

# LE MOTEUR ASYNCHRON

## I-PRÉSENTATION :

Un champ magnétique tournant produit la rotation d'un disque métallique tournant à une fréquence de rotation inférieure à celle du champ : sa rotation est asynchrone (décalé).

### a- Le stator :

Il est constitué de trois enroulements alimentés par des tensions triphasées de fréquence "f" qui produisent ainsi un champ magnétique tournant  $\vec{B}$  à la fréquence de rotation "  $n_s$  ", appelée fréquence de synchronisme :

$n_s = \frac{f}{p}$	$n_s$	La fréquence de rotation du champ $\vec{B}$ en tours par seconde (tr/s) (fréquence de synchronisme)
	$f$	La fréquence des tensions d'alimentation en Hertz (Hz)
	$p$	Le nombre de paires de pôles du rotor

Une autre relation se déduit de la précédente :

$\Omega_s = 2\pi \cdot n_s = 2\pi \cdot \frac{f}{p}$	$\Omega_s$	La vitesse angulaire du champ $\vec{B}$ , en radians par seconde (rad/s)
--	------------	--

### b- Le rotor :

La fréquence de rotation du rotor est appelée "  $n$  ", il tourne moins vite que le champ tournant du stator, l'enroulement rotorique n'est relié à aucune source extérieure. Les seuls courants qui le traversent sont les courants de Foucault induits par la rotation du champ statorique.

➤ **Rotor à cage d'écureuil** : Il est constitué de barres métalliques identiques dont les extrémités sont réunies entre elles par des couronnes métalliques peu résistives. L'ensemble présente une résistance électrique très faible, on dit que le rotor est en court-circuit.

➤ **Rotor bobiné** : Les tôles de ce rotor sont munies d'encoches où sont placés des conducteurs formant un bobinage le plus souvent triphasé, trois bagues et trois balais sont prévus pour accéder à ces enroulements, permettant de modifier certaines des caractéristiques électriques du circuit rotorique.

### c- Association entre le rotor et le stator :

Si la fréquence des tensions d'alimentation est égale à 50 Hz, la relation entre  $n_s$  en tr/min, et  $p$  le nombre de paires de pôles peut s'écrire :

$n_s' = \frac{3000}{p}$	$n_s'$	La fréquence de rotation du champ $\vec{B}$ en tours par minute tr/min
	$p$	Le nombre de paires de pôles du rotor

Sachant que,  $n$ , la fréquence du rotor, donc du moteur, est très légèrement inférieure à celle du champ tournant,  $n_s$ , la relation ci-dessus permet de donner très rapidement le nombre de paires de pôles ainsi que la fréquence de synchronisme lorsque la fréquence de rotation du moteur est connue, en complétant le tableau suivant.

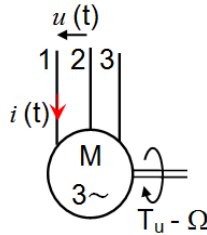
La fréquence de rotation du moteur est de 980 tr/min, la fréquence du réseau est de 50 Hz, ainsi :

Paaires de pôles ( $p$ )	1	2	3	4	6
Nombre de pôles	2	4	6	8	12
$n_s$ (tr/min)	3000	1500	1000	750	500

Dans l'exemple proposé, la fréquence de synchronisme "  $n_s$  " est de 1000 tr/min et le nombre de pôles est de 6.

Un tableau du même genre peut être adapté avec une quelconque fréquence du réseau.

### d- Le Symbole :



### e- Le glissement :

Le rotor tourne à la fréquence de rotation  $n$ , il tourne moins vite que le champ tournant qui lui tourne à la fréquence de rotation  $n_s$ . La différence  $\Delta n$  entre ces deux fréquences de rotation est donnée par la relation :

$\Delta n = n_s - n$	$\Delta n$	La fréquence de rotation du glissement en tours par seconde (tr/s)
	$n_s$	La fréquence de rotation du champ $\vec{B}$ en tours par seconde (tr/s)
	$n$	La fréquence de rotation du rotor en tours par seconde (tr/s)

On appelle glissement d'un moteur asynchrone le rapport entre la **fréquence de glissement** ( $\Delta n$ ) et la **fréquence de synchronisme** ( $n_s$ ):

$g = \frac{\Delta n}{n_s} = \frac{n_s - n}{n_s}$	$g$	Le glissement du moteur asynchrone en pourcentage
	$n_s$	La fréquence de rotation du champ $\vec{B}$ en tours par seconde (tr/s)
	$n$	La fréquence de rotation du rotor en tours par seconde (tr/s)

## II- LA PLAQUE SIGNALÉTIQUE - LE COUPLAGE :

La plaque signalétique d'un moteur asynchrone (moteur électrique) est la carte d'identité du moteur délivrée et certifiée par le constructeur. Le moteur asynchrone d'induction possède un fort couple de démarrage, mais il a l'inconvénient d'absorber de 4 à 8 fois son intensité nominale. Pour réduire cet appel de courant on dispose de différents procédés de démarrage.

Elle contient donc les caractéristiques nominales électriques du moteur (voir ci-dessous).

**TYPE :** (LS90Lz)  
Référence propre au constructeur.

**PUISSANCE :** (1,5kW)  
Puissance utile délivrée sur l'arbre moteur.

**VITESSE :** (1440 tr/min)  
Vitesse nominale du rotor.

**FRÉQUENCE :** (50 Hz)  
Fréquence du réseau d'alimentation.

**NOMBRE DE PHASES :** (3)  
3 pour un moteur triphasé.

**FACTEUR DE PUISSANCE :** ( $\cos \phi = 0,78$ )  
Permet le calcul de la puissance réactive consommée par le moteur.

**TENSION :** (230V/400V)  
- La première indique la valeur nominale de la tension aux bornes d'un enroulement (couplage  $\Delta$ ).  
- La seconde indique la valeur nominale de la tension aux bornes de 2 enroulements (couplage  $\lambda$  ou Y).  
Elle justifie le couplage (étoile Y ou triangle  $\Delta$ ) à effectuer en fonction du réseau d'alimentation.

