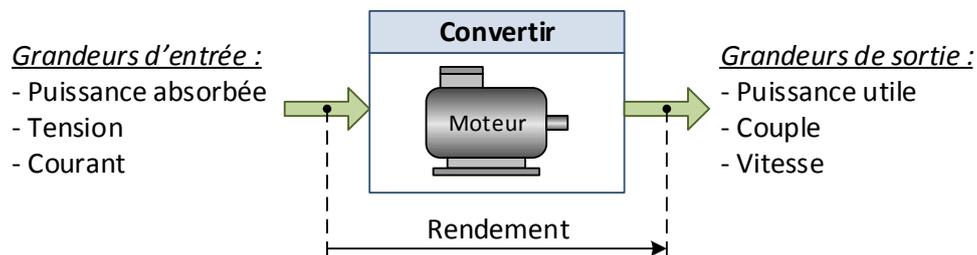


## MOTEURS ELECTRIQUES

### 1. Introduction

Les moteurs électriques assure la fonction convertir de la chaîne d'énergie. Ils convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique. A ce titre, un moteur électrique doit être abordé selon deux points de vue énergétiques :

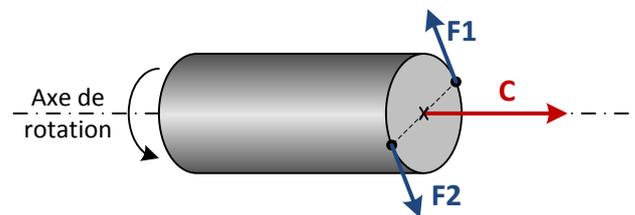
- L'énergie mécanique fournie.
- L'énergie électrique consommée.



### 2. Les grandeurs de sortie

#### 2.1. Couple (C ou T)

C'est l'effort en rotation appliqué à un axe. Il est ainsi nommé en raison de la façon caractéristique dont on obtient ce type d'action : un bras qui tire (F1), un bras qui pousse (F2), les deux forces étant égales et opposées.



#### 2.2. Vitesse (angulaire ou de rotation)

C'est la vitesse à laquelle tourne l'arbre du moteur. On utilise différentes notations :

- $\Omega$  : vitesse angulaire en rad/s
- $n$  : vitesse de rotation du rotor en tr/s
- $N$  : vitesse de rotation du rotor en tr/min

#### 2.3. Puissance utile (Pu)

C'est la puissance mécanique fournie par le moteur sur son arbre. C'est la valeur nominale de cette puissance que précisent les fabricants de moteurs.

La puissance mécanique est le produit du couple par la vitesse angulaire :

$$P = C \times \Omega$$

*Avec :*

$P$  : puissance mécanique en watt (W)

$C$  : couple en newton-mètre (N.m)

$\Omega$  : vitesse angulaire en radians par seconde (rad/s)

### 3. Principaux type de moteurs électriques

---

Il existe de nombreux types de moteurs. Tous sont composés d'un rotor (partie tournante) et d'un stator (partie fixe). Les principaux sont exposés ici.

#### 3.1. Moteurs asynchrone

---

Ces moteurs représentent 80% des moteurs électriques, ce qui est dû à leur simplicité de construction et la facilité de démarrage. Le moteur asynchrone est une machine électrique à courant alternatif.

Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas proportionnelle à la fréquence des courants qui traversent le stator.

Ces moteurs sont généralement triphasés. Cependant, pour de faible puissance, il en existe qui fonctionnent en monophasé (appareils ménagers par exemple).



#### 3.2. Moteurs synchrone

---

Les moteurs synchrones sont assez similaires aux moteurs asynchrones, que ce soit sur leur composition ou sur leur principe de fonctionnement. La principale différence est que pour le moteur synchrone, la vitesse du rotor est proportionnelle à la fréquence du courant triphasé qui alimente le stator.



#### 3.3. Moteurs à courant continu

---

L'avantage principal des moteurs à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation.

L'alimentation principale se faisant par le rotor, il en résulte une usure au niveau de cette connexion (balais).



#### 3.4. Moteurs brushless

---

Le moteur brushless ou « sans balai » est une machine électrique de la catégorie des machines synchrones. Vu de l'extérieur, il fonctionne en courant continu.

Ces moteurs n'ont pas le problème d'usure des balais des moteurs à courant continu.



