



**Machines  
Électriques**

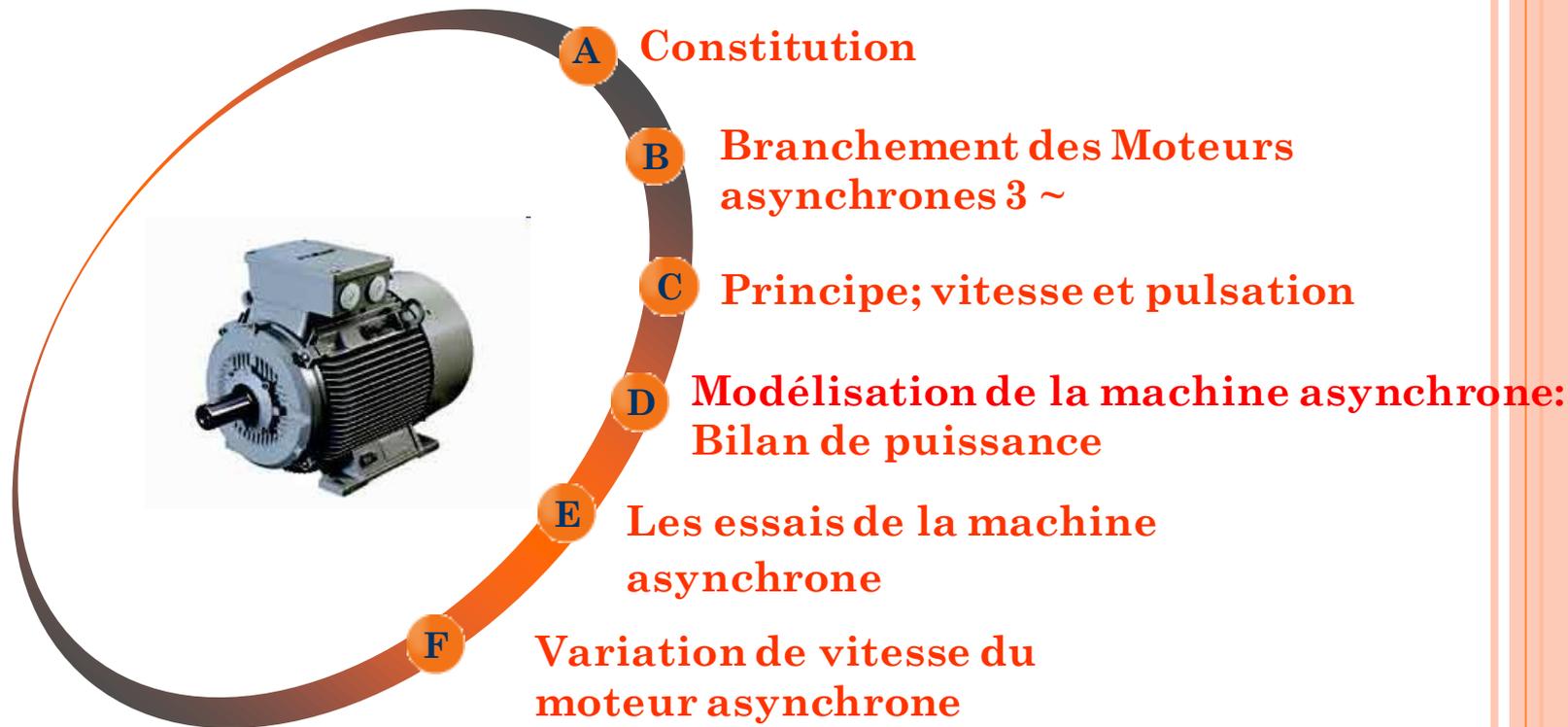
CHAPITRE

**3**

# MACHINES ASYNCHRONES

1

# PLAN



## Définition et utilisation:

Le moteur asynchrone est une machine tournante fonctionnant avec du courant alternatif et ayant un circuit rotorique en court-circuit,

### Avantages:

- Facile à fabriquer
- Pas de collecteur
  - ↳ moins d'entretien et d'usure
- Robuste

Inconvénient: Difficile à commander en forte puissance.

### Utilisation de la machine asynchrone:

- Moteur asynchrone 3~: **forte puissance**
  - Propulsion de navires,
  - Transport (Trains, métro, ...)
- Moteur asynchrone monophasé: **faible puissance**
  - Utilisation domestique: réfrigérateurs, ventilateurs, climatisations, ...
- Génératrice hypersynchrone: **production d'énergie**
  - Eolienne modernes
  - Freinage par récupération

# Constitution

La machine asynchrone est formée d'un:

- ❑ **Stator:** porte 3 bobinages (enroulements) couplés en Y ou en  $\Delta$  selon le réseau d'alimentation?
- ❑ **Rotor:** cylindrique, porte soit un bobinage accessible par 3 bagues et trois balais (fig1-a), soit une cage d'écurueil non accessible, à base de barres conductrices (fig1-b).

Dans les deux cas, le circuit rotorique est mis en court-circuit (par anneaux ou un rhéostat).

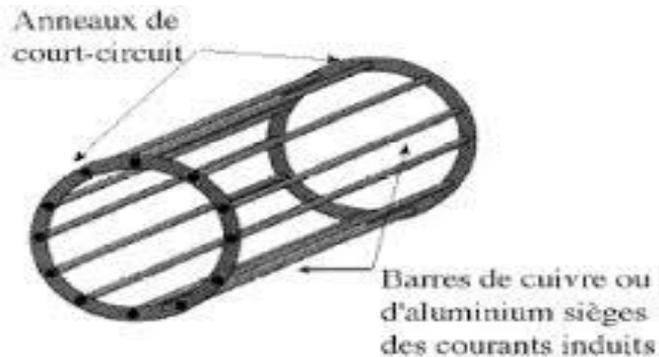


fig1-b

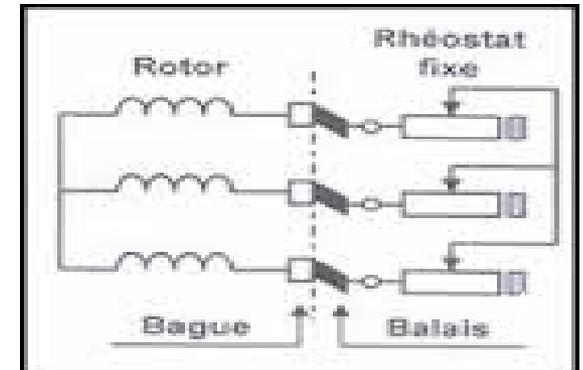
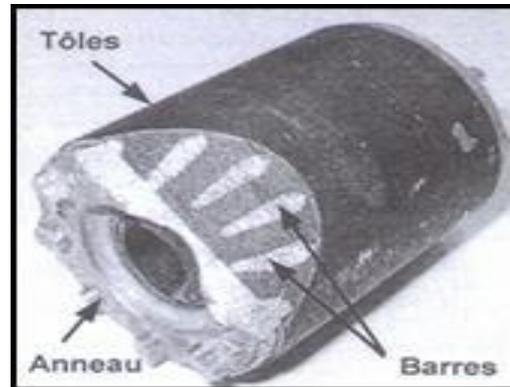


fig1-a

## Branchement des moteurs asynchrone triphasés

Les trois enroulement du stator sont identique, couplés en Y ou en  $\Delta$ ?

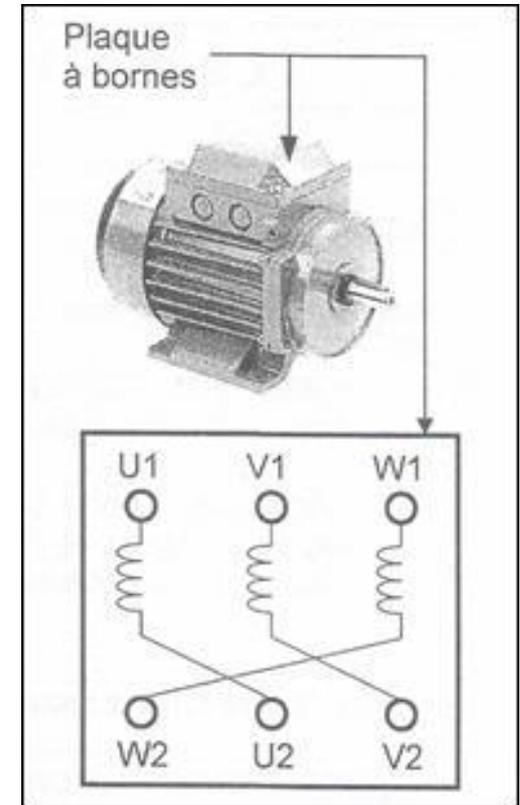
Le choix du couplage dépend des tensions du réseau et des indications portées sur la plaque signalétique. Celle-ci donne les conditions normales de fonctionnement.

▪ Normalisation des bornes:

Entrées	U1, V1, W1
Sorties	U2, V2, W2

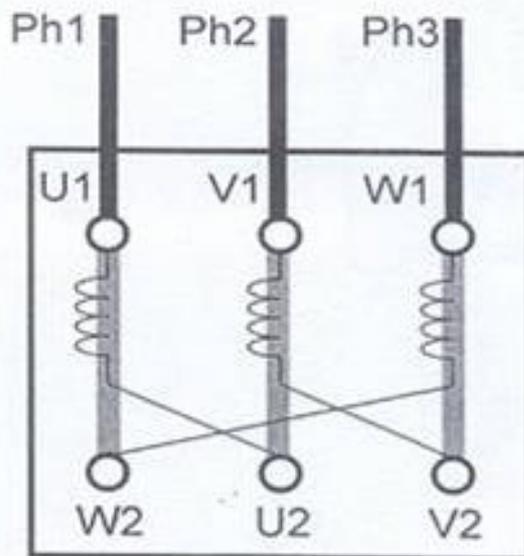
### ➤ Détermination du couplage

- 1- si la plus petite tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phase du réseau on choisit le ***couplage triangle***  $\Delta$ .
- 2- si la plus grande tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phase du réseau on choisit le ***couplage étoile*** Y.