**INTENSITÉS :** (6,65A/3,84A)  
Elles représentent l'intensité absorbée par le moteur pour chacun des couplages.

**RENDEMENT :** ( $rd\% = 76$ )  
Permet de connaître la puissance électrique consommée (absorbée).

**SERVICE :** (S1)  
Définit le type d'utilisation du moteur (marche) continu, intermittent...

Moteur asynchrone triphasé

- Puissance = 1.5 KW
- Si le réseau est 230V entre phases  $\Rightarrow$  couplage triangle et  $I = 6.65A$
- N= 1440 tr/min
- Si le réseau est 400V entre phases  $\Rightarrow$  couplage étoile et  $I = 3.84A$

Le **couplage** d'un moteur asynchrone peut être **triangle**, **étoile**, ou impossible selon la tension réseau et la tension nominale du moteur.

En **couplage triangle**, chaque enroulement du moteur asynchrone voit directement la tension appliquée. En **couplage étoile**, chaque enroulement voit une tension réduite (divisée  $\sqrt{3}$ ).

**Le bon choix du couplage : Etoile ou Triangle :**

1- Quand la tension nominale du moteur égale la tension réseau, on choisit le **couplage étoile**.

**Exemple :** Plaque du moteur 230V/400V sur le réseau 230V/400V : **couplage étoile**.

Ici, la tension est de 400V entre phases. Or chaque enroulement a besoin de 230V pour fonctionner. On choisit donc le **couplage étoile**. Si on utilisait le couplage triangle, chaque enroulement subirait 400V à ses bornes et serait détruit.

On peut retenir : **Tensions moteur = Tensions réseau  $\Rightarrow$  couplage étoile**

2- Quand la plus **petite** tension nominale du moteur asynchrone est égale à la plus **grande** tension réseau (donc la tension entre phases), on choisit le **couplage triangle**.

**Exemple :** moteur 230V/400V sur réseau 127V/230V : **couplage triangle**.

Ici, la tension est de 230V entre phases. Or chaque enroulement a besoin de 230V pour fonctionner. On choisit donc le **couplage triangle**.

On peut retenir : **Petite Tensions moteur = Grande Tensions réseau  $\Rightarrow$  couplage triangle**

Il reste 2 cas de couplage impossible :

3- Quand la plus **grande** tension nominale du moteur asynchrone est égale à la plus **petite** tension réseau (donc la tension entre phases), aucun couplage n'est possible.

On ne peut pas utiliser ce moteur asynchrone.

**Exemple :** moteur 230V/400V sur réseau 400V/690V : couplage impossible

On peut retenir : Grande **Tension moteur** = Petite **Tension réseau  $\Rightarrow$  couplage impossible**

4- Quand aucune tension n'est commune, aucun couplage n'est possible.

**Exemple :** moteur 127V/230V sur réseau 400V/690V : couplage impossible (moteur détruit !).

On peut retenir : Aucune tension commune  $\Rightarrow$  **couplage impossible**

La relation entre les valeurs efficaces de ces deux tensions est :

$U = V\sqrt{3}$	U	La valeur efficace de la tension composée $u(t)$ en volts (V)
	V	La valeur efficace de la tension simple $v(t)$ en volts (V)

**Remarque :** Pour le réseau :

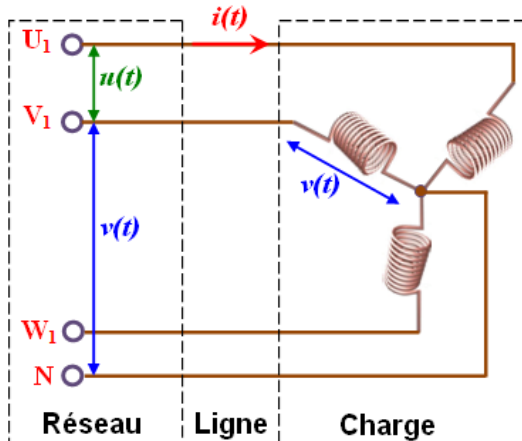
- Si deux tensions sont mentionnées, il s'agit :  
des *valeurs efficaces* V de la *tension simple*  $v(t)$  et U de la *tension composée*  $u(t)$ .
- Si une seule tension est indiquée il s'agit :  
de la *valeur efficace* U de la *tension composée*  $u(t)$ .

**Compléter** les deux tableaux des couplages du moteur asynchrone

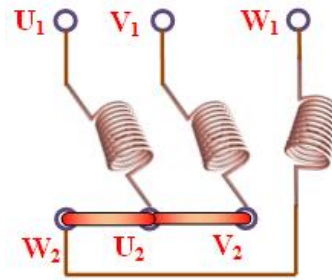
Réseau \ Moteur	127V / 230V	230V / 400V	380V / 690V
127V / 230V	.....	.....	.....
230V / 400V	.....	.....	.....
400V / 690V	.....	.....	.....

