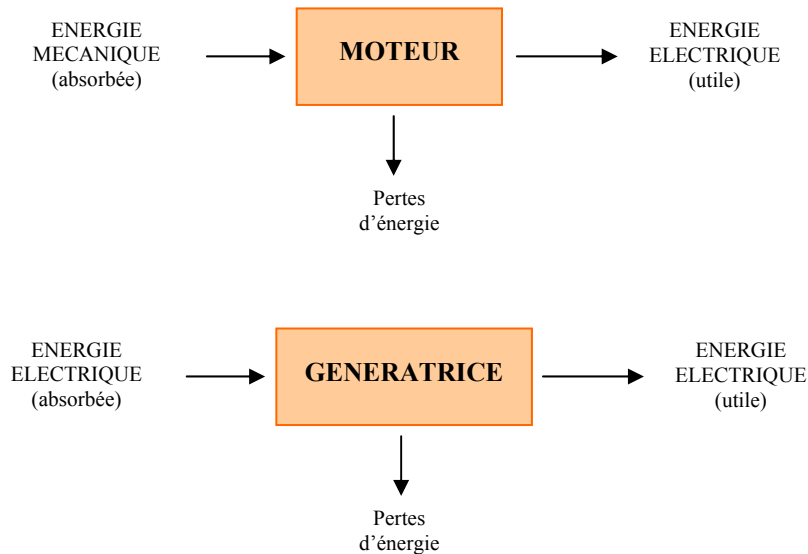
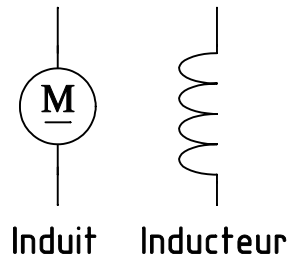


I – GENERALITES

* Une machine à C.C. est un convertisseur tournant d'énergie électrique en énergie mécanique (fonctionnement en moteur) ou d'énergie mécanique en énergie électrique (fonctionnement en génératrice).



* Symbole :



* L'énergie électrique se présente sous forme de tensions et de courants continus ou unidirectionnels.
L'énergie mécanique se présente sous forme d'un couple, de moment **T** [N.m], susceptible de tourner à la vitesse angulaire **Ω** [rad/s].

II – DESCRIPTION DE LA MACHINE

1°) Constitution de la machine

- * un circuit magnétique (**stator** ② et **rotor** ③ séparés par un **entrefer** ⑤).
- * des circuits électriques :
 - un circuit électrique sur le rotor (induit)
 - un circuit électrique sur le stator lorsque la machine n'est pas à aimants permanents.
- * un **collecteur** ⑨ solidaire du rotor, qui, associé à des **balais** ⑩, permet de relier l'induit de la machine au circuit électrique extérieur (source ou charge).

2°) L'inducteur ⑥ (porté par le stator)