## 4. La machine asynchrone

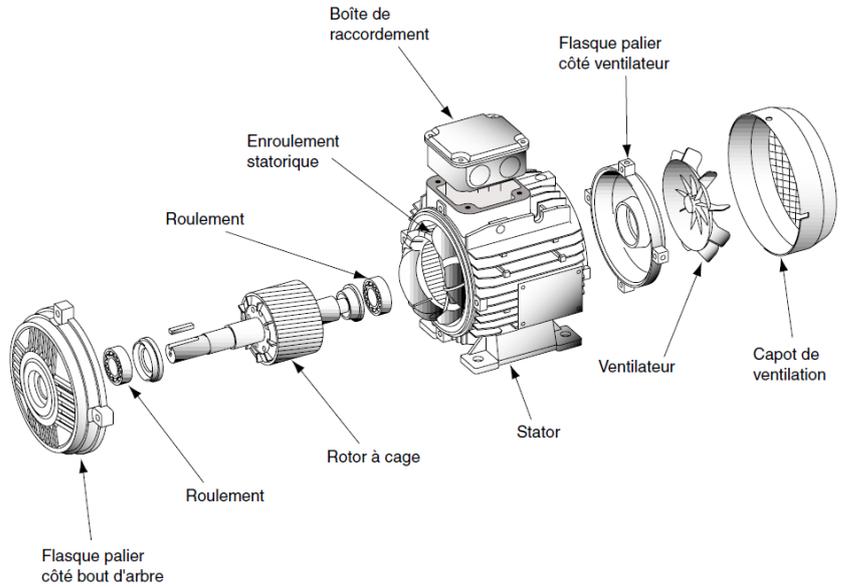
Ces moteurs représentant 80% des moteurs électriques, nous allons étudier plus spécifiquement ces derniers.

### 4.1. Constitution

Comme toutes les machines électriques tournantes, un moteur asynchrone comporte un circuit magnétique en deux parties : le **stator** et le **rotor**.



Le stator est la partie fixe du moteur alors que le rotor est la partie tournante.



### 4.2. Principe de fonctionnement

Les trois enroulements statoriques, alimentés en triphasé, créent un champ électromagnétique qui tourne à la fréquence de la tension d'alimentation. Ce champ tournant entraîne le rotor en rotation à une vitesse légèrement inférieure (glissement). Si le rotor tournait à la même vitesse que le champ (synchronisme) il n'y aurait pas de forces électromagnétiques et par conséquent pas de rotation. C'est pour cette raison que l'on parle de **MOTEUR ASYNCHRONE**.

↳ **Vitesse de synchronisme** : Il est possible de trouver la vitesse de synchronisme  $n_s$  qui dépend du nombre de paire de pôle  $p$  et de la fréquence du réseau d'alimentation  $f$  :

$$n_s = \frac{f}{p}$$

$n_s$  : vitesse de synchronisme en tr/s  
 $f$  : fréquence du réseau  
 $p$  : nombre de paire de pôles au stator

↳ **Glissement** : Le glissement correspond à la différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique exprimée sous la forme d'un pourcentage de la fréquence de rotation :

$$g = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$g$  : glissement  
 $n_s$  : vitesse de synchronisme en tr/s  
 $n$  : vitesse de rotation du moteur en tr/s

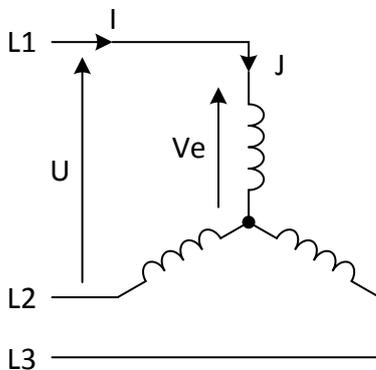
### 4.3. Raccordement d'un moteur asynchrone sur le réseau

#### 4.3.1. Couplage du stator

Pour fonctionner à ses caractéristiques nominales, un moteur asynchrone doit être raccordé au réseau d'alimentation triphasé de façon à ce que les enroulements statoriques soient alimentés sous la tension pour laquelle ils sont prévus. Il existe seulement deux possibilités pour raccorder les trois enroulements du stator sur un réseau triphasé.

▪ Le couplage ETOILE (Y) :

Les trois enroulements ont une liaison commune. Chaque enroulement est alimenté entre ce point commun (neutre fictif) et une phase.