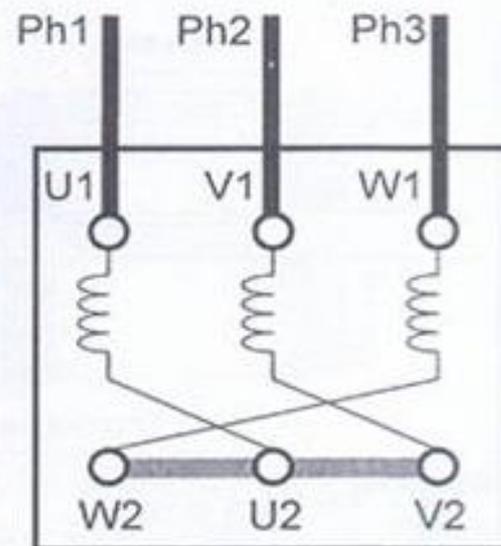


Réseau d'alimentation		Plaque signalétique		Couplage adéquat
220v	<b>380 v</b>	220 v	<b>380 v</b>	ETOILE
220 v	<b>380 v</b>	<b>380 v</b>	660 v	TRIANGLE
Tension simple	Tension composée	Tension d'un enroulement	Tension de deux enroulements	

Couplage adopté :  $\Delta$



Couplage adopté : Y



## Principe de fonctionnement :

- ❑ Les bobinages statoriques, alimentés par des courants triphasés de pulsation  $\omega$ , créent un champ magnétique  $B$  tournant à la vitesse  $\Omega_s = \omega / p$  où  $p$  est le nombre de paire de pôles au stator.
- ❑ Ce champ (flux) tournant balaie le bobinage rotorique et y induit des forces électromotrices (fém) d'après la loi de Lenz. Le bobinage rotorique étant en court-circuit, ces fém y produisent des courants induits.
- ❑ C'est l'action du champ tournant  $B$  sur les courants induits qui crée le couple moteur. Ce dernier tend à réduire la cause qui a donné naissance aux courants, c'est à dire la rotation relative du champ tournant par rapport au rotor. Le rotor va donc avoir tendance à suivre ce champ.
- ❑ Le rotor tourne forcément à une vitesse  $\Omega < \Omega_s$  (d'où le terme asynchrone).
- ❑ Pour changer le signe de  $\Omega_s$  (donc le sens de rotation), il suffit de permuter deux fils de phase.

## Vitesse et pulsations:

### ▪ Notations:

$f, \omega$  fréquence et pulsation des courants statoriques

$p$  nombre de paire de pôle au stator (et au rotor)

$\Omega_s$  vitesse angulaire du champ statorique ou **vitesse de synchronisme**

$\Omega$  vitesse angulaire au rotor

▪ Vitesse de synchronisme:  $\Omega_s = \omega/p$  ou  $n_s = f/p$  (en tr/s)

$f = 50 \text{ Hz}: p = 1 \longrightarrow n_s = 3000 \text{ tr/min}$

$p = 2 \longrightarrow n_s = 1500 \text{ tr/min}$

### ▪ Glissement:

$$g = (\Omega_s - \Omega) / \Omega_s$$

ce paramètre caractérise la diminution relative de vitesse en fonctionnement.

▪ Exemple: valeur du glissement  $g_n$  au point nominal du moteur suivant ( $p=3$ ),  
230/380V – 7,5 Kw – 965 tr/min –  $\cos\phi = 0,81$  –  $\eta = 0,865$

$$g_n = 3.5\%$$

▪ fréquence  $f_r$  des courants rotoriques:

La vitesse relative à laquelle le champ tournant balaie les conducteurs du rotor vaut  $(\Omega_s - \Omega)$ , la pulsation  $\omega_R$  des courants induits est égale à:

$$\omega_R = p \cdot ((\Omega_s - \Omega) = \omega \cdot (\Omega_s - \Omega) / \Omega_s \quad \text{soit} \quad \boxed{\omega_R = g \cdot \omega} \quad \text{ou} \quad \boxed{f_R = g \cdot f}$$

Elle varie avec le glissement. A l'arrêt ( $\Omega = 0$ ),  $f_R = f$  ( $g = 1$ ).

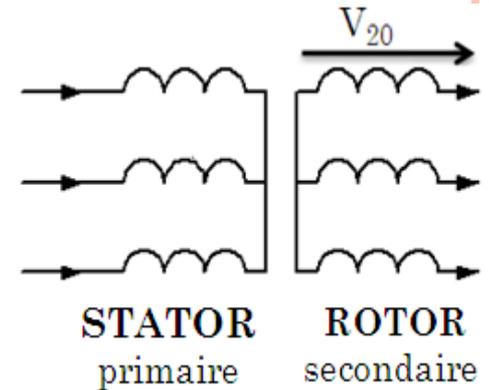
En marche normal, elle est très faible (car  $g_n$  très petit).

**Modélisation de la machine asynchrone:**

*(schéma monophasé équivalent)*

La M. asy. se comporte comme transformateur triphasé à l'arrêt. En marche normal, ce n'est pas vrai car  $f_R \neq f$ .

↪ On montre, grâce à un calcul, qu'une machine asynchrone est équivalente à un transformateur statique de rapport de transformation  $m$ , dont le secondaire supposé sans résistance, alimente une charge  $R_2/g$ .



## Analogie avec le transformateur: Mise en équation

La machine est alimentée par un système triphasé de tensions équilibrées.

Au primaire (stator) les grandeurs caractéristiques sont :

- $V_1$  : valeur efficace de la tension appliquée sur un enroulement de phase
- $\omega_s$  : pulsation de cette tension
- $R_1$  : résistance d'un enroulement
- $l_1$  : inductance de fuite d'un enroulement
- $E_1$  : fem développée aux bornes du bobinage

$$E_1 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} k_1 n_1 f_s \phi$$

Au secondaire (rotor) les grandeurs caractéristiques sont :

- $\omega_R = g \omega_s$  : pulsation des fem et courants rotoriques
- $R_2$  : résistance d'un enroulement
- $l_2$  : inductance de fuite d'un enroulement
- $E_2$  : fem développée aux bornes du bobinage

$$E_2 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} k_2 n_2 g f_s \phi$$

Équation de tension statorique:

$$V_1 = R_1 I_1 + l_1 \frac{di_1}{dt} + \frac{d\phi_1}{dt}$$

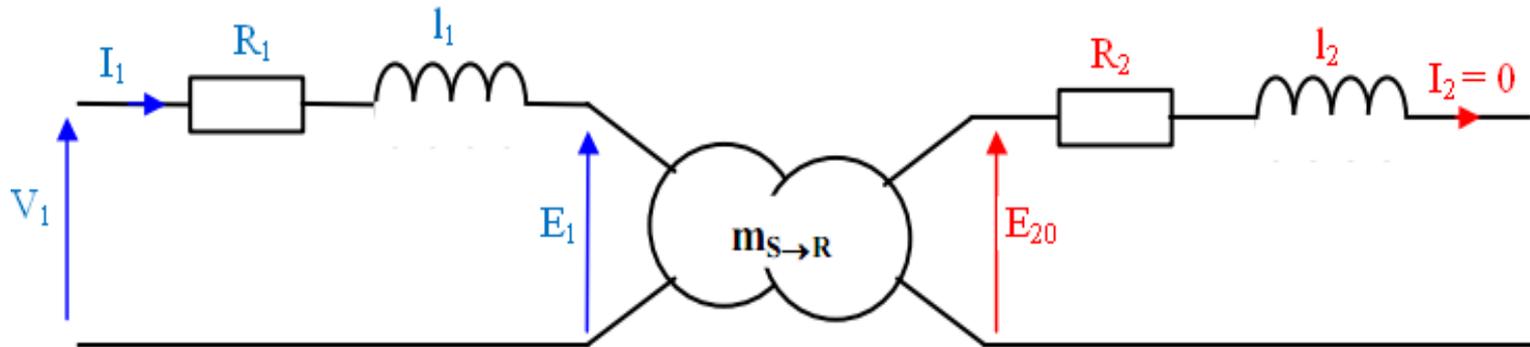
$$\underline{V}_1 = R_1 \underline{I}_1 + j l_1 \omega_s \underline{I}_1 + j \omega_s \underline{\phi}_1$$

Équation de tension rotorique:

$$0 = R_2 I_2 + l_2 \frac{di_2}{dt} + \frac{d\phi_2}{dt}$$

$$0 = R_2 \underline{I}_2 + j l_2 g \omega_s \underline{I}_2 + j g \omega_s \underline{\phi}_2$$

**Quand le rotor n'est pas entraîné :  $\Omega=0$  ou  $g = 1$ .** On peut donc dessiner un schéma équivalent de type transformateur comme suit :



