

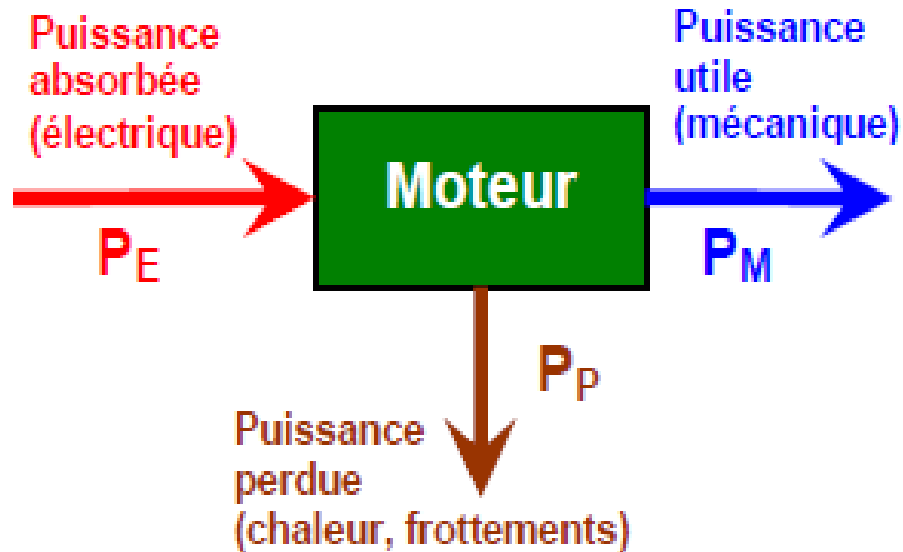
# Chapitre 2 : La conversion d'énergie électromécanique

- **1. Généralités**

- L'énergie électrique est une forme secondaire d'énergie qui présente une forme intermédiaire très intéressante par sa facilité de transport, sa souplesse et ses possibilités de conversion.
- Parmi toutes les possibilités de transformation, la forme électromécanique joue un rôle particulièrement important. Il faut savoir que 95% de la production d'énergie électrique résulte d'une conversion mécanique –électrique.

- La conversion d'énergie électromécanique est une partie intégrale de la vie de tous les jours.
- Que ce soit les grandes centrales hydroélectriques qui transforment l'énergie de l'eau en énergie électrique, la traction électrique (transports publics, voitures électriques et hybrides), ou bien le moteur qui fait tourner un séchoir, la conversion d'énergie est très répandue.

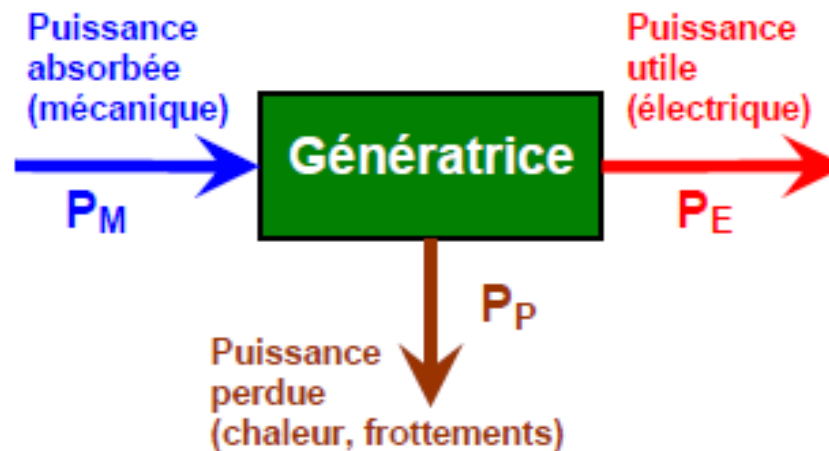
- **2. Conversion d'énergie électromécanique**
- Un convertisseur électromagnétique ou "machine tournante" effectue une transformation entre l'énergie électrique et l'énergie mécanique. Deux régimes de fonctionnement peuvent alors exister :
- **a/ Fonctionnement "moteur"**
- L'énergie électrique est transformée en énergie mécanique :



- On peut définir le rendement :

$$\eta = \frac{P_M}{P_E} = \frac{P_M}{P_M + P_P}$$

- **b/ Fonctionnement "génératrice"**
- L'énergie mécanique est transformée en énergie électrique:



- On peut définir le rendement :

$$\eta = \frac{P_E}{P_M} = \frac{P_E}{P_E + P_P}$$

- **3. Caractéristiques de la conversion électromécanique**
- L'étude de la conversion électromécanique est basée sur le principe de conservation de l'énergie. Celui-ci fait appel à une forme d'énergie intermédiaire stockable, il s'agit de l'énergie **électromagnétique**.
- La force ou le couple électromécanique résulte de trois formes possibles d'interactions :
  - – l'interaction entre deux courants,

- – l'interaction entre un courant et un circuit ferromagnétique,
- – l'interaction entre un aimant et un courant ou un circuit ferromagnétique.
- **4. Réversibilité des machines électriques tournantes**
- Les machines électriques tournantes sont **réversibles**, la même machine peut fonctionner en moteur ou en génératrice, cela est possible sur le plan physique que sur le plan technologique (exemples ci-dessous avec trois familles de moteurs).

- **a/ Le moteur à courant continu:**
- Une action mécanique sur le rotor produit une tension continue au stator, c'est la **génératrice à courant continu** (dynamo).
- **b/ Le moteur à courant alternatif:**
- **Le moteur synchrone** utilisé en génératrice va produire une tension de fréquence directement proportionnelle à la vitesse de rotation c'est la **génératrice synchrone** (alternateurs des centrales électriques).

➤ **Le moteur asynchrone** utilisé en génératrice va produire une tension de fréquence légèrement inférieure au cas de la génératrice synchrone c'est la **génératrice asynchrone** (centrales éoliennes).

- **5. Structure technologique des machines électriques tournantes**
- -La structure de ces machines comprend toujours un circuit magnétique, lieu de stockage et de la conversion d'énergie en deux temps (électrique-magnétique et magnétique-mécanique).

- -Le circuit magnétique est constitué de :
- **a/ Le stator :**
- Le stator est la partie fixe de la machine.
- Dans le cas d'un moteur, le stator est alimenté en électricité et produit un **champ magnétique inducteur**.
- Dans le cas d'un générateur, le stator produit une **tension induite** par le champ magnétique variable produit par le rotor en rotation.

- **b/ Le rotor**

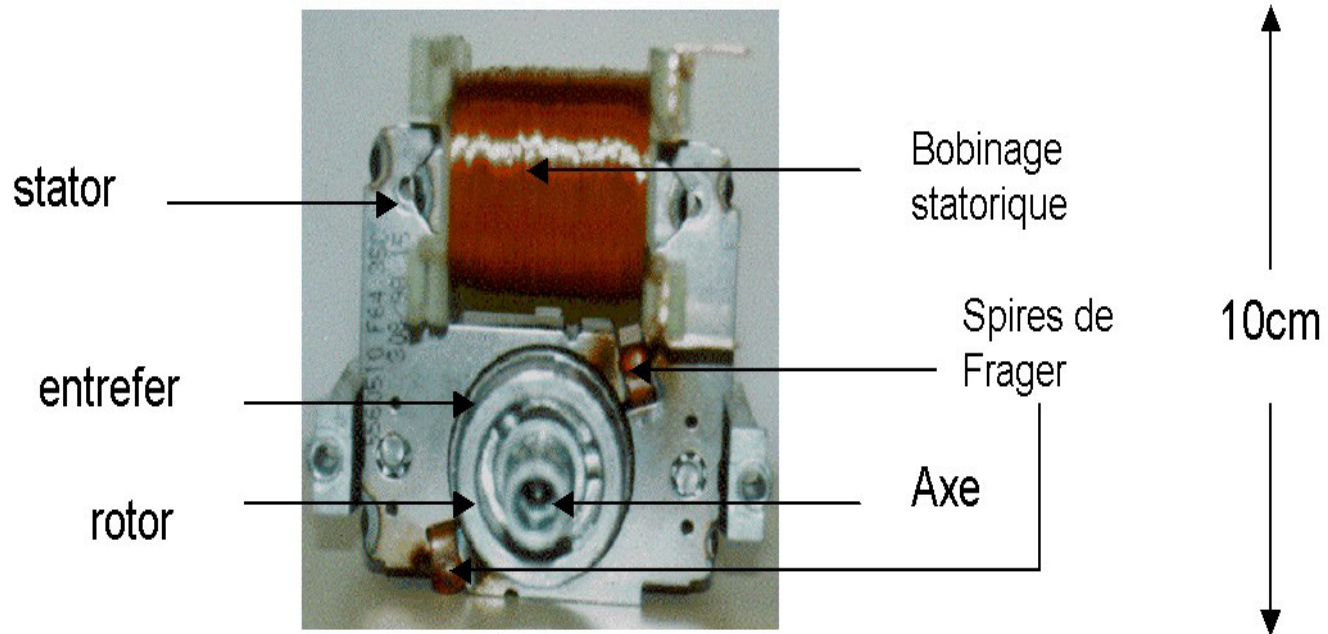
- Le rotor est la partie tournante de la machine, les courants rotoriques produisent un champ magnétique (champ induit) qui réagit mécaniquement avec le champ inducteur (stator) et produit un couple de rotation.