La tension aux bornes d'un enroulement est :

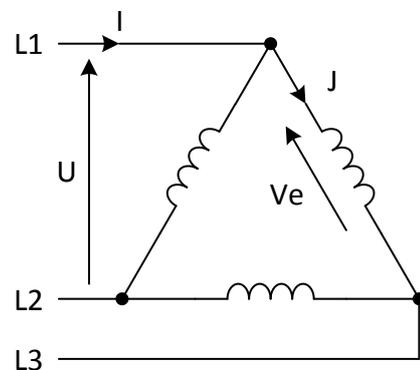
$$V_e = \frac{U}{\sqrt{3}} (= V)$$

Le courant dans un enroulement est :

$$J = I$$

▪ Le couplage TRIANGLE ( $\Delta$ ) :

Chaque enroulement est alimenté entre deux phases.



La tension aux bornes d'un enroulement est :

$$V_e = U$$

Le courant dans un enroulement est :

$$J = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

Avec :

U : tension composée du réseau (en V)

I : courant en ligne circulant dans chaque phase du réseau (en A)

Ve : tension nominale supportée par un enroulement (en V)

J : Courant nominal supportée par un enrouement (en A)

Ve et J sont les plus petites valeurs indiquées sur les plaques signalétiques des moteurs asynchrones.

#### 4.3.2. Choix du couplage

Le choix du couplage dépend :

- ↳ de la tension nominale d'un enroulement du moteur  $V_e$ ,
- ↳ de la tension composée du réseau triphasé U.

Pour le moteur, la plus petite des deux tensions indiquées sur sa plaque signalétique, représente la valeur de la tension nominale d'un enroulement. Pour choisir le couplage à réaliser, il faut donc veiller à ce que soit appliqué sur cet enroulement la même tension.

▪ Exemple de détermination d'un couplage n°1 :

- ① On lit sur la plaque signalétique du moteur les tensions **230 / 400 V** → la tension nominale d'un enroulement est  **$V_e = 230 V$** .
- ② On sait que le réseau est un réseau 230 / **400 V** → la tension composée du réseau est  **$U = 400 V$** .
- ③ Conclusion :  **$V_e = \frac{U}{\sqrt{3}}$**  → donc le couplage doit être **ETOILE**.
- ④ On lit sur la plaque signalétique du moteur les courants **1,7 / 2,9 A** → le courant nominal d'un enroulement est  **$J = 1,7 A$** . Pour un couplage étoile  **$J = I$**  → le courant en ligne consommé par le moteur est  **$I = 1,7 A$** .

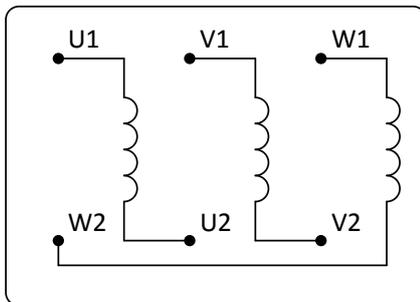
▪ Exemple de détermination d'un couplage n°2 :

- ① On lit sur la plaque signalétique du moteur les tensions **400 / 690 V** → la tension nominale d'un enroulement est  **$V_e = 400 V$** .
- ② On sait que le réseau est un réseau 3 × **400 V** → la tension composée du réseau est  **$U = 400 V$** .
- ③ Conclusion :  **$V_e = U$**  → donc le couplage doit être **TRIANGLE**.
- ④ On lit sur la plaque signalétique du moteur les courants **1,7 / 2,9 A** → le courant nominal d'un enroulement est  **$J = 1,7 A$** . Pour un couplage étoile  **$I = J \times \sqrt{3}$**  → le courant en ligne consommé par le moteur est  **$I = 2,9 A$** .

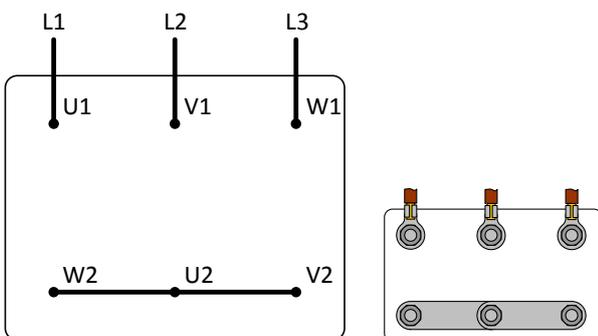
**4.3.3. Plaque à bornes**

Elle comporte 6 bornes (2 par enroulements).