Le rapport de transformation  $m$  est défini par:

$$\frac{k_2 n_2}{k_1 n_1}$$

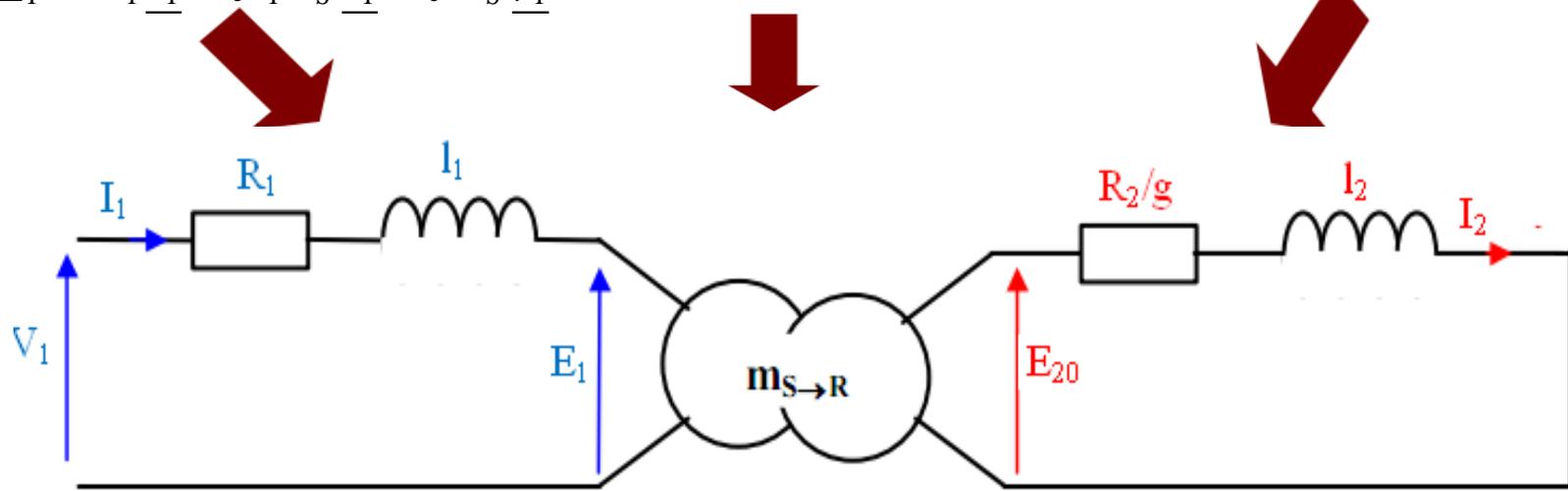
Quand  $\Omega \neq 0$  et  $g \neq 0$  . le secondaire est court-circuité,

On peut donc adopter le schéma du transformateur modifié comme suit :

Ce transformateur à deux particularités:

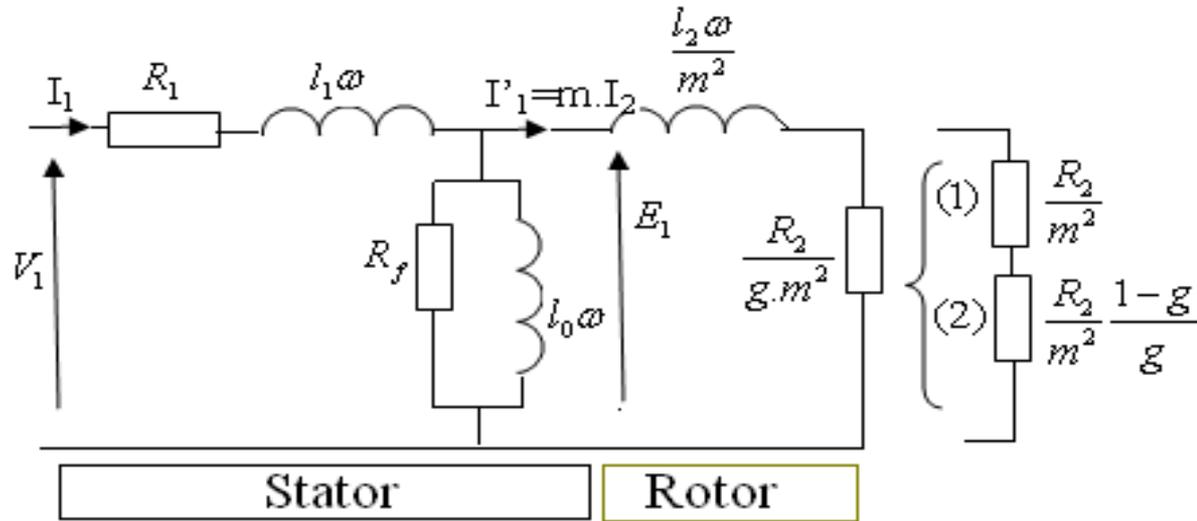
- le secondaire est en court-circuit;
- la résistance du secondaire varie avec le glissement

$$\underline{V}_1 = R_1 \underline{I}_1 + j l_1 \omega_s \underline{I}_1 + j \omega_s \underline{\phi}_1$$
$$0 = R_2 \underline{I}_2 + j l_2 g \omega_s \underline{I}_2 + j g \omega_s \underline{\phi}_2$$



On pourrait définir un schéma équivalent en faisant disparaître le transformateur par la technique habituelle en divisant l'impédance du secondaire par le carré du rapport de transformation.

En ramenant au primaire les éléments du secondaire, on aboutit au schéma équivalent:



(1) La puissance dissipée dans cet élément représente **les pertes joules dans le rotor.**

(2) Résistance fictive qui traduit la transformation de l'énergie. La puissance dissipée dans cet élément représente **la puissance mécanique sur le rotor.**

Ce schéma monophasé n'est qu'une représentation mathématique du fonctionnement en régime permanent du moteur,

↴ alimenté par le réseau à tension et fréquence constante

↴ les deux résistances ( $R_2 / g.m^2$  et  $R_f$ ) n'ont pas de signification physique.

↴ la détermination des éléments du schéma équivalent s'effectue par:

*l'essai à vide, l'essai à rotor bloqué et mesure en courant continu de  $R_1$*

## Le moteur 3~ alimenté à tension et fréquence constantes:

### □ Définition des puissances:

- Puissance active absorbée par le moteur:  $P_a = \sqrt{3}UI \cos \varphi$  Indépendante du couplage
- Pertes joules au stator:  $P_{js} = 3R_1 I_1^2$   $j_1$  au lieu de  $I_1$  si couplage est  $\Delta$
- pertes fer au stator:  $P_{fs} = 3 \frac{E_1^2}{R_f}$
- puissance transmise du stator au rotor:  $P_{TR} = P_a - P_{js} - P_{fs} = 3 \frac{R_2}{g.m^2} I_1'^2$

*Elle est aussi appelée puissance électromagnétique  $P_{em}$  ou puissance transmise à travers l'entrefer. (c'est le champ tournant  $\Omega_s$  qui est à l'origine de cette puissance.*

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

- Pertes joules au rotor:

$$P_{jr} = 3R_2 I_2^2 = 3 \frac{R_2}{g.m^2} I_2'^2 \quad \text{car} \quad I_1' = m I_2$$

*(Relation très utilisée)*

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

- Puissance mécanique sur le rotor:

$$P_{méca} = P_{tr} - P_{jr} = (1 - g) \cdot P_{tr}$$

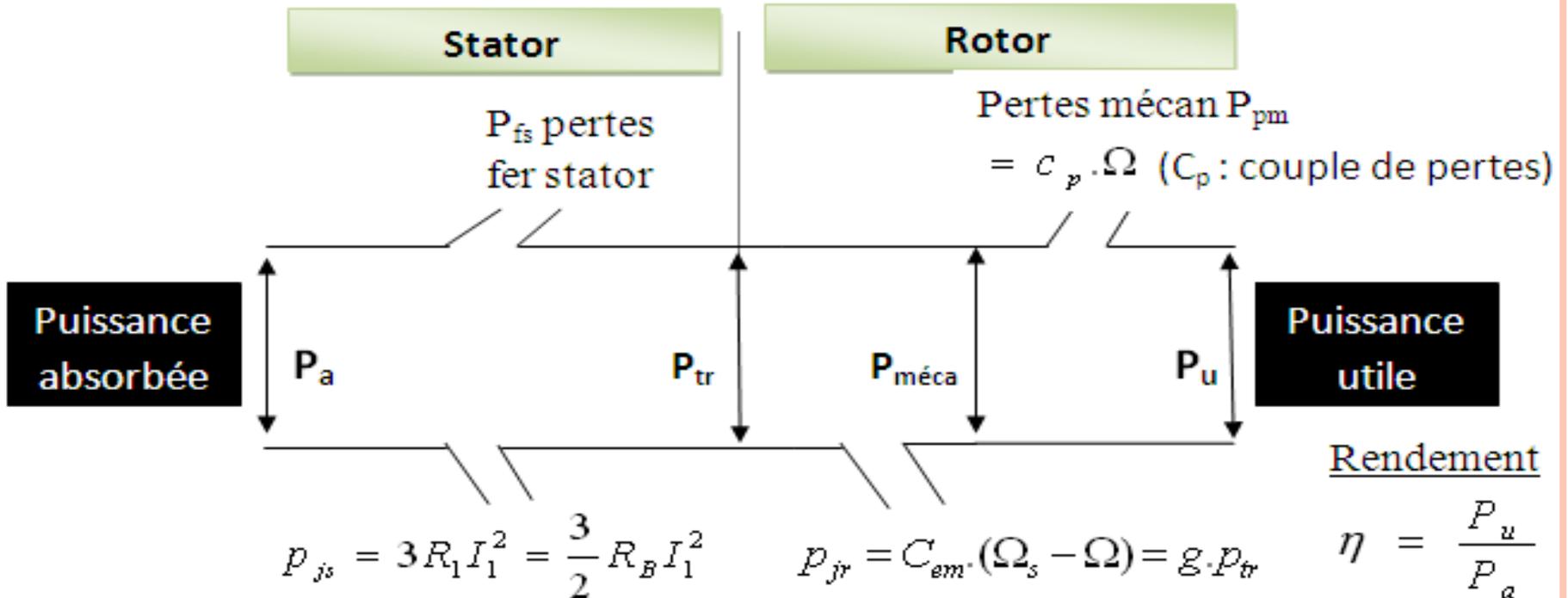
La quantité **(1-g)** est souvent appelée « **rendement du rotor** ».