- **c/ Un entrefer**

- L'entrefer est un milieu de perméabilité  $\mu_0$ , les deux parties (stator et rotor) canalisent le flux magnétique vers l'entrefer. Alors il présente le lieu de stockage principal et donc de conversion de l'énergie magnétique.

- -Le circuit magnétique est constitué de tôles magnétiquement douces ou d'aimants permanents.
- - Le circuit magnétique est feuilleté pour limiter les pertes des courants de Foucault.
- -Les tôles sont excitées par des bobinages fortement inductifs, recevant l'énergie électrique et qui sont aussi le siège de pertes Joule.

- -Du point de vue mécanique, la position du rotor ne dépend que d'un paramètre de position linéaire ou angulaire.



**Petit moteur électrique**

## 7. La classification des convertisseurs

- Pour les machines à champ tournant polyphasées la condition de fréquence est :
- $\Omega_s = \Omega_R + \Omega$
- $\Omega_s$  : Vitesse angulaire du champ tournant pour le stator
- $\Omega_R$  : Vitesse angulaire du champ tournant pour le rotor
- $\Omega$  : la vitesse du rotor par rapport au stator
- A partir de cette relation on peut classer les machines en deux catégories :
- -Les machines synchrones
- -Les machines asynchrones
- (On prend par la suite l'étude sur les moteurs)

## 7.1 Le moteur à courant alternatif synchrone triphasé

- **a/Champ magnétique tournant (stator)**
- Le principe de fonctionnement du moteur synchrone (mais aussi asynchrone) repose sur la création d'un champ magnétique tournant.
- Les bobinages triphasés du stator créent un champ magnétique tournant à la vitesse  $\Omega_s$  qui dépend de la pulsation d'alimentation  $\omega=2\pi f$ , mais aussi du nombre de paires de pôles  $p$  du stator

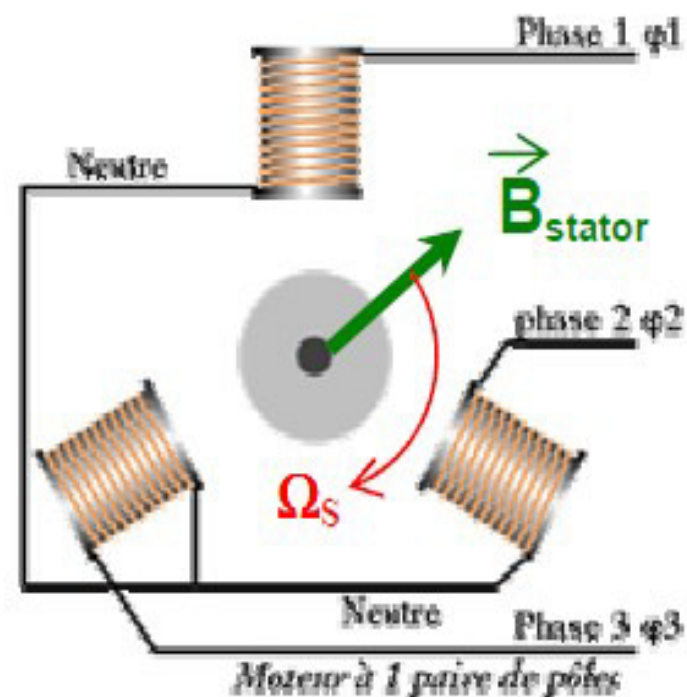
Vitesse angulaire  
du champ tournant  
(synchronisme)  
en rad/s

