightarrow$ $P_e = e \times i \succ 0$. L'apparition de $i$ provoque une force de Laplace de puissance $P_m \prec 0$ : 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.

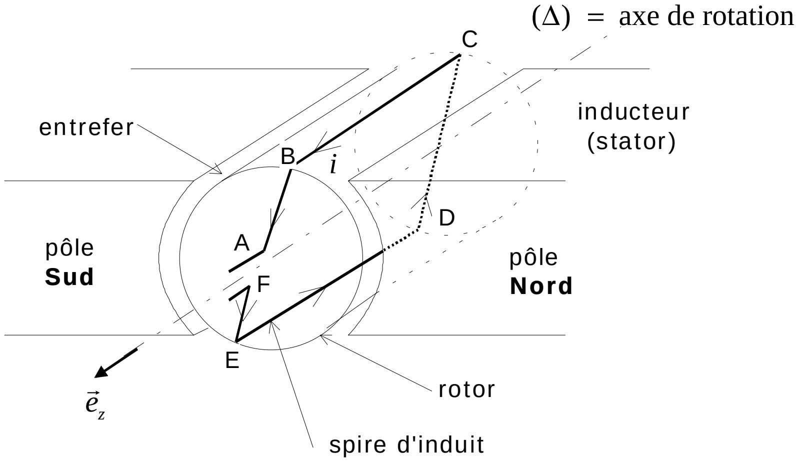
## II. APPLICATION A LA « MACHINE A COURANT CONTINU »

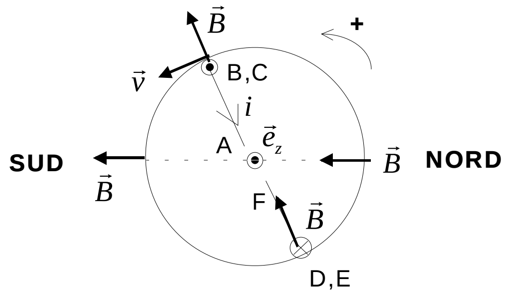
### II.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

• 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 $\omega$ 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 ⇒ 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 : $\vec{e}_{\theta,E} = -\vec{e}_{\theta,B}$ ⇒ $\boxed{\sum \vec{F}_{Lap} = \vec{0}}$

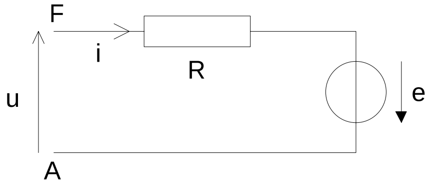
⇒ les actions extérieures agissant sur la spire se résume à un **couple** : $\vec{C} = d\vec{e}_r \wedge iBL\vec{e}_\theta = iBLd\vec{e}_z$

• 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 :** $\Phi$ (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:

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

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

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

et la puissance électrique **fournie** par cette f.e.m : $\boxed{P_e = e \times i = -\Phi \times \omega \times i}$