- Puissance mécanique utile:

$$P_u = P_{méca} - P_{pm} \Rightarrow C_u = C_{em} - C_p$$

*En marche normale, on néglige les pertes dans le fer du rotor car elles sont proportionnelles à la fréquence  $f_r = g \cdot f$  très faible des courants rotoriques.*

### Bilan de puissance et rendement:



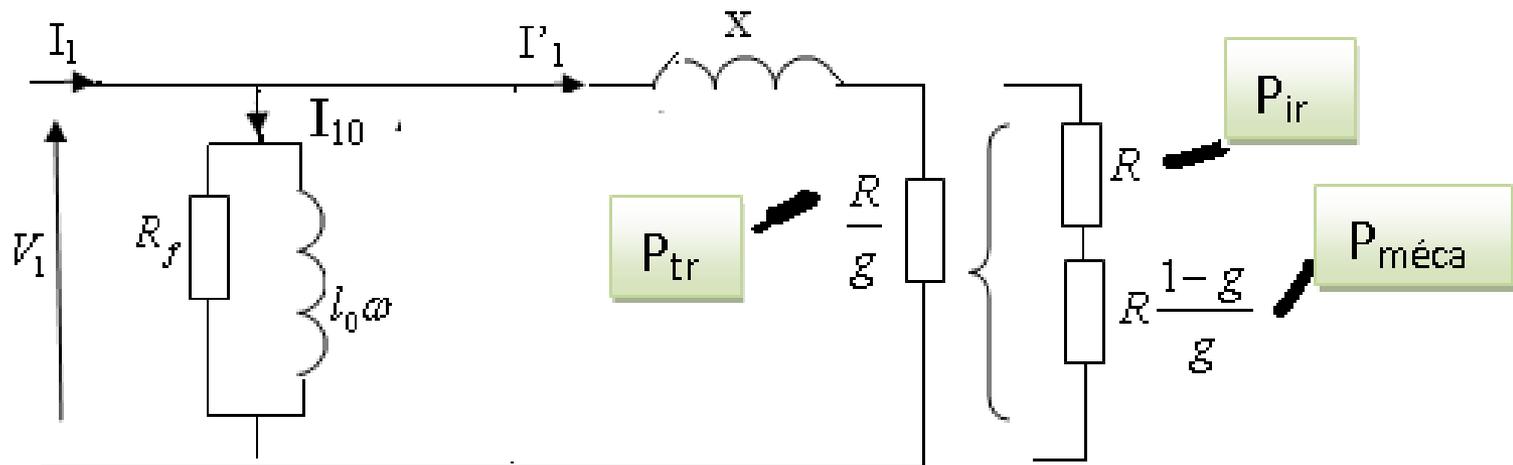
$R_B$  : Résistance mesurée entre deux bornes statoriques du moteur, quel que soit (le couplage. ( $R_B = 2R_1$  pour un couplage  $Y$  et  $R_B = 3/2R_1$  pour un couplage  $\Delta$ ))

### Expression du couple électromagnétique $C_{em}$ :

Dans la pratique, on néglige la chute de tension aux bornes de la résistance  $R_1$  et de l'inductance de fuites  $l_1$  au stator. Ceci n'est plus vrai à des tensions et des fréquences faibles.

Si de plus, on néglige les pertes mécaniques:  $C_u = C_{em} - C_p = C_{em}$

En pose:  $R = R_2 / m^2$  et  $X = l_2 \omega / m^2$ , on obtient le schéma équivalent simplifié suivant :



On peut écrire:

$$I_1' = \frac{v_1}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + x^2}}$$

et il en découle que:

$$C_{em} = c = \frac{P_{tr}}{\Omega_s} = \frac{3 \frac{R}{g} I_1'^2}{\frac{\omega}{p}}$$

L'expression du couple électromagnétique  $C_{em}$ :

$$C_{em} = c = \frac{p}{\omega} \cdot \frac{3V_1^2 \frac{R}{g}}{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + x^2}$$

### ■ Recherche du couple maximal

L'expression générale du couple peut encore s'écrire:  $C_{em} = c = \frac{p}{\omega} \cdot \frac{3V_1^2 R}{\frac{R^2}{g} + x^2 g}$

A tension constante, le numérateur est constant. Le couple est Maximal pour la valeur  $g_M$  de  $g$  qui rend minimale la somme  $R^2/g + X^2 g$ .

*Cette somme est minimale quand les deux termes sont égaux.*

Dans ces conditions, le couple est maximal pour un glissement  $g_M$  satisfaisant:

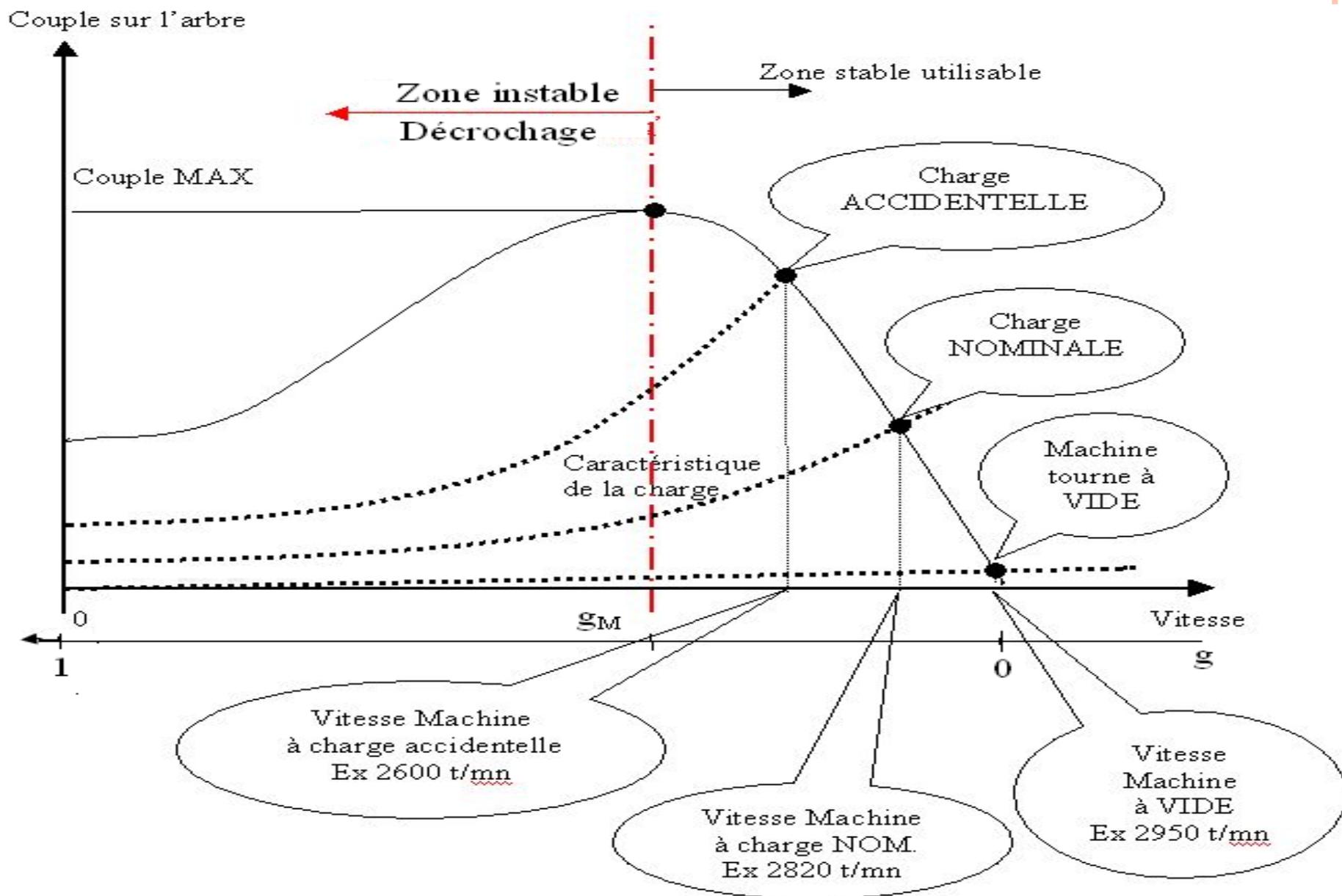
$$\frac{R^2}{g_M} = x^2_M \Rightarrow g_M = \frac{R}{x} \Rightarrow C_{\max} = \frac{p}{\omega} \cdot \frac{3V_1^2}{2x}$$

$$C_{\max} = \frac{p}{\omega} \cdot \frac{3V_1^2}{2 \frac{l_2 \omega}{m^2}} = \frac{3pm^2}{2l_2} \cdot \frac{V_1^2}{\omega^2} \quad \omega = 2\pi f \Rightarrow C_{\max} = k \cdot \left( \frac{V_1}{f} \right)^2$$