Moteur	127V / 230V		230V / 400V		400V / 690V	
Réseau	73V / 127V	127V / 230V	127V / 230V	230V / 400V	230V / 400V	400V / 690V
Couplage	.....	.....	.....	.....	.....	.....

a- Le couplage en étoile :



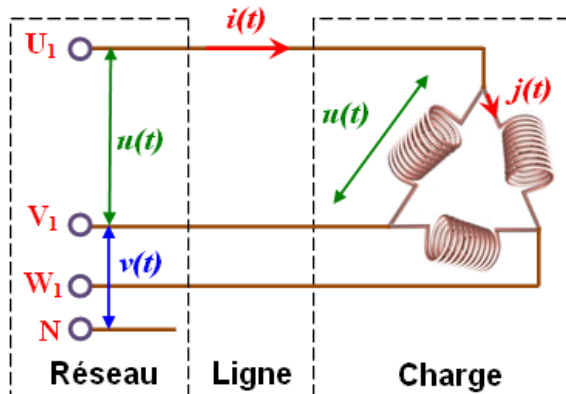
Couplage en étoile



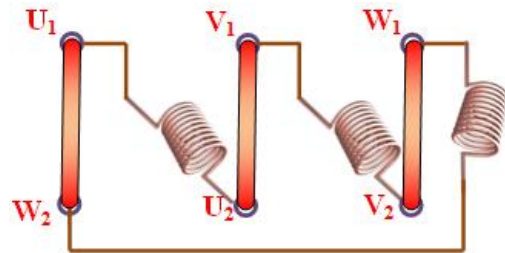
Câblage du stator

Dans un couplage en étoile, chaque enroulement est soumis à la *tension simple*  $v(t)$ , tension entre phase et neutre. Chaque enroulement est traversé par le *courant de ligne*  $i(t)$ .

b- Le couplage en triangle :



Couplage en triangle



Câblage du stator

Dans un couplage en triangle, chaque enroulement est soumis à la *tension composée*  $u(t)$ , tension entre deux phases. Chaque enroulement est traversé par le *courant*  $j(t)$  de *valeur efficace*  $J$ , ce courant n'a de raison d'être que pour ce type de couplage.

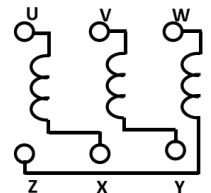
La relation entre les valeurs efficaces de ces deux courants est :

$I = J\sqrt{3}$	$I$	La <i>valeur efficace</i> du <i>courant de ligne</i> $i(t)$ en ampères (A)
	$J$	La <i>valeur efficace</i> du <i>courant</i> $j(t)$ dans un enroulement dans le cas d'un couplage en triangle, en ampères (A)

1- Préciser le couplage des enroulements statoriques, sachant que le réseau électrique est triphasé de tensions 230V /400V, 50 Hz et la tension indiquée sur la plaque signalétique du moteur est de 230/400 V.

**Compléter** alors le couplage des enroulements statoriques du moteur en utilisant les barrettes.

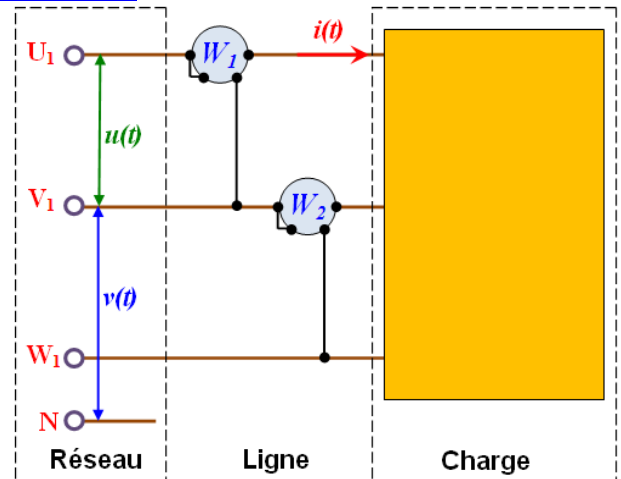
2- La plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé porte les indications suivantes : 400/690 V - 50 Hz. Le moteur fonctionne sur un réseau 3 x 400 V - 50 Hz.





### III- LA MESURE DE LA PUISSANCE ABSORBÉE :

Cette méthode reste identique que le couplage soit en **étoile** ou en **triangle**, il utilise deux wattmètres numériques qui doivent être branchés comme la montre la figure ci-contre :



Pour cette mesure le fil de neutre n'est jamais utilisé.

- Le premier wattmètre  $W_1$  indique une grandeur  $\mathcal{P}_1$
- Le second wattmètre  $W_2$  indique une grandeur  $\mathcal{P}_2$

#### a- La puissance active :

La puissance active  $\mathcal{P}_a$  absorbée par le moteur se calcule à partir des informations des wattmètres, en utilisant la relation suivante :

$\mathcal{P}_a = \mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_2$	$\mathcal{P}_a$	La puissance active absorbée en watts (W)
	$\mathcal{P}_1$	La lecture du premier wattmètre
	$\mathcal{P}_2$	La lecture du second wattmètre

$\mathcal{P}_1$  et  $\mathcal{P}_2$  sont les lectures des deux wattmètres, elles sont soit positives soit négatives.

Sachant que la puissance absorbée  $\mathcal{P}_a$  est une *puissance active*, elle est nécessairement positive.

Il est donc indispensable de donner à  $\mathcal{P}_1$  la valeur positive correspondant à la plus grande des deux indications en valeurs absolues. La valeur prise par  $\mathcal{P}_2$  sera l'indication de l'autre wattmètre, affublé du signe « plus » si les deux grandeurs étaient de même signe et du signe « moins » dans le cas contraire.