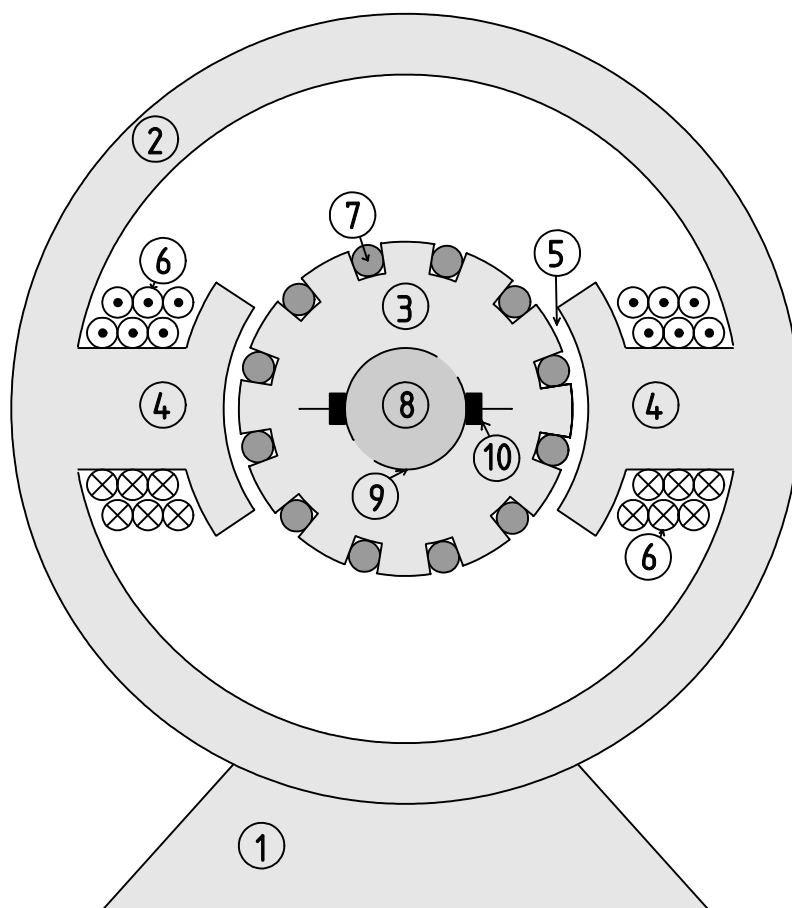
2 possibilités :

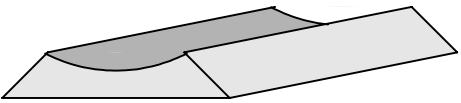
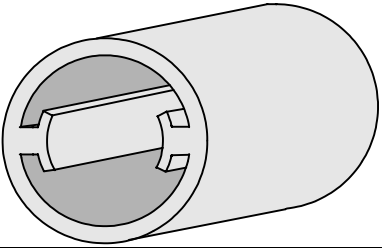
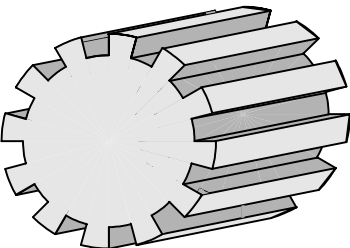
- * aimants permanents
- * bobines enroulées autour des **pôles** ④.

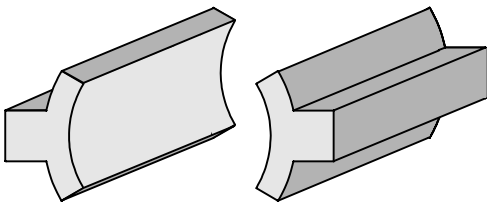
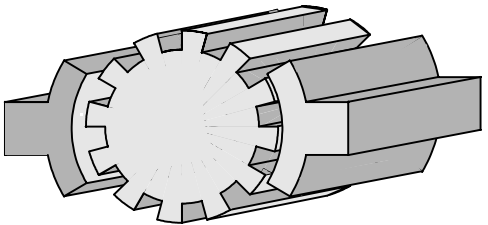
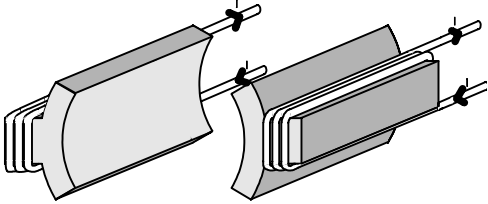
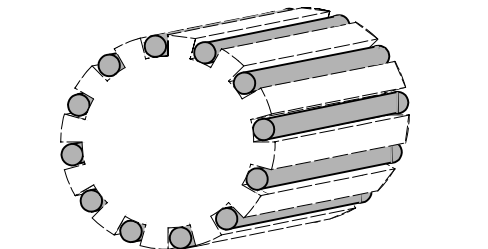
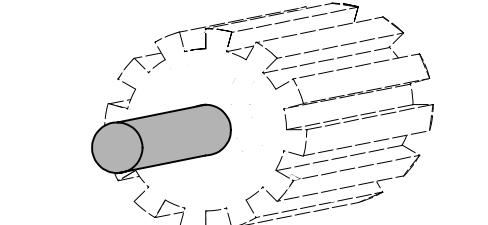
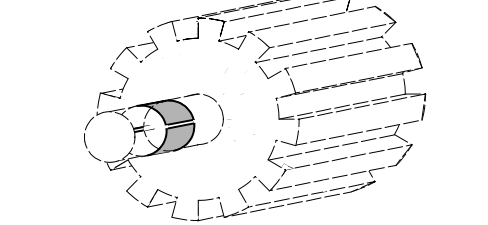
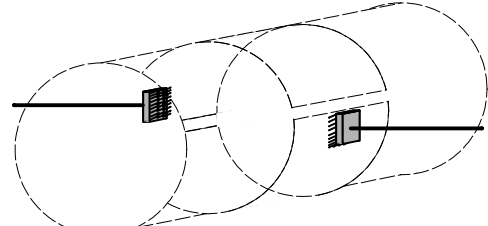
L'inducteur a pour but de créer un champ magnétique au niveau de l'entrefer.