Pour avoir un couple *maximal au démarrage*, il faut que:

$$\frac{R}{x} = 1 \quad \Rightarrow \quad R_2 = l_2 \omega$$

## Caractéristique mécanique $C = f(\Omega)$ de la machine asynchrone:



## Fonctionnement en génératrice et en moteur:

$$-1 < g < 0$$

$$P_{jR} > 0$$

$$P_{tr} = P_{jR} / g < 0$$

$$P_{méca} = (1-g) \cdot P_{tr} < 0$$

fonctionnement en  
génératrice asynchrone

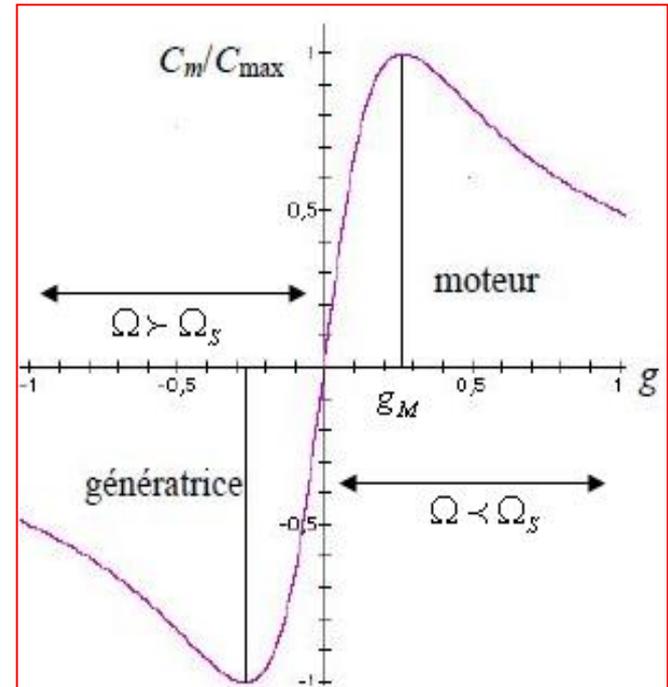
$$0 < g < 1$$

$$P_{jR} > 0$$

$$P_{tr} = P_{jR} / g > 0$$

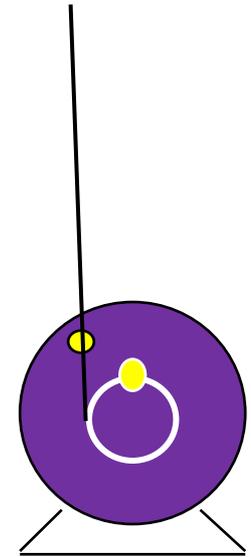
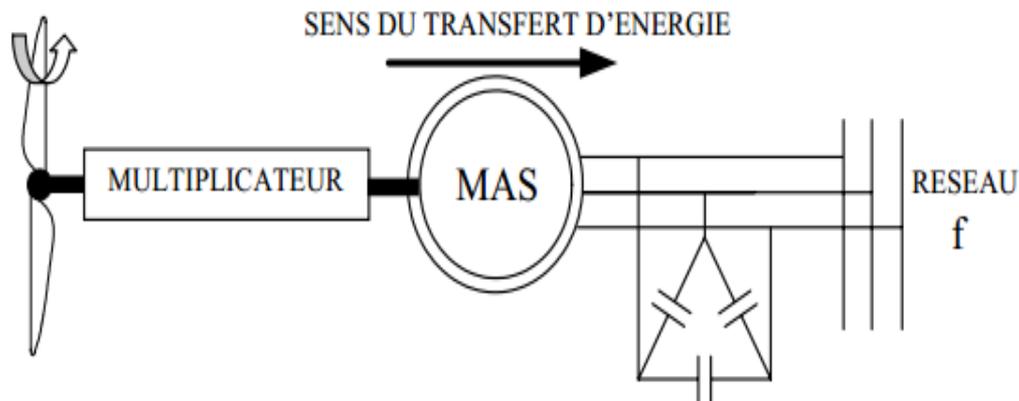
$$P_{méca} = (1-g) \cdot P_{tr} > 0$$

fonctionnement en  
moteur asynchrone



Le fonctionnement en génératrice asynchrone a lieu, en particulier, toutes fois où la charge devient entraînée et que  $\Omega > \Omega_s$

## Utilisation de la génératrice asynchrone



### Turbine, éolienne

consommateur d'énergie réactive nécessaire à la magnétisation du rotor de la machine, ce qui détériore le facteur de puissance global du réseau. Celui-ci peut-être toutefois amélioré par l'adjonction de capacités.

### Freinage contrôlé

Lors du mouvement de descente, La charge entraîne le moteur au-delà de sa vitesse de synchronisme (couple de freinage)



▪ Expression simplifiée dans la partie utile de la caractéristique:

Au voisinage du synchronisme:

$$g \ll g_M \quad \Rightarrow \quad \left( \frac{R}{g} \right)^2 \ll x^2 \quad \Rightarrow \quad c = \frac{p}{\omega} \cdot \frac{3V_1^2}{R} g$$

*C est alors proportionnel au glissement g.*

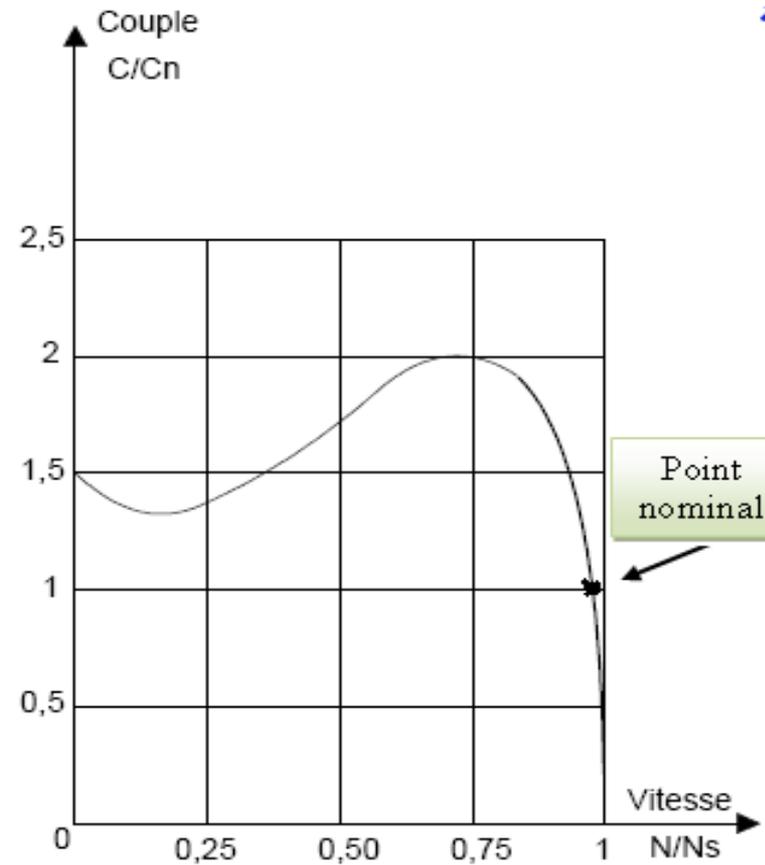
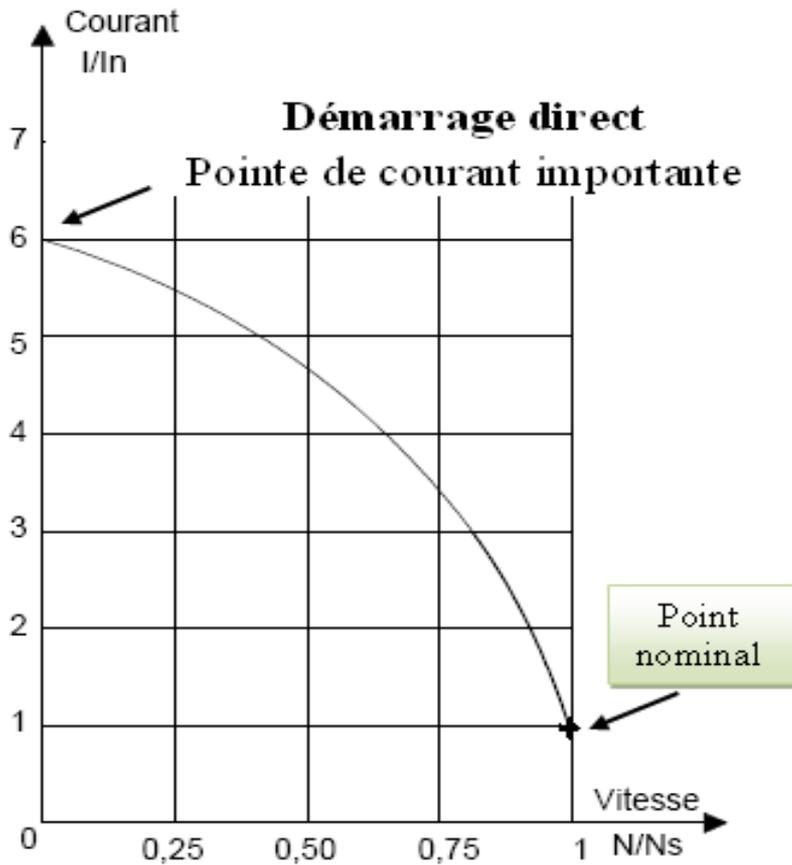
Courant absorbé par le moteur:

En négligeant  $\underline{I}_{10}$  devant  $\underline{I}_1$  dans le schéma équivalent,

$$I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{\left( \frac{R}{g} \right)^2 + x^2}}$$

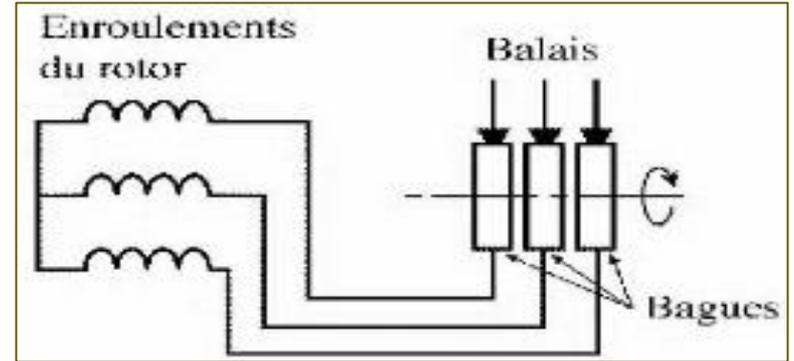
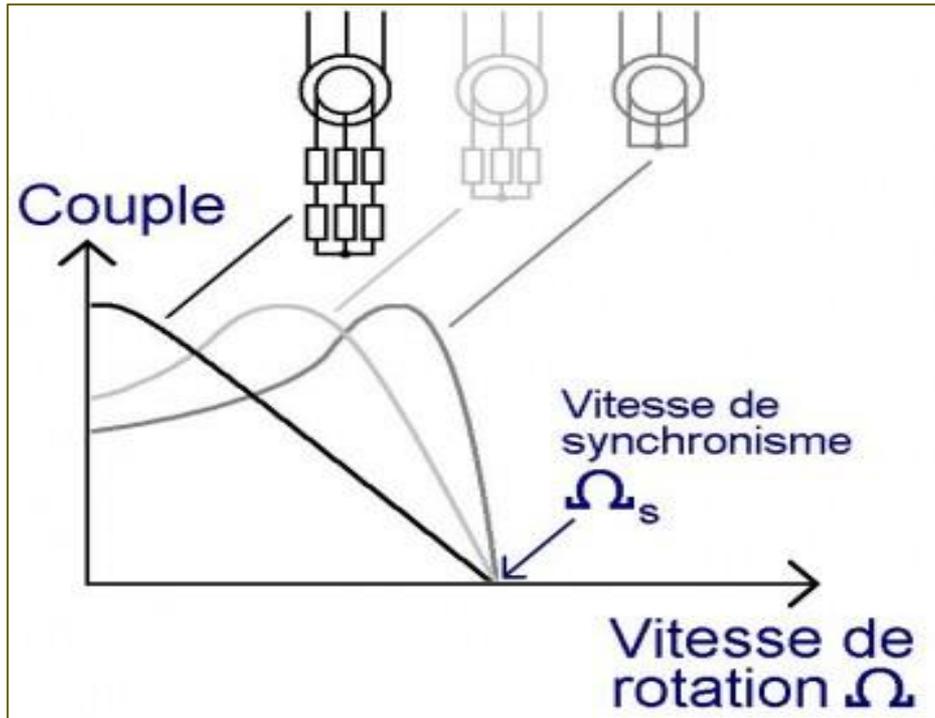
Cette hypothèse est satisfaite au début de démarrage car:

$$\Omega = 0 \quad \Rightarrow \quad g = 1 \quad I_{1d} = \frac{V_1}{\sqrt{R^2 + x^2}} \approx 4 \text{ à } 8 \text{ fois } I_{1n} \gg I_{10}$$



Pour les puissance  $>$  à 3 Kw, il faut limité la pointe de courant au démarrage (échauffement des conducteurs important et chute de tension en ligne excessive).

## Moteur asynchrone à rotor bobiné:



On peut faire varier la vitesse par action sur la résistance des enroulements rotoriques.

En effet,  $\Omega \searrow$  si  $R_{ext} \nearrow$  mais  $g \nearrow$   $P_{jR} \nearrow$  et  $\eta \searrow$

On peut surtout choisir  $C_d$  par action sur  $R_{ext}$

## Exploitation des données de la plaque signalétique:

Les valeurs de  $\cos\varphi$ ,  $C_u$  et  $I$  au point nominal se déduisent de la plaque signalétique du moteur.

The image shows a nameplate for a Leroy-Somer motor. The main data is as follows:

MOT. 3 ~ FLSB 180 M		N° 596059Z0001		208 kg	
V	Hz	min <sup>-1</sup>	kW	cos φ	A
Δ 230	50	1427	17	0.88	57
Y 400	50	1427	17	0.88	33

Additional information on the nameplate includes: IP 55, I cl. F, 40 °C, S3, 40 %, 6 d/h, ROTOR: I = 42A U = 250V, GRAISSE ESSO UNIREX N3, DE 6310 C3 15 cm<sup>3</sup>, NDE 6310 C3 11000 h.

Callouts from the image point to the following data:

- Couplage adopté:** Points to the Δ 230 and Y 400 rows.
- Vitesse nominale:** Points to the 1427 min<sup>-1</sup> value.
- Intensité du courant en ligne:** Points to the 57 A value for the Δ 230 connection.
- Facteur de Puissance:** Points to the 0.88 cos φ value.
- Puissance utile:** Points to the 17 kW value.

- Dans le cas du couplage Δ:

$$\begin{cases} U = 230V \\ I = 57A \\ \cos \varphi = 0.88 \end{cases} \Rightarrow P_{en} = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 57 \cdot 0,88 = 20kw$$
- Dans le cas du couplage Y:

$$\begin{cases} U = 400V \\ I = 33A \\ \cos \varphi = 0,88 \end{cases} \Rightarrow P_{en} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 33 \cdot 0,88 = 20kw$$

Ce qui conduit à un rendement au point nominal:

$$\eta_n = \frac{P_u}{P_{en}} = \frac{17}{20} = 0,85$$

Le couple utile vaut:

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega_n} = \frac{30.17000}{1427.\pi} = 114 N.m$$

La vitesse de synchronisme est 1500tr/min:  
(le nombre de paires de pôles est p=2)

$$g = \frac{1500 - 1427}{1500} = 4,9\%$$

### Les essais de la machine asynchrone:

Ils permettent de déterminer les éléments du schéma monophasé équivalent et de prévoir le comportement du moteur dans les diverses situations où il peut être mis en œuvre.

#### ➤ Mesure de la résistance d'une phase du stator

On mesure à chaud en continu, sous basse tension, la valeur de la résistance  $R_B$  entre 2 bornes du stator (couplé en  $\Delta$  ou  $Y$ ).

$$R_B = \frac{V}{I} = \frac{2}{3} R_1 \quad \text{ou} \quad R_B = \frac{V}{I} = 2R_1$$

➤ Essai à vide avec une machine désaccouplée:  $g=0$

Le moteur à vide est alimenté sous sa tension nominale  $U_n$ . Sa vitesse  $n$  est proche de  $n_s$ . On relève l'intensité efficace du courant en ligne  $I_0$ , les puissances active  $P_0$  et réactive  $Q_0$ .

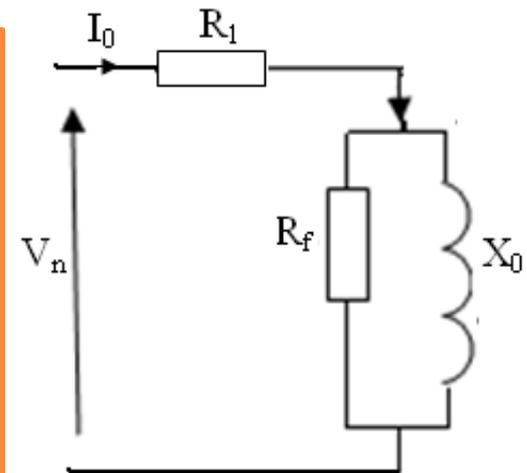
Au synchronisme ( $g=0$ ), le schéma monophasé équivalent se simplifie:  
On peut déduire de cet essai les valeurs de  $R_f$  et  $x_0$ .

▪ détermination de  $X_0$ :

si on néglige la chute de tension aux bornes de  $R_1$ :

$$x_0 = 3 \frac{v_n^2}{Q_0}$$

$Q_0$  est la puissance réactive absorbée par les 3 phases.



## ▪ Détermination de $R_f$ :

On mesure  $R_f$  en séparant les pertes fer  $P_{fer}$  et les pertes mécaniques  $P_{pm}$  dans  $P_0$ .

$$P_0 = P_{fer} + P_{js} + P_{pm} \quad \text{soit} \quad P_{fer} + P_{pm} = P_0 - \frac{3}{2} \cdot R_B \cdot I_0^2$$

↪ les pertes fer sont proportionnelles à  $B_m^2$  donc à  $U^2$ . Elles sont nulles pour  $U=0$ .

↪ si on alimente le moteur à vide sous tension nominal  $U$ . sa vitesse  $\Omega$  varie peu.

Les pertes mécaniques  $P_{pm}$  dépendant de  $\Omega$ , sont quasiment constantes.

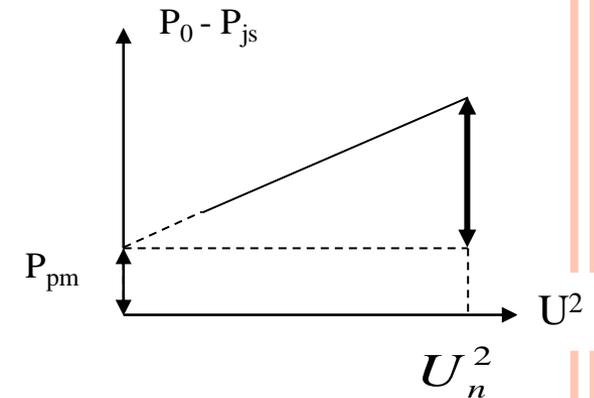
➤ on peut considérer que ce sont les mêmes en charge, puisque  $\Omega$  diffère peu entre la marche à vide et en charge (g faible).

On fait varier la tension efficace  $U$  et on trace

$P_0 - P_{js} = f(u^2)$ : c'est pratiquement une droite!

➤ par extrapolation linéaire, on en déduit  $P_{pm}$  et  $P_{fr}$

➤ Si on néglige la chute de tension aux bornes de  $R_1$ :



$$R_f = 3 \frac{V_n^2}{P_{fer}}$$

➤ Essai en court-circuit rotor :  $g=1$

Le rotor en court-circuit est bloqué. On alimente le moteur sous tension réduite  $U_{cc}$  (10 à 20% de  $U_n$ ) de telle sorte que le courant appelé  $I_{cc}$  soit proche du courant nominal  $I_n$ . On relève  $I_{cc}$ , les puissances actives  $P_{cc}$  et réactive  $Q_{cc}$ .

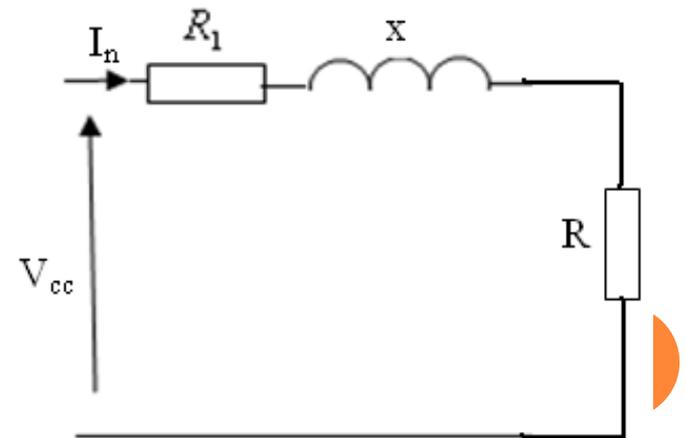
Dans le cas d'une alimentation sous tension réduite, les pertes fer sont très faibles (car  $P_{fer} = k.U^2$ ).

la composante active  $I_{0a}$  (dans  $R_f$ ) de  $I_0$  est négligeables. De même pour la composante réactive  $I_{0r}$  (dans  $x_0$ ).