#### b- La puissance réactive :

La puissance réactive  $Q$  absorbée par le moteur se calcule à partir des informations des wattmètres, en utilisant la relation suivante :

$Q = \sqrt{3} \cdot (\mathcal{P}_1 - \mathcal{P}_2)$	$Q$	La puissance réactive absorbée en vars (V.A.R) V.A.R : Volts Ampères Réactifs
	$\mathcal{P}_1$	La lecture du premier wattmètre
	$\mathcal{P}_2$	La lecture du second wattmètre

#### c- La puissance apparente :

La puissance apparente  $S$  du moteur peut se déduire des deux calculs précédents par la relation :

$S = \sqrt{\mathcal{P}_a^2 + Q^2}$	$S$	La puissance apparente du moteur en V.A (V.A) V.A : Volts Ampères
	$\mathcal{P}_a$	La puissance active absorbée en watts (W)
	$Q$	La puissance réactive absorbée en vars (V.A.R)

#### d- Le facteur de puissance :

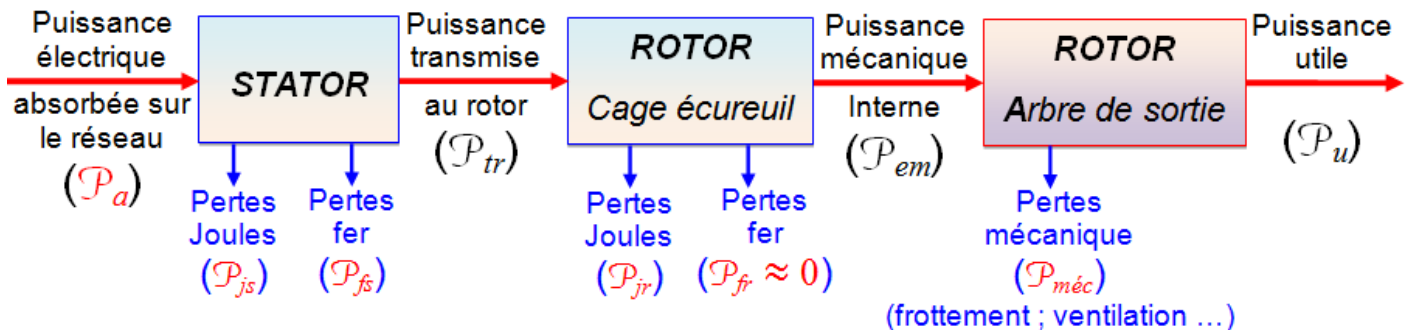
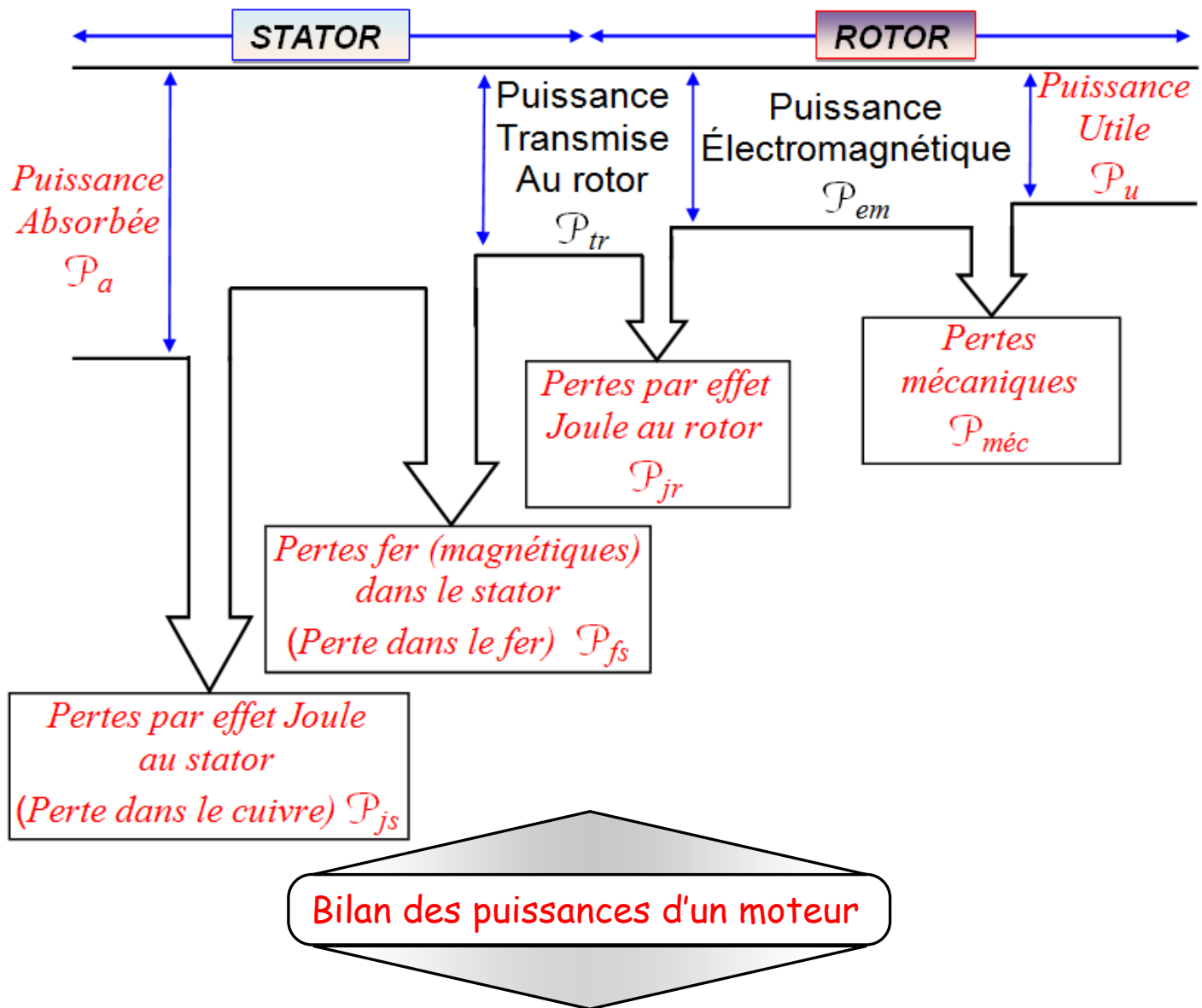
Le facteur de puissance  $\cos\varphi$  peut se déduire des deux calculs précédents par la relation :

