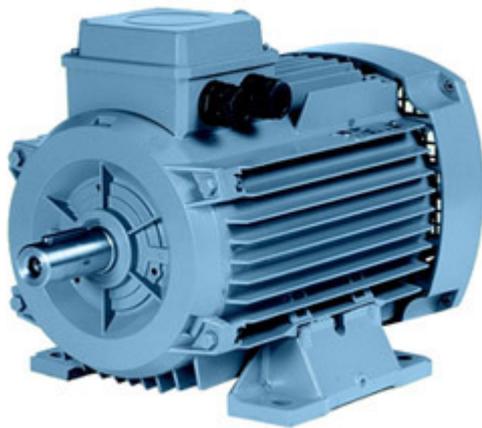


MOTEUR ASYNCHRONE



I. DEFINITION

La **machine asynchrone** est la [machine électrique](#) la plus utilisée dans le domaine des puissances supérieures à quelques kilowatts car elle offre alors le meilleur rapport qualité prix. Surtout depuis l'apparition dans les années 1980 de variateurs permettant de faire varier la fréquence de rotation du moteur dans une large gamme.

Bien que réversible, la **machine asynchrone** est principalement (mais pas exclusivement) utilisée en moteur.

La machine se compose de deux pièces principales :

- Le stator est relié au [réseau](#) électrique
- Le rotor est constitué de conducteurs en court circuit qui sont parcourus par des courants induits par le champ magnétique créé par les courants statoriques.

Cette machine peut, selon sa construction, être reliée à un réseau monophasé ou polyphasé (généralement [triphase](#) car c'est celui de la distribution).

II. PARAMETRES

1) Vitesse de synchronisme

Les courants *statoriques* créent un [champ magnétique](#) tournant dans le stator. Ce champ tourne à la même fréquence que les courants statoriques, c'est-à-dire que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique

n désigne par n_s la **vitesse de synchronisme**, c'est-à-dire la fréquence de rotation du champ statorique dans la machine.

- On désigne par n la **vitesse de rotation** de la machine.

La fréquence de synchronisme est toujours un sous multiple entier de la fréquence du secteur

- en 50 Hz c'est un sous multiple de 3000 tr/min soit : 3000 ; 1500 ; 1000 ; 750 ; etc.
- en 60 Hz c'est un sous multiple de 3600 tr/min, soit : 3600 ; 1800 ; 1200 ; 900 ; etc.

Soit P le nombre de paires de pôles de la machine et f la fréquence de l'alimentation. On a :

$$n_s = \frac{f}{p} \text{ en tr/s ou } n_s = \frac{60f}{p} \text{ en tr/min.}$$

n = fréquence de rotation

f = fréquence du courant

p = nombre de paire de pôles

2) Glissement d'une machine asynchrone

Le **glissement** correspond à la différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique exprimée sous la forme d'un pourcentage de la vitesse de synchronisme.

$$n_s - n = g \cdot n_s, \text{ soit } g = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Le glissement est toujours faible, de l'ordre de quelques pour-cent : de 2 % pour les machines les plus grosses à 6 ou 7 % pour les petites machines triphasées, il peut atteindre 10 % pour les petites machines monophasées.

3) Couple

La force totale du moteur est la somme des forces qui s'exercent sur les conducteurs: on l'appelle couple du moteur. le terme « couple » désigne aussi un travail produisant la rotation d'un axe.

S'il y a une chose plus importante à retenir et à comprendre, c'est déjà que couple et puissance sont deux grandeurs intimement liées. La relation qui les unit est simple :

$$P = C \omega$$

où ω est la vitesse de rotation du moteur. P, C et ω sont ici exprimées dans les unités " officielles ", à savoir le Watt, le Newton.mètre et le radian par seconde.