Remarques :

- * le nombre de pôles d'une machine étant toujours pair, on définit le nombre de paires de pôles d'une machine par la lettre « p ».



1		Socle	Partie fixe sur laquelle repose le moteur
2		Stator	Partie fixe du circuit magnétique du moteur conçue en matériau ferromagnétique.
3		Rotor	Partie tournante du circuit magnétique du moteur conçue en matériau ferromagnétique.

4		Pôles du stator	Partie du stator permettant de fournir dans l'entrefer un champ magnétique radial (dirigé vers le centre du rotor). Leur nombre est toujours pair.
5		Entrefer	Espace séparant le stator du rotor et permettant la rotation du rotor.
6		Bobines de l'inducteur	Enroulements de cuivre, portés par le stator, traversés par un courant continu générant le champ magnétique.
7		Bobines de l'induit	Enroulements de cuivre, placés dans des encoches creusées dans le rotor, connectés au circuit extérieur par l'intermédiaire du collecteur et des balais.
8		Arbre du moteur	Partie tournante, solidaire du rotor, sur laquelle sont fixées les lames du collecteur.
9		Collecteur	Lames de cuivre fixées sur l'arbre et reliées aux enroulements de l'induit.
10		Balais	Contacts glissants, solidaires du stator, permettant la liaison électrique entre le circuit extérieur et les enroulements de l'induit grâce aux balais.

*** Vocabulaire :**

- si $p = 1$	2 pôles	machine bipolaire
- si $p = 2$	4 pôles	machine tétrapolaire
- si $p = 3$	6 pôles	machine hexapolaire
- si $p = 4$	8 pôles	machine octopolaire

3°) L'induit ⑦ (porté par le rotor)

C'est un circuit électrique constitué de conducteurs en série enroulés sur le rotor et placés dans des encoches.
C'est au niveau de ce circuit que se produiront les phénomènes électromagnétiques.

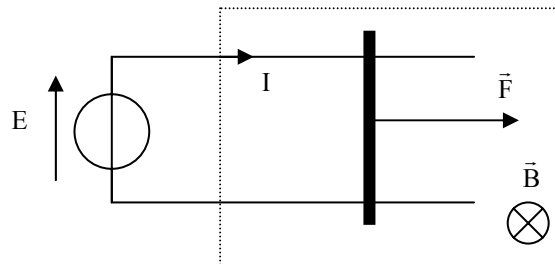
4°) collecteur et balais

Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre isolées les unes des autres et situées en bout d'**arbre** ⑧.
Les balais sont portés par le stator et frottent sur le collecteur de façon à assurer la liaison électrique entre le rotor et le circuit électrique extérieur.

III – FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE A COURANT CONTINU

1°) Rappels d'électromagnétisme

a) Force de Laplace (expérience des rails de Laplace)

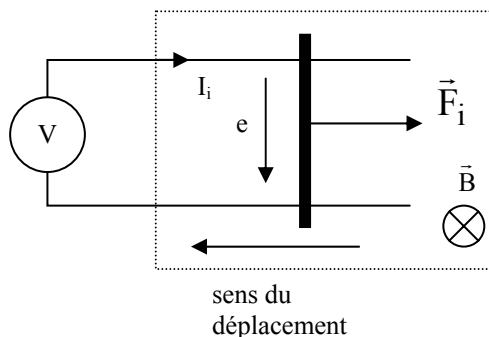


Lorsqu'un conducteur, plongé dans un champ magnétique, est traversé par un courant continu, ce conducteur se met en mouvement sous l'action d'une force dite force de Laplace telle que :

- * **Direction** : perpendiculaire au plan formé par le conducteur et le champ magnétique.
- * **Sens** : donné par la règle des 3 doigts de la main droite.
- * **Intensité** : $F = B.I.l$ (lorsque le champ est perpendiculaire au conducteur)

b) Force électromotrice d'induction

Si on déplace un conducteur dans un champ magnétique, il apparaît aux bornes de ce conducteur une f.é.m. induite.



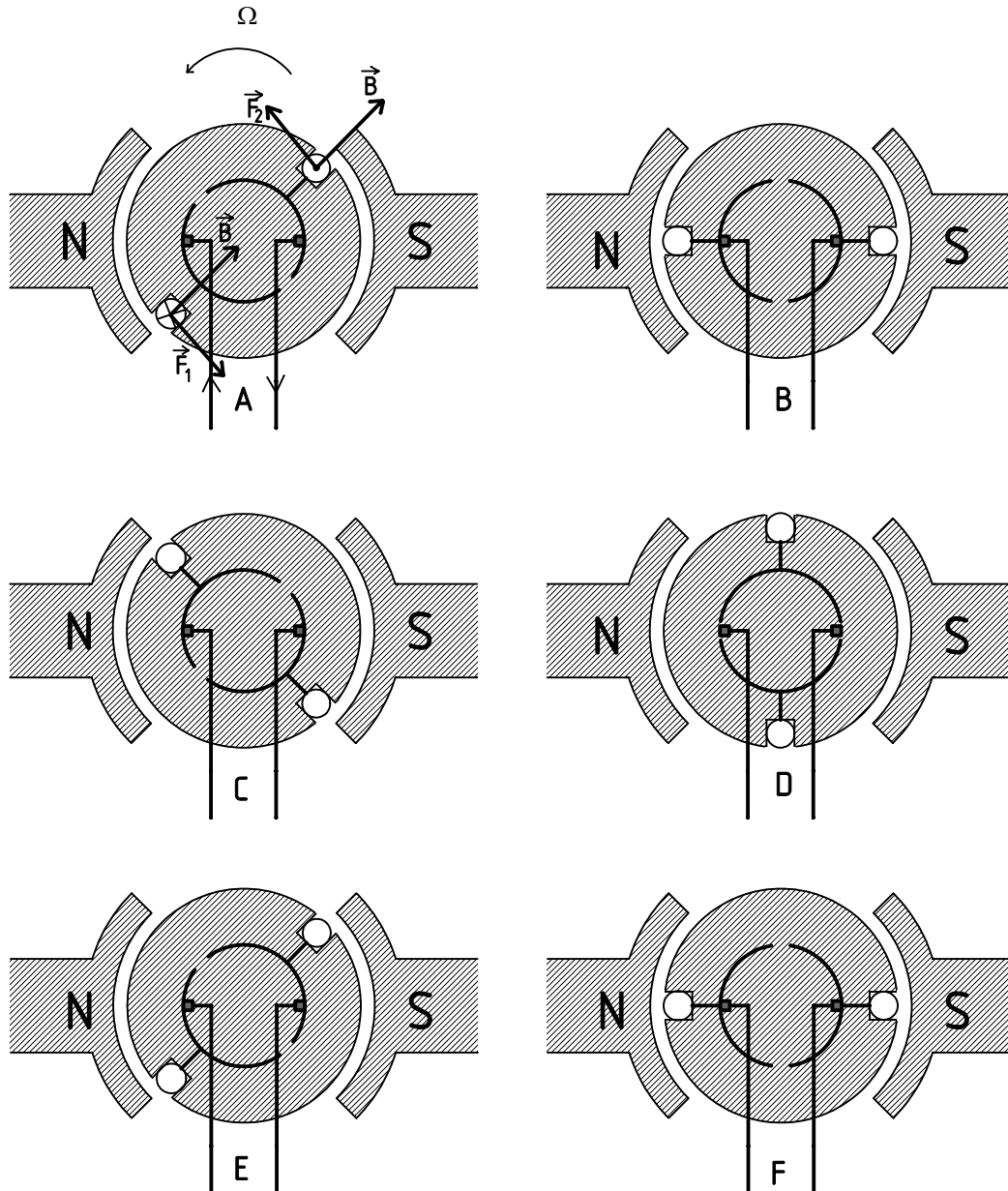
Loi de Lenz : Tout phénomène induit s'oppose, par ses effets, à la cause qui lui a donné naissance.