Le rotor étant bloqué ( $g=1$ ), le schéma équivalent se simplifie:

$$R = \frac{P_{cc}}{3I_n^2} - R_1$$

$$x = \frac{Q_{cc}}{3I_n^2}$$



# La marche industrielle de la machine asynchrone

## Démarrage:

Position du problème: démarrage direct

Au démarrage du moteur ( $g=1$ ), la pointe d'intensité est de l'ordre de 4 à 8 fois

le courant nominal  $I_n$ :

$I_0$  négligeable devant  $I'$        $\Rightarrow I_1 = I_1' = \frac{V_1}{\sqrt{R_1^2 + x^2}} \gg I_n$

- chute de tension non négligeable au niveau du réseau d'alimentation,
- couple d'accélération important  $\longrightarrow$  conséquences néfastes sur les systèmes mécaniques (usure rapide).

Pour résoudre ces problèmes, il existe 2 grandes famille de solutions:

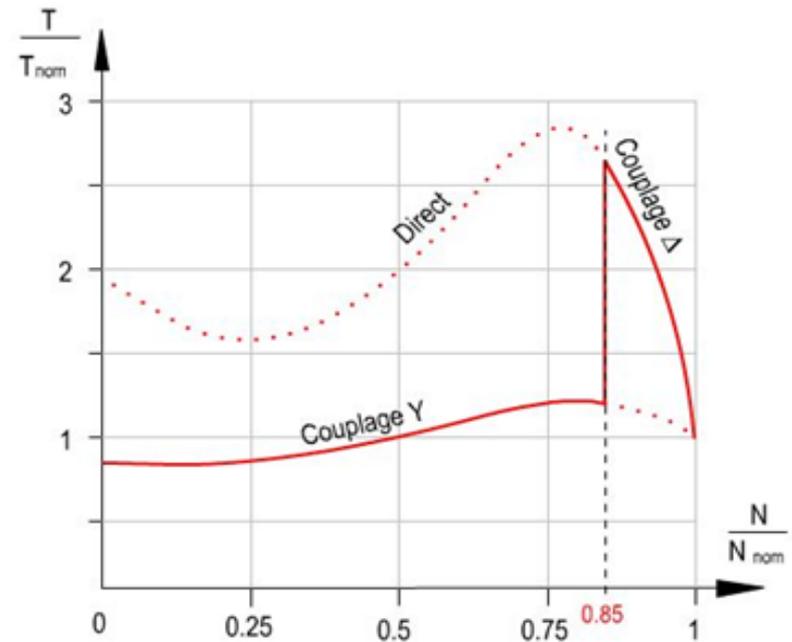
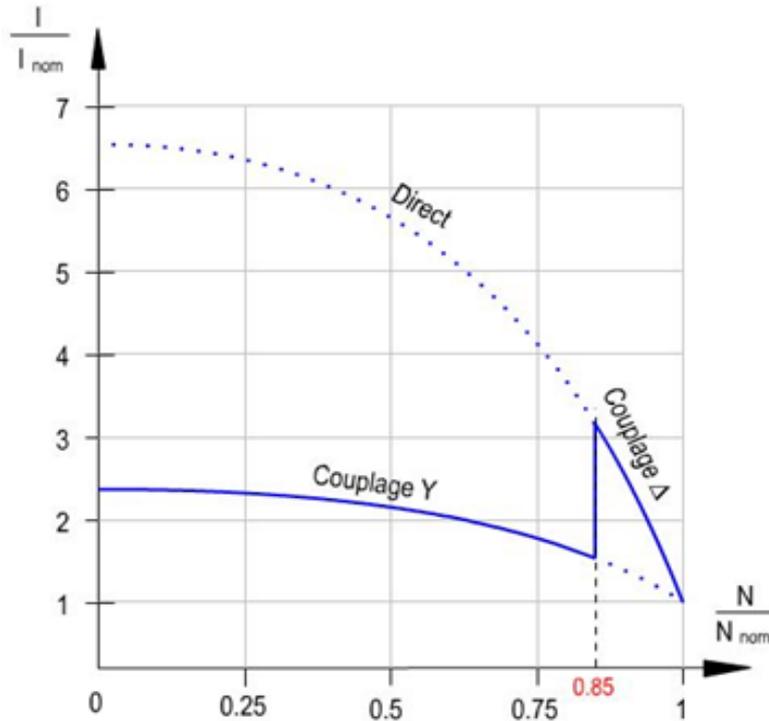
- augmenter R
- Réduire la valeur efficace V

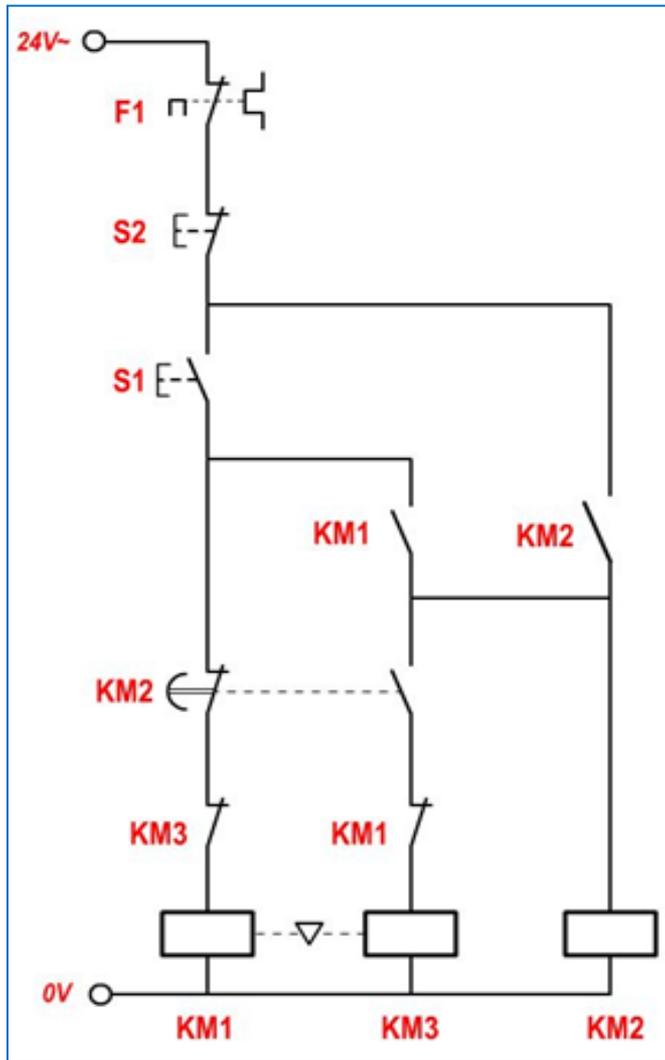
## démarrage étoile (Y)-triangle ( $\Delta$ ):

Le moteur est conçu pour fonctionner en  $\Delta$ . Sur un réseau 3~ 400V composée, la plaque signalétique du moteur doit indiquer 400V/690V.