Si l'on souhaite exprimer ces différentes grandeurs dans des unités plus connues (ch, m.kg et tr/mn), il convient d'aménager un peu cette relation, et on obtient alors :

$$P = 1.39 \cdot 10^{-3} C \omega$$

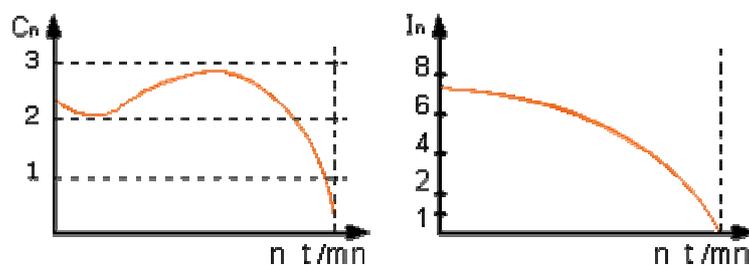
ou encore

$$P = C \omega / 716$$

4) Démarrage

4.1 Démarrage direct

Ce type de démarrage est réservé aux moteurs de faible puissance (90% des moteurs) devant celle du réseau, ne nécessitant pas une mise en vitesse progressive. Le couple est énergique, l'appel de courant est important (5 à 8 fois le courant nominal). Si nous relevons les valeurs de l'intensité (I) d'un courant et du couple (C) d'un moteur triphasé au moment du démarrage, nous obtenons les courbes suivantes,



Nous observons qu'au moment du démarrage les valeurs de I et de C sont respectivement 7 et 2 fois plus grandes que leur valeur en régime établi.

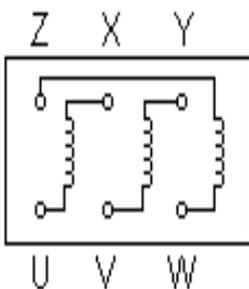
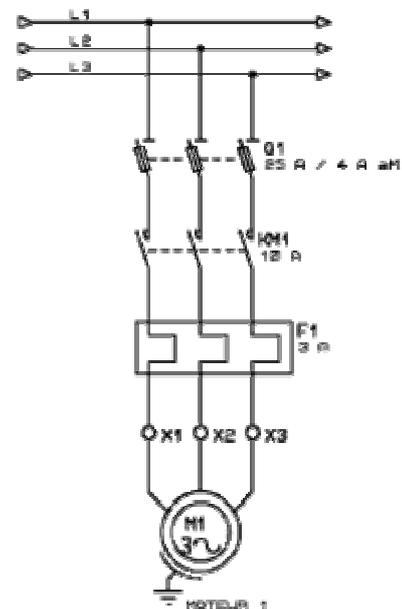
Avantages:

Simplicité de l'appareillage, rapidité de la mise en régime

Inconvénients:

Démarrage brutal, courant d'appel élevé ce qui perturbe les appareils branchés sur la même ligne(outre la chute de couple qui résulte de la chute de tension). Procédé utilisé pour des puissances inférieure à 10 fois la puissance apparente du réseau ou des moteurs de petite puissance.(EDF impose une puissance utilise inférieure à 1 KW sur le réseau public basse tension.

Schéma normalisé:

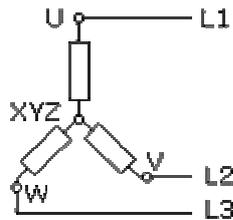
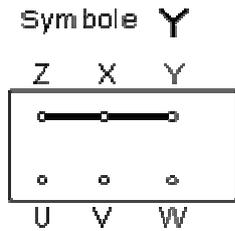


Normalisation de la plaque à bornes :
L'arrivée se fait en U V W

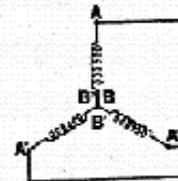
4.2) Démarrage étoile – triangle

Ce type de démarrage est réservé aux machines démarrant à vide ou dont le couple résistant est faible. L'intensité de démarrage est divisée par 3, mais le couple de démarrage aussi (proportionnel au carré de la tension d'alimentation des enroulements).

Couplage étoile :



Couplage en étoile

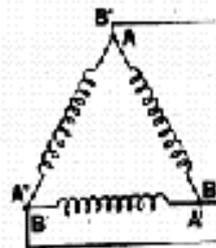


Dans un couplage en étoile la tension électrique entre deux conducteurs est $\sqrt{3}$ plus grand que la tension entre un conducteur et le point neutre.