$\cos\varphi = \frac{\mathcal{P}}{\sqrt{\mathcal{P}_a^2 + Q^2}}$	$\varphi$	L'angle de déphasage entre courant et tension en degrés (°)
	$\mathcal{P}_a$	La puissance active absorbée en watts (W)
	$Q$	La puissance réactive absorbée en vars (V.A.R)

#### IV- LE BILAN DES PUISSANCES :

Le bilan des puissances décline toutes les puissances, depuis la *puissance absorbée* d'origine électrique jusqu'à la *puissance utile* de nature *mécanique*.

Le bilan, peut être résumé à l'aide du schéma suivant :



Toutes les puissances mises en jeu dans ce bilan peuvent être calculées à partir des relations qui suivent. (

<b>STATOR</b>  $\mathcal{P}_a = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}$	$\mathcal{P}_a$	La puissance électrique absorbée en watts (W)
	$U$	La tension entre deux phases en volts (V)
	$I$	L'intensité du courant de ligne en ampères (A)
	$\varphi$	L'angle de déphasage entre courant et tension en degrés (°)
<b>1er cas</b> <span style="float: right;"><b>La résistance R est donnée entre deux bornes de phases</b></span>		
$\mathcal{P}_{js} = \frac{3}{2} R \cdot I^2$	$\mathcal{P}_{js}$	Les pertes par effet Joule dans le stator en watts (W)
	$R$	La résistance entre deux bornes de phases en ohms (Ω)
	$I^2$	L'intensité du courant de ligne en ampères² (A²)
<b>2ème cas</b> <span style="float: right;"><b>La résistance R' est celle d'un enroulement</b></span>		
<b>Couplage étoile</b> $\mathcal{P}_{js} = 3R' \cdot I^2$	$\mathcal{P}_{js}$	Les pertes par effet Joule dans le stator en watts (W)
	$R'$	La résistance d'un enroulement en ohms (Ω)
	$I^2$	L'intensité du courant de ligne en ampères² (A²)
<b>Couplage triangle</b> $\mathcal{P}_{js} = 3R' \cdot j^2 = R' \cdot I^2$	$\mathcal{P}_{js}$	Les pertes par effet Joule dans le stator en watts (W)
	$R'$	La résistance d'un enroulement en ohms (Ω)
	$j^2$	L'intensité du courant dans un enroulement en ampères² (A²)
$\mathcal{P}_{fs} = \mathcal{P}_{magnétiques}$	$\mathcal{P}_{fs}$	Les pertes dans le fer du stator en watts (W). Les pertes magnétiques, dans les tôles de l'armature du stator sont pratiquement indépendantes de la charge, elles sont liées à la valeur efficace $U$ et à la fréquence $f$ de la tension composée $u(t)$ . Pour un réseau donnée, ces pertes sont considérées comme <b>constantes</b> , elles sont données, ou calculées par un essai à vide
<b>STATOR</b>  $\mathcal{P}_{tr} = \mathcal{P}_a - \mathcal{P}_{js} - \mathcal{P}_{fs}$	$\mathcal{P}_{tr}$	La puissance transmise au rotor en watts (W)
	$\mathcal{P}_a$	La puissance électrique absorbée en watts (W)
	$\mathcal{P}_{js}$	Les pertes par effet Joule dans le stator en watts (W)
	$\mathcal{P}_{fs}$	Les pertes dans le fer du stator en watts (W)
$\mathcal{P}_{tr} = T \cdot \Omega_s$ <b>ROTOR</b>	$\mathcal{P}_{tr}$	La puissance transmise au rotor en watts (W)
	$T$	Le moment du couple transmis au rotor en Newton-mètres (Nm)
	$\Omega_s$	La vitesse angulaire du champ $\vec{B}$ en radians par seconde (rad/s)
<b>ROTOR</b>  $\mathcal{P}_{jr} = g \cdot \mathcal{P}_{tr}$	$\mathcal{P}_{jr}$	Les pertes par effet Joule dans le rotor en watts (W)
	$g$	Le glissement du moteur asynchrone [sans unités]
	$\mathcal{P}_{tr}$	La puissance transmise au rotor en watts (W)
$\mathcal{P}_{fr} = 0$	$\mathcal{P}_{fr}$	Les pertes dans le fer du rotor en watts (W). Le rotor est également le siège d'un autre type de pertes. Les pertes fer ou magnétiques. Cependant ces pertes seront toujours <i>négligées</i> devant les autres, la fréquence des courants étant très faible.
$\mathcal{P}_{em} = \mathcal{P}_r = \mathcal{P}_{tr} - \mathcal{P}_{jr}$	$\mathcal{P}_{em}$	La puissance électromagnétique (disponible au rotor) en (W)
	$\mathcal{P}_{tr}$	La puissance transmise au rotor en watts (W)
	$\mathcal{P}_{jr}$	Les pertes par effet Joule dans le rotor en watts (W)
$\mathcal{P}_{em} = \mathcal{P}_r = T \cdot \Omega$ $= \mathcal{P}_{tr} \cdot (1 - g)$	$\mathcal{P}_{em}$	La puissance électromagnétique (disponible au rotor) en (W)
	$T$	Le moment du couple transmis au rotor en Newton-mètres (Nm)
	$\Omega$	La vitesse angulaire du rotor en radians par seconde (rad/s)
$\mathcal{P}_{mec}$ Très souvent : $(\mathcal{P}_{mec} = \mathcal{P}_{fs})$	$\mathcal{P}_{mec}$	Les pertes mécaniques dans le rotor en watts (W). Ces pertes sont considérées comme <i>constantes</i> , elles sont données, ou calculées par un essai à vide. Très souvent elles sont <i>égales</i> aux pertes dans le fer du stator, la somme de ces deux types de pertes sera communément appelée les pertes constantes.
$\mathcal{P}_u = T_u \cdot \Omega$	$\mathcal{P}_u$	La puissance mécanique utile sur l'arbre du rotor en watts (W)
	$T_u$	Le moment du couple utile disponible en Newton-mètres (Nm)
	$\Omega$	La vitesse angulaire du rotor en radians par seconde (rad/s)