Détermination du sens de la f.é.m.

Conformément à la loi de Lenz, la f.é.m. va s'opposer au déplacement du conducteur en générant une force induite de sens contraire.
On en déduit le sens du courant induit (règle des 3 doigts de la main droite) et ainsi le sens de la f.é.m. (convention générateur).

2°) Fonctionnement en moteur

Considérons une machine simplifiée, c'est à dire bipolaire et constituée d'une seule spire (deux conducteurs actifs)



Lorsque les conducteurs actifs sont soumis au champ magnétique radial (direction passant par le centre du rotor) créé par l'inducteur et qu'ils sont traversés par un courant continu I délivrée par une source extérieure, ils sont soumis à un couple de **forces de Laplace** entraînant la rotation du rotor.

Remarques :

* Le collecteur et les balais permettent, à chaque demi-tour, d'inverser le sens du courant dans les conducteurs afin d'assurer la rotation.

* Les conducteurs étant à présent en mouvement dans un champ magnétique, il va apparaître à leurs bornes une **f.é.m. induite** tendant à s'opposer à la rotation.

Cette f.é.m. induite, encore appelée force contre électromotrice, s'exprime :

$$E = K \cdot \phi \cdot \Omega$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} K : \text{constante qui ne dépend que des caractéristiques de la machine (ex : nombre de conducteurs).} \\ \phi : \text{Flux utile sous un pôle (Wb)} \\ \Omega : \text{vitesse de rotation (rad/s)} \end{array} \right.$

3°) Fonctionnement en génératrice

Considérons la même machine simplifiée et faisons tourner le rotor à la vitesse Ω dans le champ magnétique créé par l'inducteur. Il apparaît alors aux bornes des conducteurs de l'induit une f.é.m. induite tendant à s'opposer à la rotation. Cette f.é.m. aura donc la même expression que précédemment, c'est à dire :

$$E = K \cdot \phi \cdot \Omega$$

4°) Réversibilité des machines à courant continu

Les machines à courant continu peuvent fonctionner tant en moteur qu'en génératrice :

- * si on alimente l'induit, le rotor se met à tourner,
- * si on fait tourner le rotor, l'induit génère une f.é.m. E.

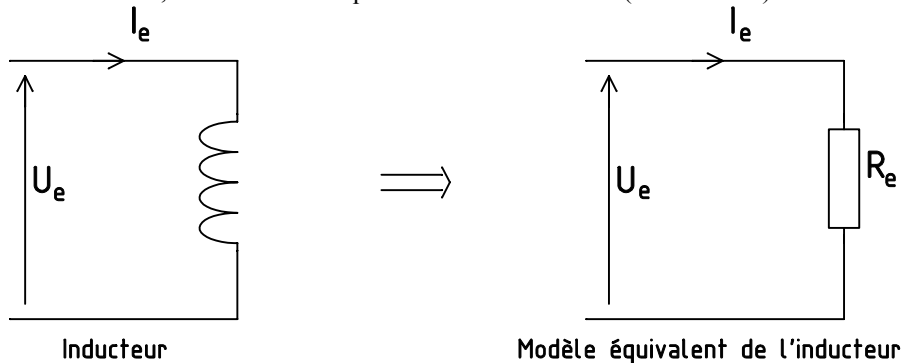
On dit que les machines à C.C. sont **réversibles**.