$U (A-U) = 220 \text{ V}$	→	$U (A-A') = 380 \text{ V}$
$U (A'-B') = 220 \text{ V}$	→	$U (B-B') = 380 \text{ V}$
$U (A''-B'') = 220 \text{ V}$	→	$U (C-C') = 380 \text{ V}$

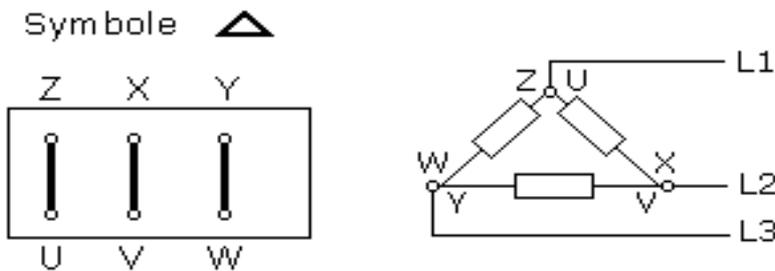
Par contre, puisque les enroulements n'offre au courant qu'un seul trajet possible, la valeur de l'intensité de courant dans les conducteurs phases et dans les bobinages sont égales.

Couplage en triangle



$U (A-B) = 220 \text{ V}$
$U (A'-B') = 220 \text{ V}$
$U (A''-B'') = 220 \text{ V}$

Couplage triangle :



Pour réduire l'intensité au démarrage du moteur, l'étude du rapports I Triangle/I Etoile nous montre qu'il serait préférable de démarrer un moteur (asynchrone triphasé à rotor en court circuit) en le couplant en étoile. Par contre si l'on veut exploiter le couple et la puissance maximum du moteur il faut le brancher en triangle.

Conditions à remplir :

Le couplage triangle doit correspondre à la tension du réseau.
Le démarrage du moteur doit se faire en deux temps.

Premier temps : couplage des enroulements en **étoile** et mise sous tension ;

Deuxième temps : suppression du couplage étoile, immédiatement suivie du couplage **triangle**.

Analyse du fonctionnement au démarrage

Au démarrage le moteur est couplé en étoile. La tension appliquée sur une phase est réduite, soit:

L'intensité absorbée (proportionnelle à la tension appliquée) est le 1/3 de celle qu'absorberait le moteur s'il démarrait directement en triangle. La valeur de la pointe de l'intensité atteint en général deux fois l'intensité nominale.

Le couple au démarrage (proportionnel au carré de la tension appliquée) et le couple maximum en étoile sont ramenés au 1/3 des valeurs obtenues en démarrage direct. La valeur du couple de démarrage atteint en général 0,5 fois le couple nominal.

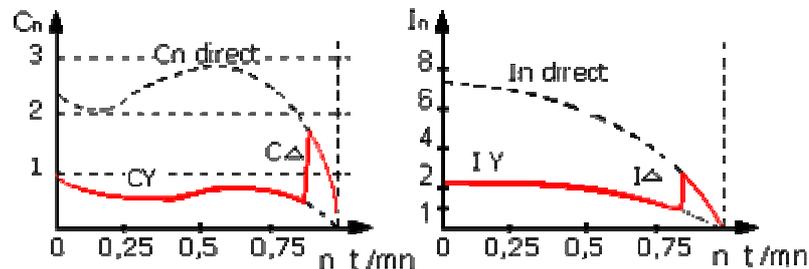
Coupure (passage étoile triangle) :

Le temps de passage entre les deux couplages doit être très bref.

Couplage triangle :

Un deuxième appel de courant se manifeste ; il est fonction de la durée du couplage étoile et peut atteindre la valeur de pointe du démarrage direct. Cette pointe de courte durée provient du fait que les forces électromotrices qui subsistent au stator lors du couplage triangle ne sont pas en opposition de phase avec les tensions de ligne.

Le couple subit une forte pointe pour retomber rapidement à sa valeur nominale



Avantage: relativement bon marché

Inconvénient: couple de démarrage fixé par l'alimentation, couple réduit au tiers de sa valeur sur toute l'excursion de vitesse.