Le bilan met en évidence le fait que la puissance absorbée est obligatoirement la puissance la plus importante, elle ne cesse de diminuer en progressant vers la puissance utile qui est évidemment la plus faible, ainsi :

$\mathcal{P}_{tr} = \mathcal{P}_a - \mathcal{P}_{js} - \mathcal{P}_{fs}$	$\mathcal{P}_{tr}$	La puissance transmise au rotor en watts (W)
	$\mathcal{P}_a$	La puissance électrique absorbée en watts (W)
	$\mathcal{P}_{js}$	Les pertes par effet Joule dans le stator en watts (W)
	$\mathcal{P}_{fs}$	Les pertes dans le fer du stator en watts (W)
$\mathcal{P}_{em} = \mathcal{P}_{tr} - \mathcal{P}_{jr}$	$\mathcal{P}_{em}$	La puissance électromagnétique en watts (W)
	$\mathcal{P}_{tr}$	La puissance transmise au rotor en watts (W)
	$\mathcal{P}_{jr}$	Les pertes par effet Joule dans le rotor en watts (W)
$\mathcal{P}_u = \mathcal{P}_{em} - \mathcal{P}_{mec}$	$\mathcal{P}_u$	La puissance utile en watts (W)
	$\mathcal{P}_{em}$	La puissance électromagnétique en watts (W)
	$\mathcal{P}_{mec}$	Les pertes mécaniques dans le rotor en watts (W)
$\mathcal{P}_u = \mathcal{P}_a - \mathcal{P}_{js} - \mathcal{P}_{fs} - \mathcal{P}_{jr} - \mathcal{P}_{mec}$	$\mathcal{P}_u$	La puissance utile en watts (W)
	$\mathcal{P}_a$	La puissance électrique absorbée en watts (W)
	$\mathcal{P}_{js}$	Les pertes par effet Joule dans le stator en watts (W)
	$\mathcal{P}_{fs}$	Les pertes dans le fer du stator en watts (W)
	$\mathcal{P}_{jr}$	Les pertes par effet Joule dans le rotor en watts (W)
	$\mathcal{P}_{mec}$	Les pertes mécaniques dans le rotor en watts (W)

- Les pertes magnétiques dues à l'hystérésis et aux courants de Foucault se produisent uniquement dans les tôles du stator.
- Les pertes mécaniques dues aux frottements se situent au niveau des paliers du rotor.

Le rendement est le rapport entre la puissance mécanique utile et la puissance électrique absorbée par, d'où :

$\eta = \frac{\mathcal{P}_u}{\mathcal{P}_a}$	$\eta$	Rendement du moteur (sans unités)
	$\mathcal{P}_u$	La puissance utile en watts (W)
	$\mathcal{P}_a$	La puissance électrique absorbée en watts (W)

### V- L'ESSAI À VIDE :

- Nous dirons que le moteur fonctionne à vide s'il n'entraîne aucune charge sur son arbre.

L'indice «<sub>o</sub>» caractérise cet essai. Le couple utile à vide :  $T_{u0} = 0$

- La fréquence de rotation du rotor est notée  $n_0$ , elle est considérée comme identique à la fréquence de rotation  $n_s$  du champ tournant, les fréquences de rotation sont égales  $n_0 = n_s$

Toutes les puissances mises en jeu dans le bilan des puissances peuvent être recalculées dans le cas de l'essai à vide en tenant compte des deux relations précédentes.

#### Puissance absorbée à vide à vide

$\mathcal{P}_0 = U \cdot I_0 \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi_0$	$\mathcal{P}_0$	La puissance électrique absorbée à vide (en W)
	$U$	La tension entre deux phases (en V)
	$I_0$	L'intensité du courant de ligne à vide (en A)
	$\varphi_0$	L'angle de déphasage entre courant et tension à vide (en °)

#### Pertes par effet Joule dans le stator

- Si la résistance  $R$  est donnée entre deux bornes de phases

$\mathcal{P}_{js0} = \frac{3}{2} R \cdot I_0^2$	$\mathcal{P}_{js0}$	Les pertes par effet Joule à vide dans le stator (en W)
	$R$	La résistance entre deux bornes de phases (en $\Omega$ )
	$I_0^2$	L'intensité du courant de ligne à vide (en A <sup>2</sup> )



➤ Si la résistance  $R$  est la résistance d'un enroulement avec un **couplage en étoile**

$\mathcal{P}_{js0} = 3R' \cdot I_0^2$	$\mathcal{P}_{js0}$	Les pertes par effet Joule à vide dans le stator (en W)
	$R'$	La résistance d'un enroulement (en $\Omega$ )
	$I_0^2$	L'intensité du courant de ligne à vide (en A <sup>2</sup> )

➤ Si la résistance  $R$  est la résistance d'un enroulement avec un **couplage en triangle**