$$\Omega_s = \frac{\omega}{p}$$

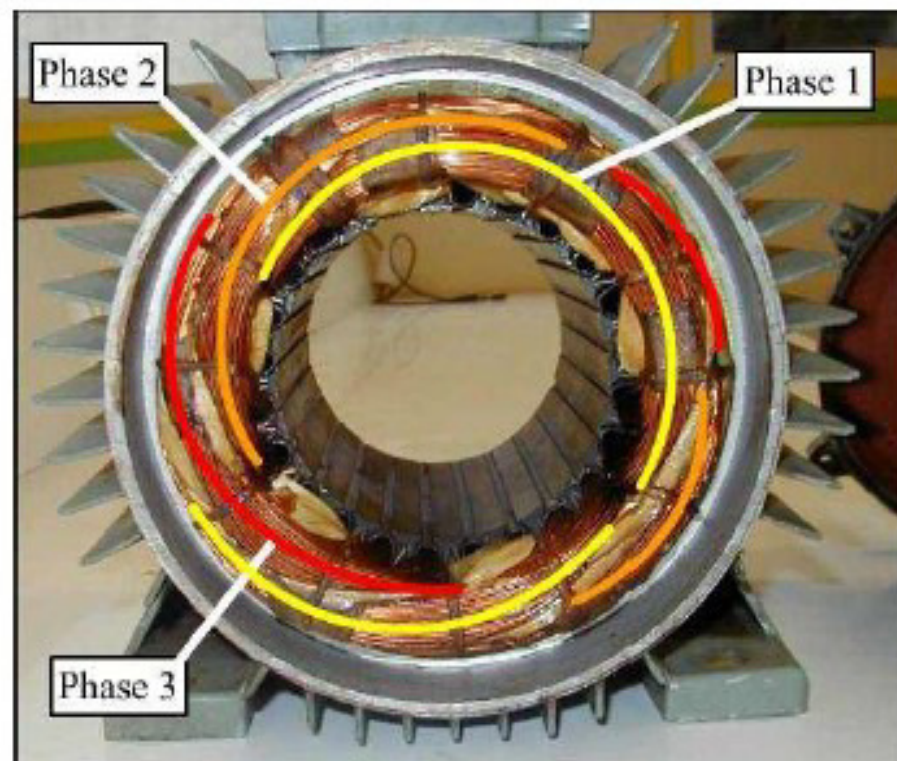
Pulsation d'alimentation  
( $\omega = 2\pi.f$ )  
en rad/s

Nombre de paires  
de pôles

Le schéma ci-contre montre le principe de création d'un champ tournant à une paire de pôle (un seul champ :  $p=1$ )

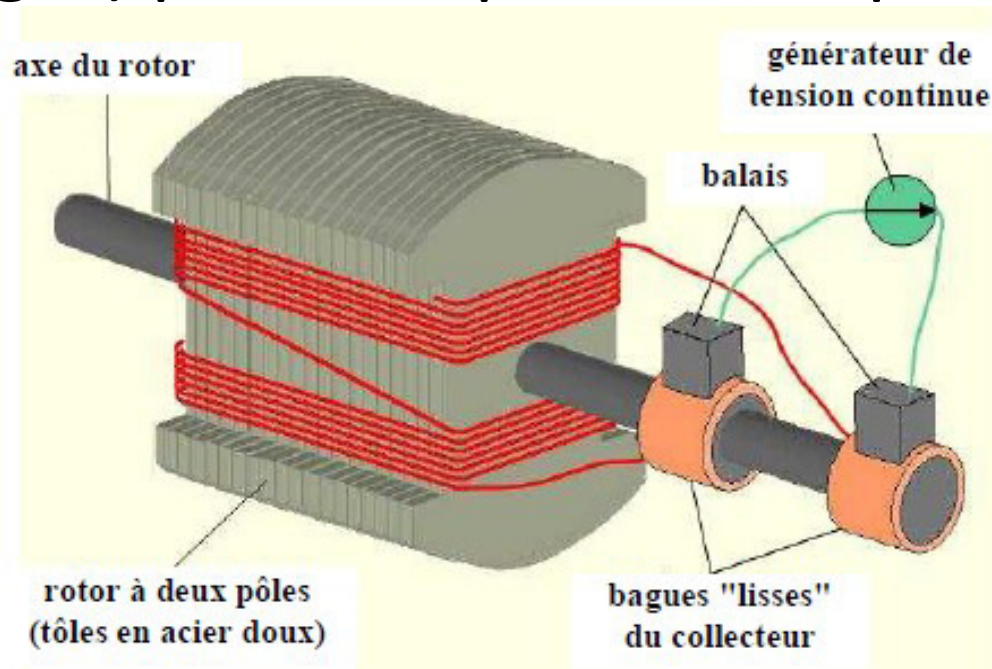


L'image ci-contre représente les bobinages d'un stator de machine synchrone triphasée à 2 pôles ( $p = 1$ )