Mise en régime plus longue et limitée au machine qui démarre à vide. Coupure brutale puis augmentation brutale du courant lors du passage étoile triangle. Démarrage conseillé pour des engins avec des faibles couples résistants au démarrage (pompes centrifuges)

5) Freinage

On distingue plusieurs types de freinages :

- **Arrêt libre :** (mise hors tension du stator)
- **Arrêt contrôlé :** Tension statorique progressivement passée à 0 Volt
 - **Freinage hypersynchrone :** Lorsque la vitesse du rotor est supérieure à la vitesse du champ tournant, le moteur freine. Couplé à un variateur de fréquence qui diminue progressivement la vitesse du moteur on peut arrêter un moteur. Le couple de freinage est faible : la courbe du couple en fonction de la vitesse (voir *Les trois domaines de fonctionnement de la machine asynchrone*) pour différentes valeurs du glissement montre que le couple résistant n'est pas très important pour un glissement compris entre 0 et -1. Cette méthode n'est donc pas très efficace pour freiner rapidement une machine asynchrone.
 - **Arrêt par injection de courant continu:** L'alimentation en courant continu du stator crée un champ fixe dans la machine qui s'oppose au mouvement. C'est la méthode la plus efficace pour freiner la machine, mais les contraintes en courant sont également très sévères. Le contrôle de l'intensité du courant continu permet de contrôler le freinage.
- **Arrêt à contre courant :**

Le principe consiste à inverser 2 phases pendant un court instant. C'est donc équivalent à un freinage hypersynchrone mais à fréquence fixe. Le couple résistant est donc faible et le courant appelé est également très important (de l'ordre de 10 à 12 fois l'intensité nominale). La conséquence en est que les enroulements du moteur risquent la surchauffe : on peut prévoir des résistances supplémentaires afin de diminuer l'intensité en ligne. Enfin, avec cette méthode, le couple décélérateur reste négatif même lorsque la vitesse est égale à 0 tr/min, il faut donc prévoir de couper l'alimentation quand la vitesse est nulle (temporisation, contact centrifuge), sinon le moteur part en arrière.

- **Freinage mécanique :** Il est souvent utile de prévoir un dispositif d'arrêt d'urgence du moteur en absence de courant.

6) Facteur de puissance

Le **facteur de puissance** est une caractéristique d'un récepteur électrique.

Pour un dipôle alimenté en régime de courant variable au cours du temps (sinusoïdal ou non), il est égal à la puissance active consommée par ce dipôle divisée par le produit des valeurs efficaces du courant et de la tension. Il est toujours compris entre 1 et 0.

$$fp = \frac{P}{UI} = \frac{P}{S}$$

En particulier, si le courant et la tension sont des fonctions sinusoïdales du temps, le facteur de puissance est égal au cosinus du déphasage entre le courant et la tension.

$$fp = \cos \varphi$$

Le facteur de puissance est un paramètre qui rend compte de l'efficacité qu'a un dipôle pour consommer de la puissance lorsqu'il est traversé par un courant. Une comparaison mécanique possible serait *le facteur d'embrayage* d'une boîte de vitesses :

- lorsque la pédale d'embrayage est enfoncée, le moteur tourne (le courant circule) mais ne transmet aucune puissance au véhicule ; le facteur de puissance est nul
- lorsque la pédale d'embrayage est relevée, le moteur tourne et toute sa quantité de mouvement est transmise au véhicule pour produire de la puissance motrice ; le facteur de puissance est unitaire
- lorsque l'on fait *patiner* l'embrayage, on est dans une situation intermédiaire, cela correspond au cas où le facteur de puissance est compris entre 0 et 1

Importance du facteur de puissance pour le distributeur

Les distributeurs d'électricité facturent généralement la puissance, mais les pertes dans les lignes dépendent de l'intensité appelée par les consommateurs (pertes par effet Joule). Si le facteur de puissance d'une installation est faible, l'intensité appelée est grande mais la puissance consommée est faible. C'est pourquoi, pour les gros consommateurs (installations raccordées à la haute tension), la facturation ne tient pas uniquement compte de la puissance active consommée. En France, cette facturation est très complexe. Elle est réglementée par le ministère de l'industrie : [JO](#) n° 170 du 23 juillet 2002, pages 12600 et suivantes. Elle ne concerne actuellement que les clients raccordés à la haute tension, les mois d'hiver et au cours des heures pleines.