$\mathcal{P}_{js0} = 3R' \cdot J_0^2$	$\mathcal{P}_{js0}$	Les pertes par effet Joule à vide dans le stator (en W)
	$R'$	La résistance d'un enroulement (en $\Omega$ )
	$J_0^2$	L'intensité du courant dans un enroulement à vide (en A <sup>2</sup> )

Pertes magnétiques dans le stator à vide

$\mathcal{P}_{fs0} = \mathcal{P}_{fs}$	$\mathcal{P}_{fs0}$	Les pertes dans le fer à vide dans le stator (en W)
		Elles sont constantes donc identiques à vide et en charge

Puissance transmise au rotor à vide

$\mathcal{P}_{tr0} = \mathcal{P}_0 - \mathcal{P}_{js0} - \mathcal{P}_{fs}$	$\mathcal{P}_{tr0}$	La puissance transmise à vide au rotor (en W)
	$\mathcal{P}_0$	La puissance électrique absorbée à vide (en W)
	$\mathcal{P}_{js0}$	Les pertes par effet Joule à vide dans le stator (en W)
	$\mathcal{P}_{fs}$	Les pertes dans le fer du stator (en W)

Les pertes par effet joule à vide dans le rotor

$n_0 = n_s$	$n_s$	La fréquence de rotation du champ $\vec{B}$ (en tr/s)
	$n_0$	La fréquence de rotation à vide du rotor (en tr/s)

On rappelle que le **glissement à vide** d'un moteur asynchrone est donné par la relation :

$g_0 = \frac{n_s - n_0}{n_s}$	$g_0$	Le glissement du moteur asynchrone à vide (en %)
	$n_s$	La fréquence de rotation du champ $\vec{B}$ (en tr/s)
	$n_0$	La fréquence de rotation à vide du rotor (en tr/s)

Les deux relations précédentes donnent :  $g_0 = 0\%$  (Le glissement du moteur à vide est nul)

Ce qui donne : Les pertes par effet joule à vide dans le rotor sont nulles

$\mathcal{P}_{jr0} = g_0 \cdot \mathcal{P}_{tr0} = 0$	$\mathcal{P}_{jr0}$	Les pertes par effet Joule à vide dans le rotor (en W)
	$g_0$	Le glissement à vide du moteur asynchrone
	$\mathcal{P}_{tr0}$	La puissance transmise à vide au rotor (en W)

Les pertes mécaniques dans le stator à vide

$\mathcal{P}_{mec0} = \mathcal{P}_{mec}$	$\mathcal{P}_{mec}$	Les pertes mécaniques à vide dans le stator (en W)
		Elles sont constantes donc identiques à vide et en charge

Puissance utile à vide

$\mathcal{P}_{u0} = T_{u0} \cdot \Omega_0 = 0$	$\mathcal{P}_{u0}$	La puissance mécanique utile à vide sur l'arbre du rotor (en W)
	$T_{u0}$	Le moment du couple utile à vide (en Nm)
	$\Omega_0$	La vitesse angulaire du rotor à vide (en rad/s)

Car,  $T_{u0} = 0$  Le couple utile à vide est nul. Donc :  $\mathcal{P}_{u0} = 0$  (La puissance utile à vide est nulle)

Le bilan des puissances complet donne :

$\mathcal{P}_0 = \mathcal{P}_{js0} - \mathcal{P}_{fs0} - \mathcal{P}_{mec0}$ $= \mathcal{P}_{js0} - \mathcal{P}_{fs} - \mathcal{P}_{mec}$	$\mathcal{P}_0$	La puissance absorbée électrique à vide (en W)
	$\mathcal{P}_{js0}$	Les pertes par effet Joule à vide dans le stator (en W)
	$\mathcal{P}_{fs}$	Les pertes dans le fer du stator (en W)
	$\mathcal{P}_{mec}$	Les pertes mécaniques dans le rotor en watts (W)

La puissance absorbée à vide ( $\mathcal{P}_0$ ) se mesure aisément avec la méthode des deux wattmètres, Connaissant la résistance des enroulements du stator ( $R$ ), les pertes par effet Joule à vide ( $\mathcal{P}_{js0}$ ) sont facilement calculables.

La différence entre la puissance absorbée ( $\mathcal{P}_0$ ) et la puissance perdue par effet Joule ( $\mathcal{P}_{js0}$ ), donne les deux puissances restantes, c'est-à-dire les pertes magnétiques au niveau du stator ( $\mathcal{P}_{fs0}$ ) et les pertes mécaniques ( $\mathcal{P}_{mec0}$ ).

Plusieurs études sont possibles :

- Soient les pertes magnétiques dans le stator sont données, nous calculons alors la puissance absorbée, les pertes par effet joule dans le stator et nous en déduisons les pertes mécaniques.
- Soient les pertes mécaniques sont données, nous calculons la puissance absorbée, les pertes par effet joule dans le stator et nous en déduisons les pertes magnétiques dans le stator.
- Soit, le cas le plus fréquent, il est précisé que les pertes mécaniques et les pertes magnétiques dans le stator sont égales, nous calculons alors la puissance absorbée, les pertes par effet joule dans le stator et nous en déduisons les pertes mécaniques ainsi que les pertes magnétiques dans le stator.

## VI- L'ESSAI EN CHARGE :

### a- Le point de fonctionnement :

Le moteur est maintenant chargé, c'est-à-dire que l'arbre de ce dernier entraîne une charge résistante qui s'oppose au mouvement du rotor.