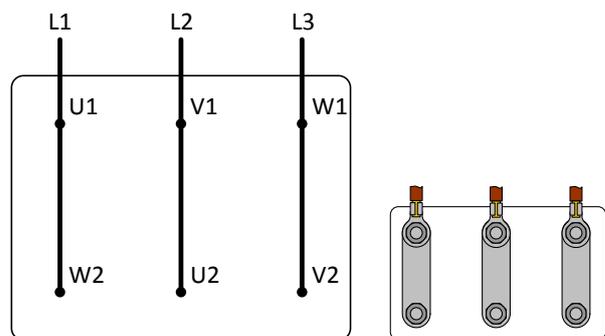
▪ Schéma de branchement des enroulements :



▪ Montage ETOILE :



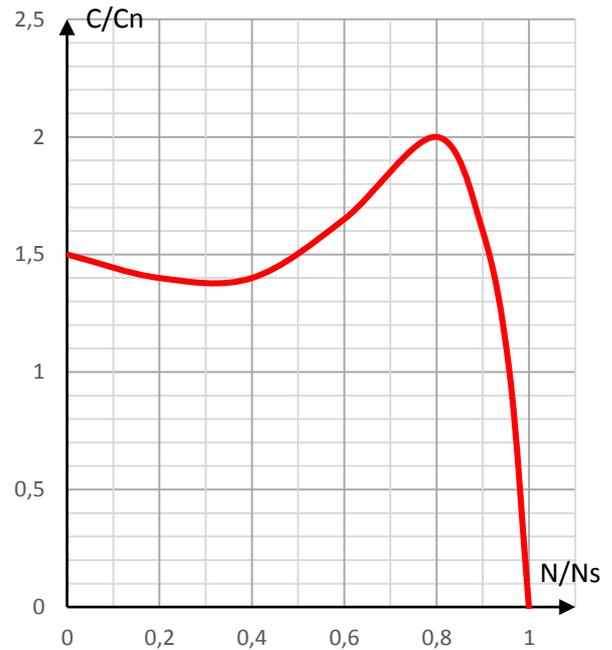
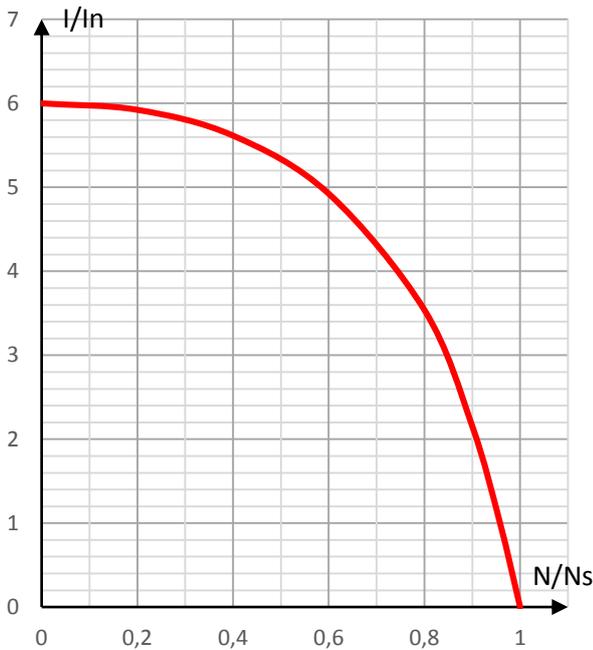
▪ Montage TRIANGLE :



### 4.4. Démarrage des moteurs asynchrones triphasés

#### 4.4.1. Démarrage direct

- **Principe :** Les enroulements du stator sont couplés directement sur le réseau, le moteur démarre et atteint sa vitesse nominale; c'est le procédé le plus simple.
- **Caractéristiques :**



**Intensité :** La courbe  $I = f(N)$  indique une surintensité de 4 à 8 fois l'intensité nominale au moment du démarrage ( $I_d = 4 \text{ à } 8 I_n$ ).

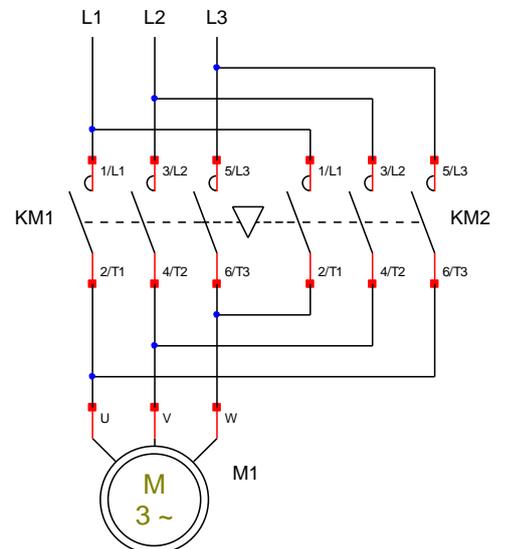
**Couple :** Au moment du démarrage, le couple moteur est en moyenne de 0,5 à 1,5 le couple nominal ( $C_d = 0,5 \text{ à } 1,5 C_n$ ).