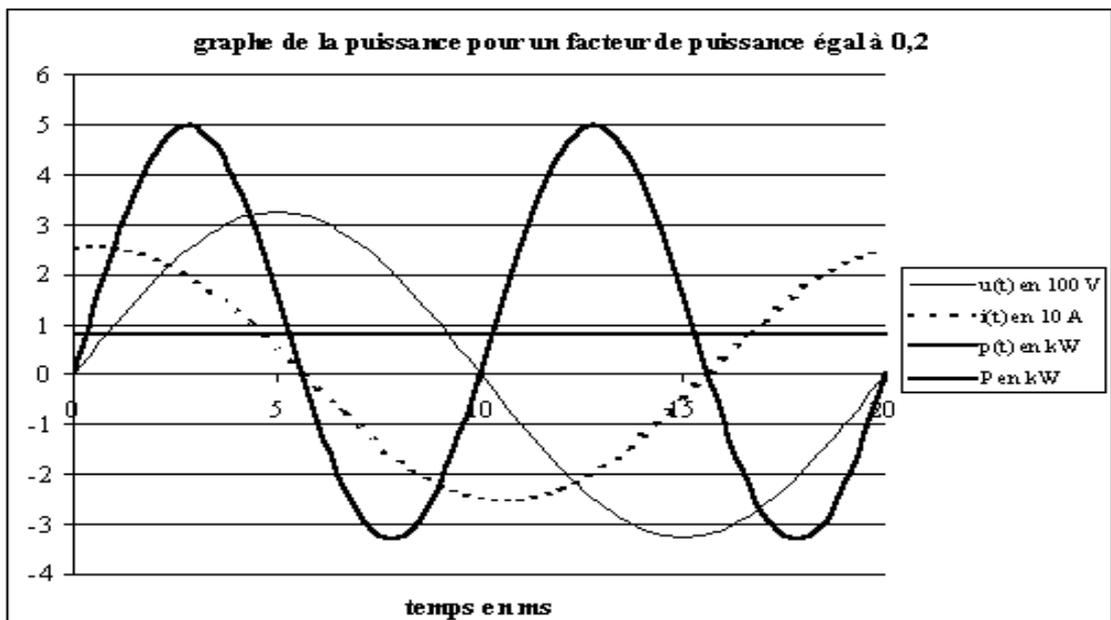
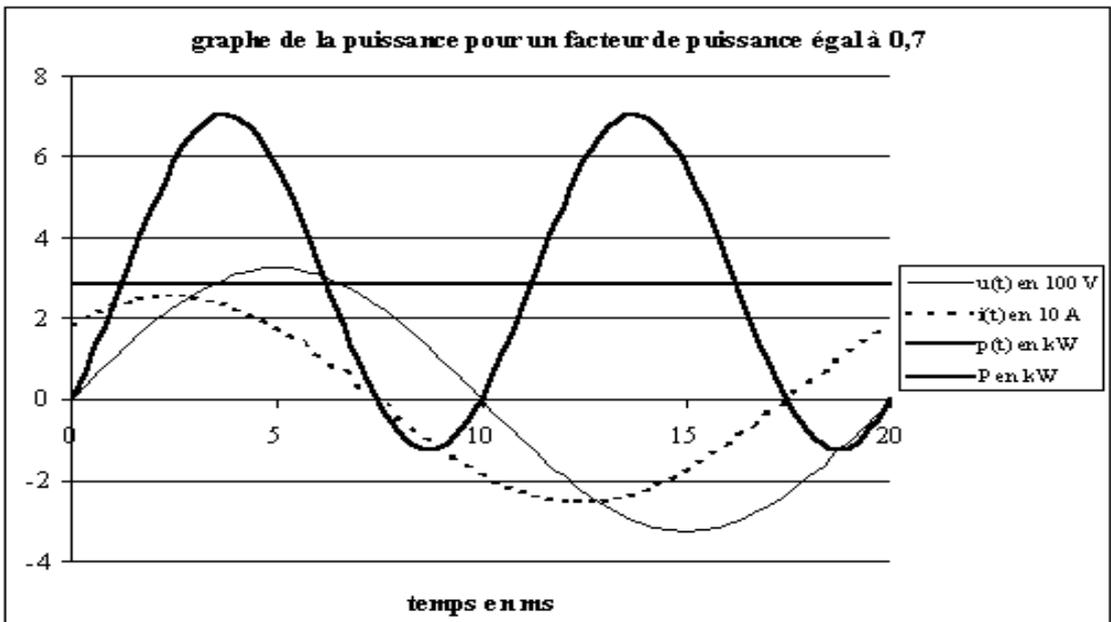