IV – MODELES EQUIVALENTS DES MACHINES A COURANT CONTINU

1°) Modèle équivalent de l'inducteur

Lorsque l'inducteur n'est pas à aimants permanents, il est constitué de bobines en série traversées par un courant continu I_e , appelé **courant d'excitation**.

On sait, de plus, qu'en courant continu, une bobine est équivalente à sa résistance (cours de 1^{ère}).



avec R_e : résistance de l'inducteur [Ω]
 U_e : tension d'alimentation de l'inducteur [V]
 I_e : intensité du courant d'excitation [A]

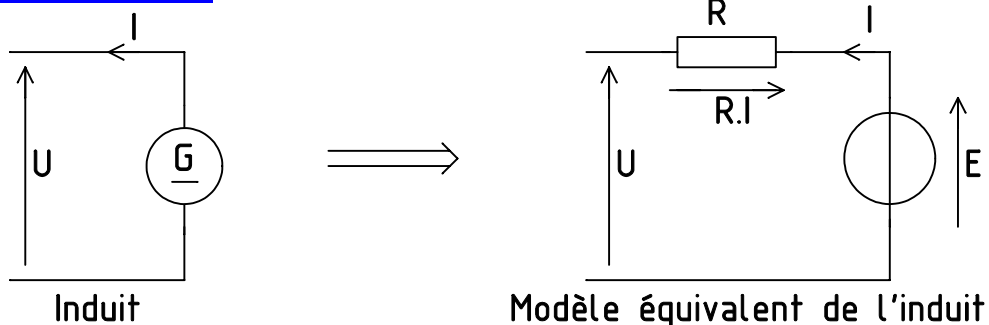
Remarque : Ces trois grandeurs sont liées par la loi d'Ohm

$$U_e = R_e \cdot I_e$$

2°) Modèle équivalent de l'induit

L'induit, soumis à une tension U dite tension d'induit, est constitué de conducteurs, de résistance R, traversés par un courant continu I dit courant d'induit. Il génère une f.é.m. ou une f.c.é.m. suivant qu'il fonctionne en génératrice ou en moteur.

a) Cas d'une génératrice

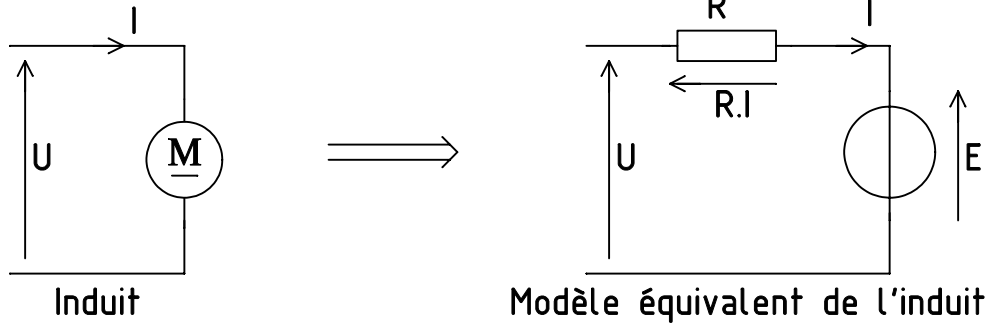


$$\text{Loi des mailles : } U + R \cdot I - E = 0$$

donc :

$$U = E - R \cdot I$$

b) Cas d'un moteur



Loi des mailles : $U - R \cdot I - E = 0$

donc : $U = E + R \cdot I$

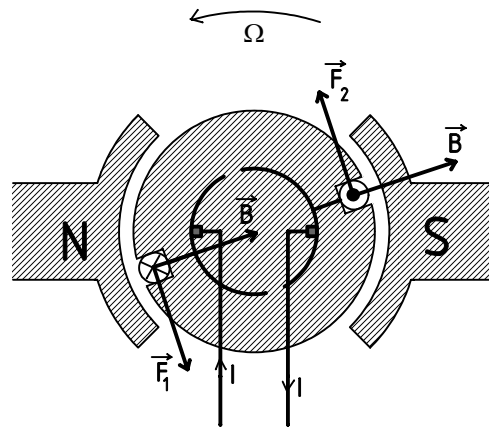
IV – COUPLE ELECTROMAGNETIQUE

1°) Mise en évidence

Les deux conducteurs sont soumis à un couple de force \vec{F}_1 et \vec{F}_2 .