- **Avantages :**
  - Appareillage simple.
  - Couple énergétique.
- **Inconvénients :**
  - Appel de courant important au démarrage.
  - Démarrage brutal.

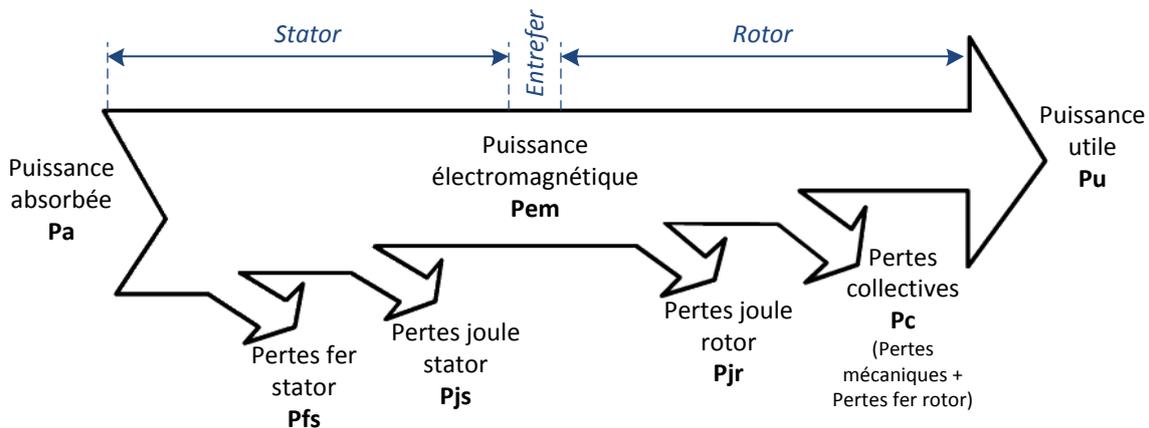
#### 4.4.1. Démarrage direct à deux sens de rotation

Un moteur électrique possède deux sens de rotation. L'inversion du sens de rotation se réalise en inversant deux conducteurs de phase, le troisième restant inchangé.

Ci-contre, les phases 1 et 3 sont permutées, la phase 2 reste inchangée.



## 4.5. Bilan de puissance d'une machine asynchrone



### 4.5.1. Puissance et couple transmis au rotor

↳ La puissance transmise au rotor  $P_{em}$  est égale à la puissance absorbée par le moteur diminuée des pertes du stator :

$$P_{em} = P_a - P_{fs} - P_{js}$$

- Les pertes fer stator  $P_{fs}$  sont les pertes dans le circuit magnétique (dus aux phénomènes d'hystérésis, aux courants de Foucault et aux fuites de flux) qui dépendent de la tension d'alimentation et de la fréquence.
- Les pertes joule stator  $P_{js}$  sont les pertes par effet Joule dans les conducteurs des bobinages.

↳ Le couple électromagnétique  $C_{em}$  (en Nm) est égal au rapport de la puissance électromagnétique  $P_{em}$  (en W) par la vitesse angulaire du champ tournant  $\Omega_s$  (en rad/s) :

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega_s}$$

### 4.5.2. Pertes rotoriques

↳ Les pertes joule rotor  $P_{jr}$  sont les pertes par effet Joule dans le rotor. Le courant dans le rotor résultant de la différence entre la vitesse angulaire du champ tournant et la vitesse angulaire du rotor, nous pouvons faire une bonne évaluation de ces pertes en utilisant le glissement  $g$  :

$$P_{jr} = g \cdot P_{em}$$

↳ Les pertes collectives  $P_c$  regroupent les pertes mécaniques et les pertes fer rotor. Ces dernières dépendent principalement de la fréquence de rotation du rotor, c'est pourquoi il est habituel de les déterminer ensemble. On peut alors estimer les pertes collectives  $P_c$  à partir des la puissance absorbée par le moteur à vide :

$$P_c = P_0 - P_{js}$$

- Les pertes mécanique  $P_m$  résultent des différents frottements (aérodynamique, roulements, ventilation).
- Les pertes fer rotor  $P_{fr}$  sont les pertes dans le circuit magnétique du rotor. Ces pertes dépendent de la qualité du circuit magnétique rotorique.