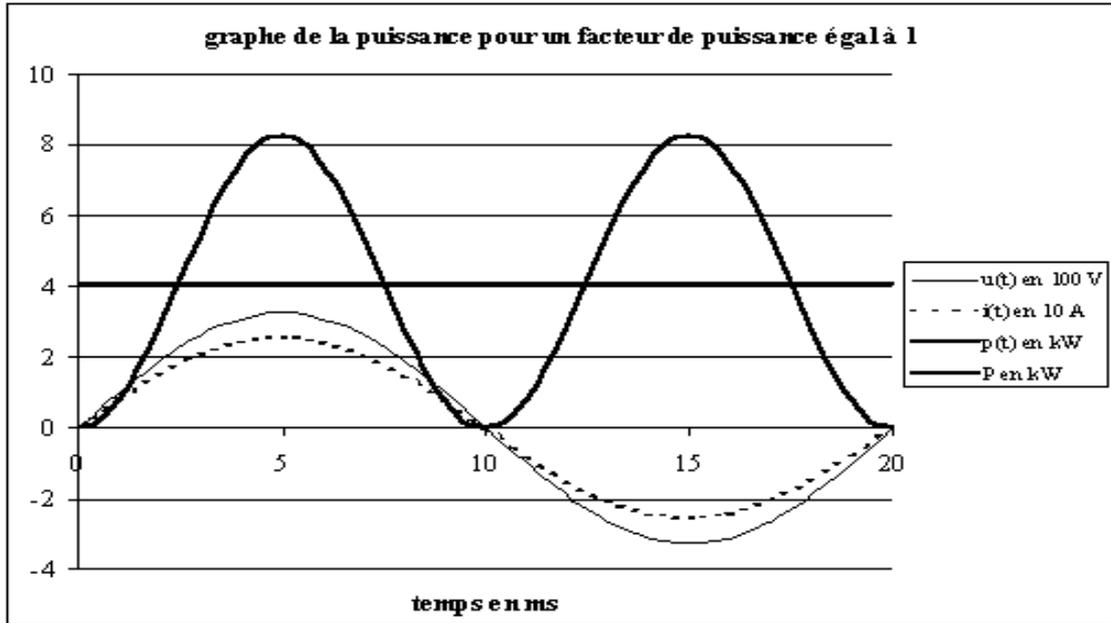
Facteur de puissance en régime sinusoïdal