On rappelle qu'un couple de force se caractérise par son moment noté T.

Dans le cas général (de nombreux conducteurs), la somme des moments des couples de forces agissant sur l'ensemble des conducteurs est appelé le **moment du couple électromagnétique** noté T_{EM} .



2°) Expression du moment du couple électromagnétique

On définit la **puissance électromagnétique** P_{EM} de l'induit comme étant :

$$P_{EM} = E \cdot I$$

avec : E : f.é.m. de l'induit [V]

I : Intensité du courant d'induit [A]

P_{EM} : puissance électromagnétique [W]

Cette puissance correspondant à la puissance développée par le couple électromagnétique tournant à la vitesse Ω , elle peut aussi s'écrire :

$$P_{EM} = T_{EM} \cdot \Omega$$

avec : T_{EM} : moment du couple électromagnétique [N.m]

Ω : vitesse angulaire de rotation [rad/s]

P_{EM} : puissance électromagnétique [W]

3°) Autre expression du moment du couple électromagnétique

$$P_{EM} = T_{EM} \cdot \Omega = E \cdot I$$

$$\text{donc : } T_{EM} = E \cdot I / \Omega$$

De plus, on sait que :

$$E = K \cdot \phi \cdot \Omega$$

Donc :

$$T_{EM} = K \cdot \phi \cdot \Omega \cdot I / \Omega$$

Le moment du couple électromagnétique peut donc s'exprimer :

$$T_{EM} = K \cdot \phi \cdot I$$

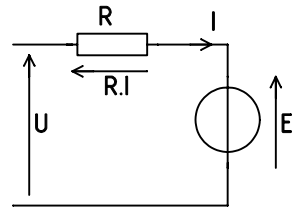
V – BILAN DES PUISSANCES

1°) Cas du fonctionnement en moteur

Relation correspondante : $U = E + R \cdot I$

En multipliant par I , on obtient : $U \cdot I = E \cdot I + R \cdot I^2$

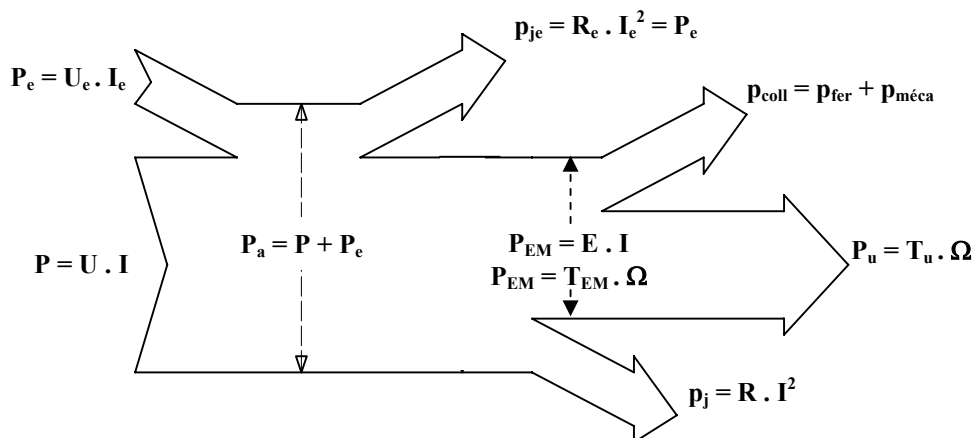
Puissance absorbée Puissance électromagnétique Pertes par effet Joule dans l'induit



De plus, le rotor (matériau ferromagnétique) est en mouvement dans un champ magnétique, d'où l'apparition de **pertes magnétiques** notée p_{fer} .

