

**Remarques du Jury :** Il est souhaitable de préciser le rôle de l'énergie magnétique lors de l'étude des convertisseurs électromécaniques constitués de matériaux ferromagnétiques linéaires non saturés. Afin de pouvoir aborder des machines électriques de forte puissance, le rôle essentiel du fer doit être considéré, car les forces électromagnétiques ne se réduisent pas aux seules actions de Laplace s'exerçant sur les conducteurs traversés par des courants. Une approche à l'aide des seules forces de Laplace est insuffisante. Les candidats doivent aussi s'interroger sur l'intérêt d'utiliser des matériaux ferromagnétiques dans les machines électriques

- Roland avait présenté sa leçon à un bon niveau, on peut faire plus simple ;

Prérequis : Électrocinétique, Force de Laplace.

**Introduction :** Manip [https://www.youtube.com/watch?v=QK\\_irRFTM-U](https://www.youtube.com/watch?v=QK_irRFTM-U)

Analyse : comme prédit par la force de Laplace, un conducteur dans lequel passe un courant  $i$  subit une force de Laplace ( $dF = idl \wedge B$ ) s'il est placé dans un champ  $B$  : c'est le principe du couplage électromécanique. Une machine électromécanique a pour but de convertir de la puissance électrique en puissance mécanique. Elle réalise cette opération par le phénomène d'induction: on transforme une tension en courant, puis en champ magnétique, puis en force (ou couple). On dans cette leçon détailler cette conversion, puis on l'appliquera au cas des machines électriques.

## I - Principe de la conversion d'énergie électromécanique

### 1) Conservation de la puissance

CF Fade II : partie 2.1 et 2.2.

On montre, à partir de la force de Lorentz sur un porteur de charge puis en sommant sur le conducteur, que l'on a la conservation de l'énergie de la forme :

$$0 = P_{lap} + P_{em}$$

où :

- $P_{lap}$  est la puissance de la force de Laplace fournie au conducteur, et qui correspond à une puissance mécanique (mouvement)
- $P_{em}$  est la puissance électromotrice fournie au courant.

Si on applique cela à un circuit fermé (indéformable) tournant à la vitesse  $\Omega$ , on obtient ce résultat sous la forme :

$$0 = U_{em} i + C \Omega$$

où  $C$  est le couple total exercé sur le circuit. A noter qu'on a négligé les pertes : on va revenir dessus et on va détailler le sens physique de cette expression.

### 2) Notion de réversibilité et rendement

CF Fade II : partie 2.3

Si on se place dans la limite des pertes négligeables, on remarque que  $P_{em} = - P_{méca}$ . Il vient alors :

- Si  $P_{em} < 0$ ,  $P_{méca} > 0$ , on est en mode moteur, on consomme de l'électricité pour appliquer un couple sur le moteur.
- A l'inverse, si  $P_{em} > 0$ ,  $P_{méca} < 0$ , on fournit un travail mécanique et on en retire un travail électrique.

En réalité on dénombre de nombreuses sources d'irréversibilités mécaniques (frottement, pertes au niveau des balais collecteurs) et électriques (effet Joule, pertes magnétiques par hystérésis...)

On va appliquer cela à un cas "simple" et voir qu'une condition supplémentaire est nécessaire pour avoir réellement un moteur.

### 3) Condition de fonctionnement d'un moteur.

**Cf Fade II : partie 2.4**

On calcule la puissance mécanique pour N spires en rotation à la vitesse  $\Omega$ . On trouve un couple  $C = -NiSB\sin(\theta) < 0$ . Si on calcule la moyenne temporelle sur 1 tour, on trouve un couple nul, ce qui est embêtant pour un moteur... 2 solutions :

- On fait tourner le champ B : Moteurs synchrone et asynchrone
- Soit on commute le sens des courants (redressement mécanique, balais collecteurs).  
C'est le cas des machines à courant continu.

Détaillons le fonctionnement dans le cas des moteurs électriques.

## II - Conversion dans une machine électrique

### 1) Circuit magnétique

**Cf : FADE III**

On s'intéresse ici au champ B : on utilise pour les moteurs les circuits magnétiques. Ils présentent l'intérêt de concentrer l'énergie magnétique dans l'entrefer. On préférera les ferromagnétiques doux pour limiter les pertes hystérésis.

Partie très longue à traiter je trouve, peut être mettre en prérequis.

### 2) Architecture des moteurs électriques tournants

**Cf FADE IV : partie 4.1**

Définition de stator, de rotor, de circuit inducteur et de circuit induit + dessin

Si rotor inducteur et stator induit : machines synchrone et asynchrone

Si l'inverse : machine à courant continu.

### 3) Bilan énergétique

**Cf FADE IV : partie 4.2**

On fait le bilan d'énergie en négligeant les pertes fer. On aboutit au fait que l'énergie (électromagnétique) apportée en entrée est en partie stockée dans l'entrefer et en partie fournie à l'arbre du rotor.

## III - Exemple d'un moteur.

Les cours V, VI et VII de Julien Fade présente chacun un type de moteur (synchrone, asynchrone ou à courant continu. Il convient de développer le fonctionnement d'un seul d'entre eux.

J'ai fait ce plan à partir des cours de Julien mais il peut être tout aussi intéressant de se baser/ de le compléter sur un livre de PSI (auquel je n'ai pas accès pour le moment).