Le schéma ci-contre représente la puissance instantanée (produit de la tension et du courant instantanés) consommée par un dipôle soumis à une tension de 230 V et traversé par un courant de 18 A dans 3 cas :

- le facteur de puissance est égal à 1: valeur maximale. La tension et le courant sont *en phase* (ils sont nuls aux mêmes instants), la puissance instantanée est toujours positive et la puissance moyenne est maximale
- le facteur de puissance est égal à 0,7 : valeur intermédiaire (cas d'un moteur asynchrone

monophasé)

- le facteur de puissance est égal à 0,2 : valeur faible : le courant est le même, la puissance instantanée fluctue avec la même amplitude, mais elle est fortement décalée vers le bas par rapport aux courbes précédentes. La puissance moyenne est faible : 20 % de la puissance mise en jeu lorsque le facteur de puissance est unitaire.



Facteur de puissance et facteur de qualité

En électronique on définit un facteur de qualité pour les dipôles oscillants qui est d'autant plus grand que le facteur de puissance est faible. La raison en est que la perspective n'est pas la même en électronique et en électrotechnique.

- Pour l'électrotechnicien le but ultime est d'utiliser l'énergie électrique en la convertissant soit en chaleur, soit en lumière, soit en énergie mécanique.
- En électronique, lorsque l'on cherche à obtenir des oscillations, la transformation d'énergie en chaleur est perçue comme une perte et non comme une efficacité.

III. Plaque signalétique d'un moteur asynchrone

Exemple de plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé industriel :

Mot 3~ 50/60Hz	IEC34 IP55
MT90L24-4	
1.5 / 1.75 kW	1420 / 1710 tr/min
380-420 / 440-480V - Y	3.7 / 3.6A
220-240 / 250-280V - Δ	6.4 / 6.3A
	cos φ = 0.75 / 0.78

Moteur triphasé utilisable en 50 et 60 Hz	Classement IP (Indice de Protection)
Numéro de série du constructeur	
Puissance utile nominale	fréquence de rotation nominale
Tension entre phase du réseau d'alimentation pour un couplage étoile	Courant de ligne nominal pour un couplage étoile
Tension entre phase du réseau d'alimentation pour un couplage triangle	Courant de ligne nominal pour un couplage triangle
	facteur de puissance au régime nominal

- Soit on dispose d'un réseau d'alimentation correspondant aux valeurs de tension de la troisième ligne et on doit réaliser un couplage étoile symbolisé par **Y** (cas le plus fréquent), soit on dispose d'un réseau d'alimentation correspondant aux valeurs de tension de la quatrième ligne et on doit réaliser un couplage triangle symbolisé par **Δ**. Sur la même ligne, la plaque signalétique indique pour chacun des couplages la valeur de l'intensité du courant de ligne qui sera absorbée au régime nominal.
- À l'aide de grandeurs électriques fournies : tensions entre phases, intensités des courants de ligne et facteur de puissance, il est possible de calculer la puissance absorbée et d'en déduire le rendement de la machine fonctionnant au régime nominal.

En triphasé :

$$P_a = \sqrt{3} \cdot UI \cdot \cos \varphi$$

En monophasé :

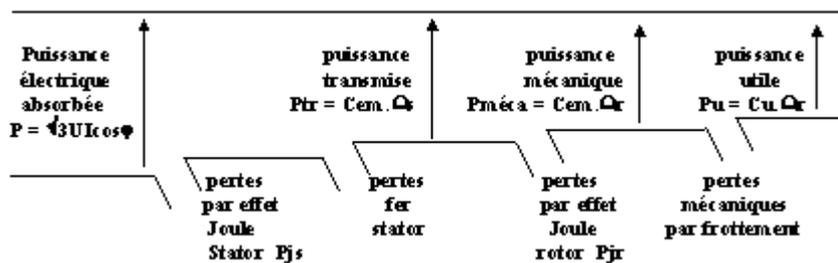
$$P_a = UI \cdot \cos \varphi$$

Le rendement :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

IV. VARIATEUR DE VITESSE

La tension d'alimentation peut être modifiée à l'aide d'un variateur constitué d'un [redresseur](#) combiné à un onduleur. Le redresseur va permettre d'obtenir un courant quasi continu. A partir de ce courant continu, l'onduleur (bien souvent à [Modulation de largeur d'impulsion](#) ou *MLI*) va permettre de créer un système [triphase](#) de tensions alternatives dont on pourra faire varier la valeur efficace et la fréquence. Le fait de conserver le rapport de la valeur efficace du fondamental de la tension par la fréquence ($U1/f$) constant permet de maintenir un [flux](#) constant dans la machine et donc de maintenir constante la fonction reliant la valeur du couple en fonction de $(n_s - n)$.



Observation:

$$P_{jr} = P_{tr} - P_{méca} = C_{em} \cdot (s - r) = C_{em} \cdot s \cdot (s - r) / s = g \cdot P_{tr} = P_{jr}$$

V. ANNEXE

Tableau des marquages particuliers des bornes d'appareil

Bornes d'appareil pour	Notation alpha-numérique	Symbole graphique
Système alternatif	Phase 1	U
	Phase 2	V
	Phase 3	W
	Neutre	N

Conducteur de protection	PE	
Terre	E	
Terre sans bruit	TE	
Masse (platine, châssis)	MM	

Site : <http://genie.industriel.iaa.free.fr>