D'autre part, le rotor en rotation sera la siège de **pertes mécaniques** notée $p_{\text{méca}}$.

En résumé :



Notations :

- P : puissance absorbée par l'induit (électrique)
- P_e : puissance absorbée par l'inducteur (électrique)
- P_a : puissance totale absorbée par le moteur
- P_{EM} : puissance électromagnétique
- p_{je} : pertes par effet Joule dans l'inducteur
- p_j : pertes par effet Joule dans l'induit
- p_{coll} : pertes collectives (pertes magnétiques + pertes mécaniques)
- P_u : puissance utile fournie par le moteur (mécanique)
- T_{EM} : moment du couple électromagnétique
- T_u : moment du couple utile
- Ω : vitesse de rotation

Remarque :

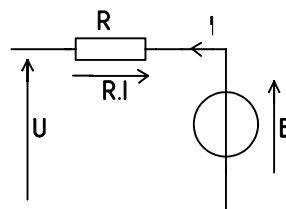
* toute la puissance absorbée par l'inducteur (P_e) est convertie en pertes par effet Joule (p_{je})

2°) Cas du fonctionnement en génératrice

Relation correspondante : $U = E - R \cdot I$

En multipliant par I , on obtient : $U \cdot I = E \cdot I - R \cdot I^2$

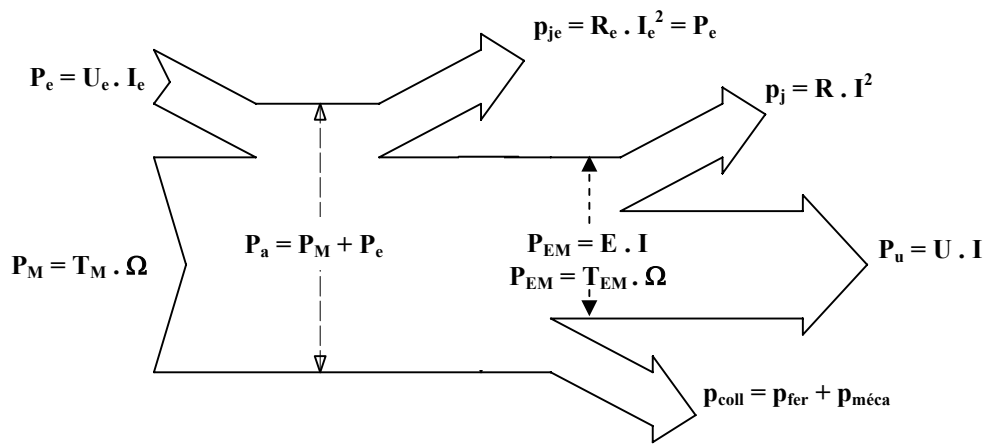
Puissance utile Puissance électromagnétique Pertes par effet Joule dans l'induit



De plus, le rotor (matériau ferromagnétique) est en mouvement dans un champ magnétique, d'où l'apparition de **pertes magnétiques** notée p_{fer} .

D'autre part, le rotor en rotation sera la siège de **pertes mécaniques** notée $p_{\text{méca}}$.

En résumé :



Notations :

- P : puissance absorbée par l'induit (mécanique)
- P_e : puissance absorbée par l'inducteur (électrique)
- P_a : puissance totale absorbée par la génératrice
- P_{EM} : puissance électromagnétique
- p_{je} : pertes par effet Joule dans l'inducteur
- p_j : pertes par effet Joule dans l'induit
- p_{coll} : pertes collectives (pertes magnétiques + pertes mécaniques)
- P_u : puissance utile fournie par la génératrice (électrique)
- T_{EM} : moment du couple électromagnétique
- T_M : moment du couple mécanique
- Ω : vitesse de rotation

Remarque :

- * toute la puissance absorbée par l'inducteur (P_e) est convertie en pertes par effet Joule (p_{je}).