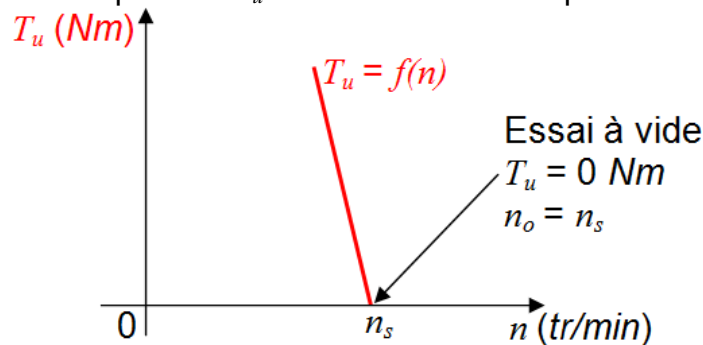
En régime permanent, ou régime établi, le couple utile  $T_u$  délivré par le moteur est égal au couple résistant  $T_R$  que lui oppose la charge mécanique :

En régime permanent :

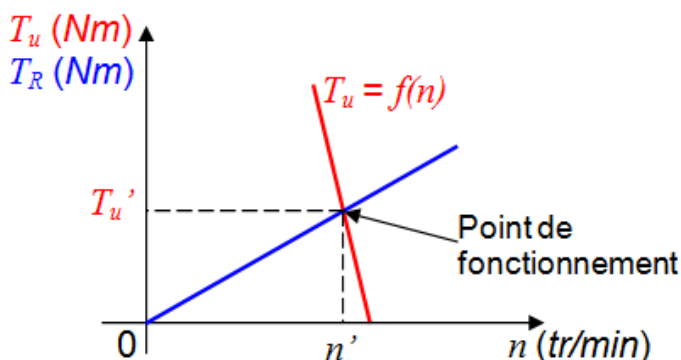
$T_u = T_R$	$T_u$	Le couple utile délivré par le moteur (en Nm)
	$T_R$	Le couple résistant de la charge (en Nm)

Sur sa partie utile, la caractéristique mécanique est un segment de droite. Pour la tracer, il suffit de deux points. Le premier est généralement donné par l'étude d'un cas précis, le second se déduit de l'essai à vide. Dans cet essai, le couple utile est nul, il est associé à une fréquence de rotation considérée comme égale celle du synchronisme,  $n_0 = n_s$ .

Le moment du couple utile  $T_u$  en fonction de la fréquence de rotation (en tr/min) est la suivante :



Le point de fonctionnement se trouve sur l'intersection de la caractéristique mécanique du moteur et de la courbe qui caractérise le couple résistant de la charge.

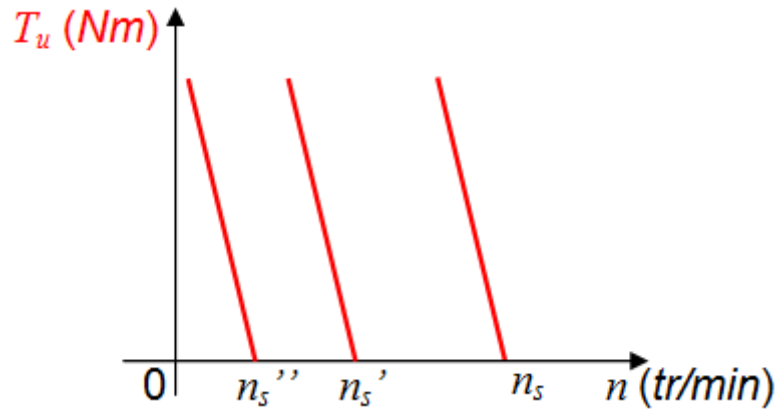


Le point de fonctionnement ( $T_u'$  ;  $n'$ ) permet de calculer très facilement le glissement et la puissance utile dans ce cas bien précis.

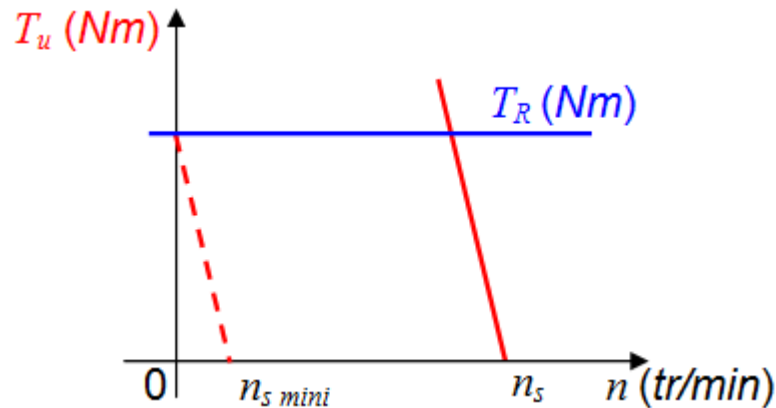
Évaluation graphique du point de fonctionnement

**b- Le fonctionnement à  $V/f$  constant :**

Si les propriétés électriques de l'alimentation du moteur sont telles que le rapport entre la valeur efficace et la fréquence  $f$  de la tension  $v(t)$  reste constant  $\frac{V}{f} = cte$ , le moment du couple magnétique  $T_{em}$  ne dépend que de la différence entre les fréquences de rotation  $n_s$  et  $n$ . Dans ce cas, toutes les caractéristiques mécaniques sont parallèles les unes avec les autres.



**c- Le fonctionnement à  $V/f$  constant et à couple résistant constant :**



En traçant successivement les différentes caractéristiques toutes parallèles entre elles, il est possible de trouver la fréquence minimale qui permet le démarrage du moteur lorsque le couple résistant qui s'oppose au couple utile du moteur est fixé, en utilisant la relation :

$$f_{\min i} = n_{s \min i} \cdot p$$