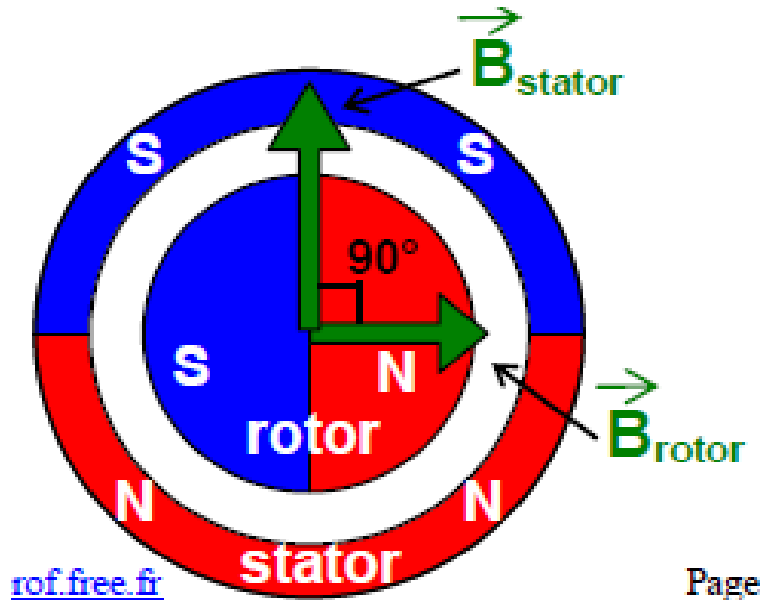
- **b/ Constitution du rotor**

- Le rotor produit un champ magnétique fixe par rapport à lui-même.
- Il est donc composé d'aimants permanents pour des faibles puissances et d'électroaimants (bobinages) pour des puissances plus élevées



- **Le bobinage rotorique est alimenté en courant continu,**
  - -la pulsation du courant rotorique  $\omega_R$  est nulle, de même pour la vitesse  $\Omega_R$ .
  - -Alors :  $\Omega_s = \Omega$ , le rotor tourne à la vitesse de synchronisme  $\Omega_s$ .
- **Le moteur est synchrone.**

- **c/ Principe de fonctionnement**
- -Le champ rotorique  $B_R$  "s'accroche" au champ tournant statorique  $B_S$ .
- -Le rotor tourne donc à la vitesse  $\Omega_s$  du champ tournant (synchronisme).
- -L'angle  $\varphi$  entre  $B_R$  et  $B_S$  va donc augmenter avec le couple (valeur limite de  $90^\circ$ ).



- Le **couple mécanique** est **maximum** lorsque le champ inducteur  **$\vec{B}_{\text{stator}}$**  est **perpendiculaire** au champ induit  **$\vec{B}_{\text{rotor}}$** .

## 7.2 Le moteur à courant alternatif asynchrone triphasé

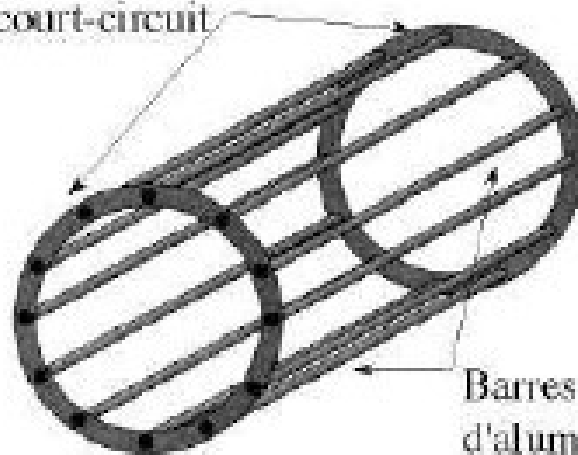
- **a/ Champ magnétique tournant (stator)**
- Le principe de fonctionnement du moteur asynchrone repose sur la création d'un champ magnétique tournant.
- Le stator sera donc identique à celui d'un moteur synchrone.

- **b/ Constitution du rotor**

- Le rotor n'est lié à aucune source d'alimentation. Il est constitué de bobinages en court circuit.
- il s'agit de barres de cuivre ou d'aluminium reliées aux extrémités par deux anneaux conducteurs (court-circuit). Le tout est noyé dans un empilement de tôles.



Anneaux de  
court-circuit



Barres de cuivre ou  
d'aluminium sièges  
des courants induits

- **c/ Principe de fonctionnement**

- -Le champ tournant statorique  $B_s$  (vitesse  $\Omega_s$ ) provoque des **courants induits** dans le rotor.
- -Les **courants induits** du rotor créent un champ rotorique  $B_R$  qui va interagir avec le champ statorique  $B_s$  et provoquer la rotation du rotor à une vitesse  $\Omega_R$  légèrement inférieure à  $\Omega_s$ .

- **Le bobinage rotorique est polyphasé,**
- la condition de fréquence indique que :
- $\omega_R \neq 0$  donc  $\Omega_s \neq \Omega$

➤ **Le moteur est asynchrone**