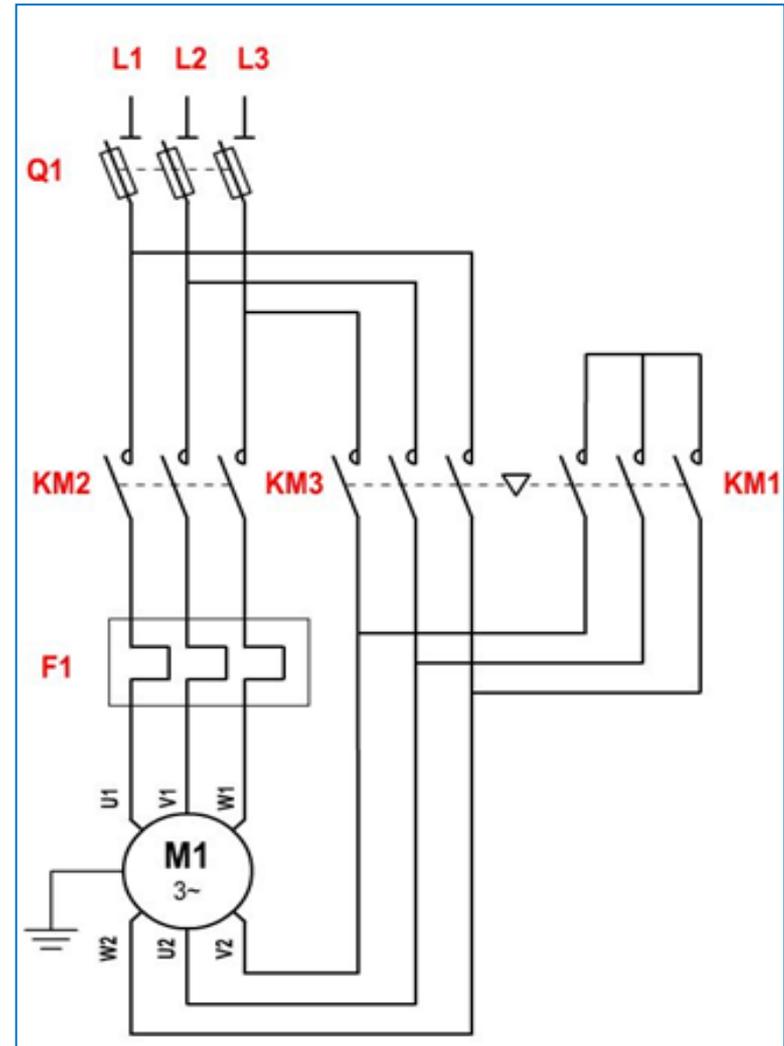
$$I_Y = \frac{I_{\Delta}}{3}$$

$$C_Y = \frac{C_{\Delta}}{3}$$





Circuit de commande



Circuit de puissance

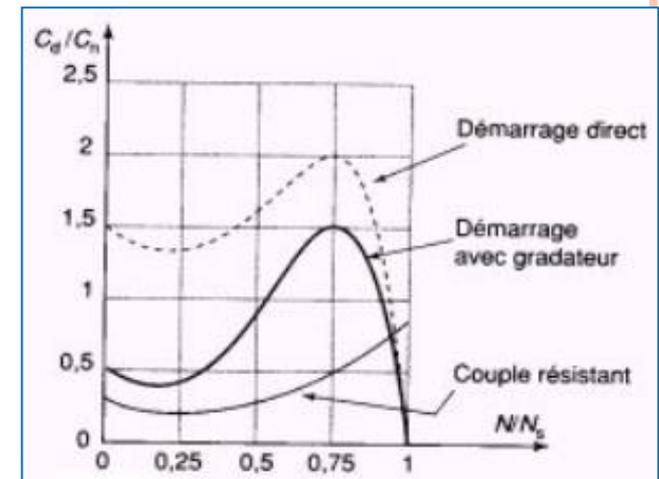
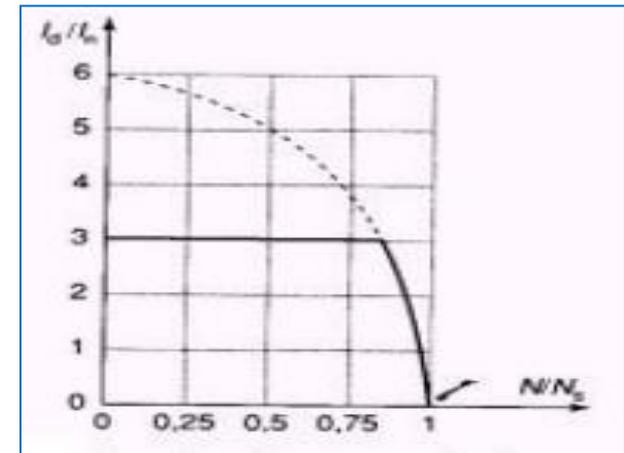
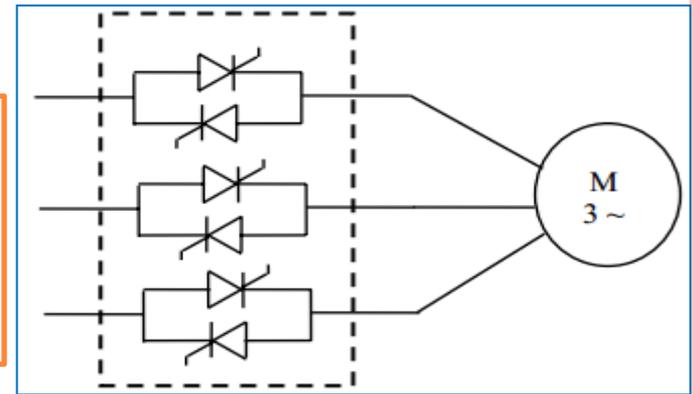
## Démarrateur-ralentisseur progressif électronique:

Le moteur asynchrone triphasé est alimenté par l'intermédiaire d'un gradateur qui provoque la montée progressive de la tension.

Exemple : L'intensité de démarrage  $I_d = 6I_n$  est limitée à  $3I_n$ .

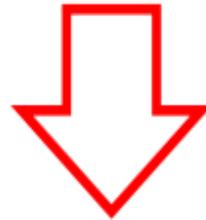
Limiter le courant au démarrage  $\rightarrow$  réduit la tension efficace ce qui limite le couple moteur au démarrage.

↻ s'assurer en permanence que le couple de démarrage soit supérieur au couple résistant du système à entraîner.



## Contrôle de la vitesse

- ❑ Le Moteur asynchrone alimentée par une tension efficace constante et à fréquence de tension constante est une machine fonctionnant à vitesse presque constante lorsque la charge varie
- ❑ La caractéristique mécanique  $T = f(\omega)$  dans la région stable est très "raide" → petites variations de la vitesse avec la variations de charge



- ❑ Au cours des dernières années le moteur asynchrone a été principalement utilisé dans les applications à vitesse constante (pompes) alors que les moteurs à courant continu ont été utilisés dans des applications à vitesse variable
- ❑ Actuellement le moteur asynchrone est utilisé dans de nombreuses applications qui nécessitent **une vitesse variable** comme une alternative aux moteurs à courant continu

La vitesse du moteur à induction

$$\Omega_r = (1 - g) \cdot \Omega_s = (1 - g) \cdot \frac{60 \cdot f}{p} \quad [\text{tr/mn}]$$



Méthodes de contrôle de la vitesse du moteur asynchrone

- 1) Variation du Nombre de paires pôle p
- 2) Variation du glissement g, par:
  - 2.1. Variation de la résistance du rotor (machines à rotor bobiné)
  - 2.2. Variation de la tension alimentation (fréquence constante)
- 3) Variation de la fréquence d'alimentation f
- 4) 2.2)+3) avec un rapport constant V / f ie flux magnétique constant

## 1) Variation du nombre de paires de pôles p

- ❑ Régulation de la vitesse synchrone par étapes
- ❑ **Exemple:** un ascenseur nécessitant une certaine vitesse de levage et une vitesse faible lorsqu'on se rapproche l'étage de destination
- ❑ Variation du nombre de Paires de Pole, Cette variation peut être obtenue en faisant varier la connexion dans les enroulements du stator

### *Solutions de varier le nombre de paires de pôles:*

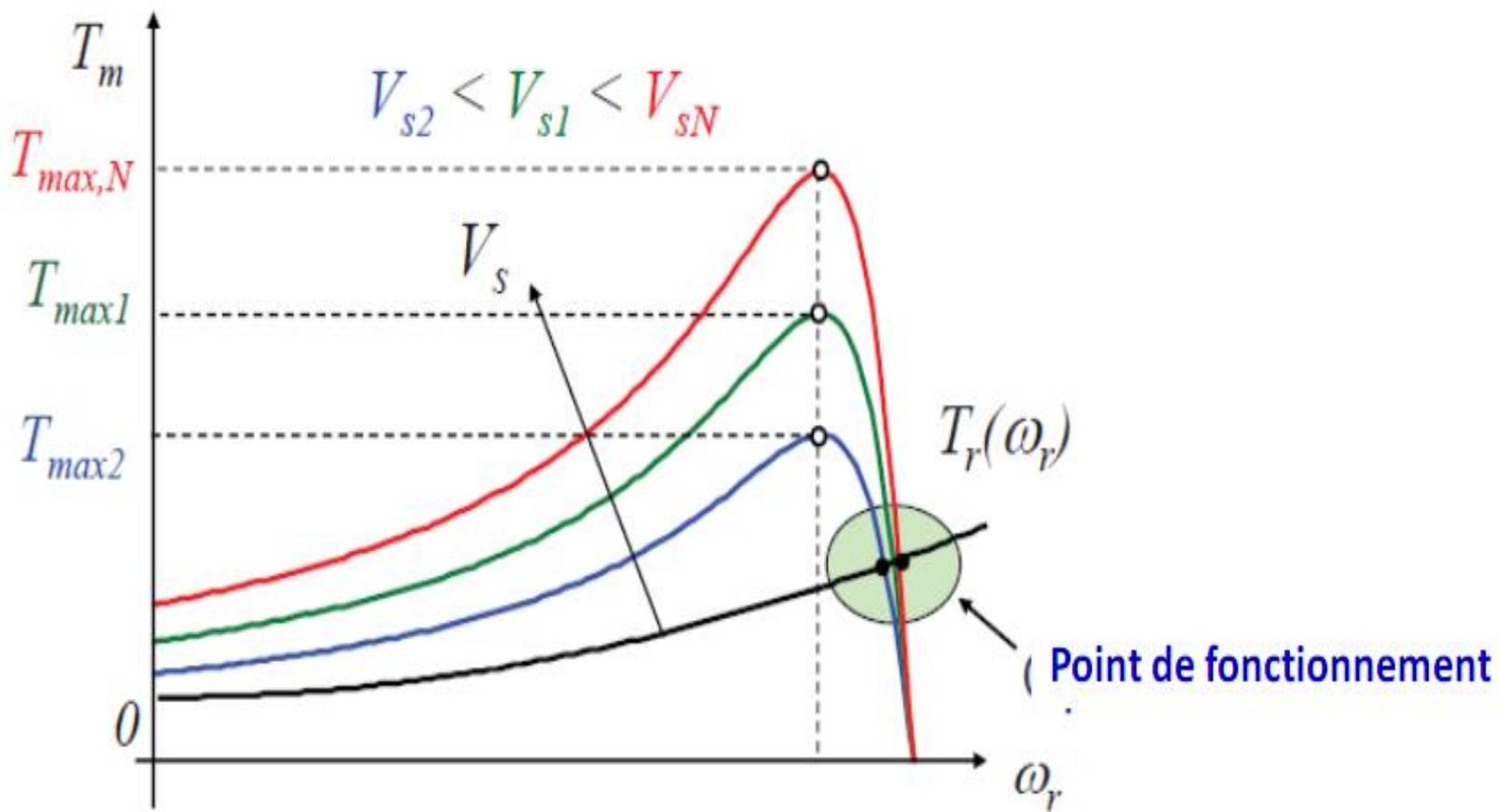
- Double enroulement du stator: deux enroulements avec différents pôles , Nombre de paires sont construits; un seul enroulement est fourni pour régler la vitesse synchrone (solution coûteuse)
- Décollement du stator simple qui peut être connecté au  $p$  paires de pôles ou  $2p$  paires de pôles (enroulement de Dahlander) le moteur peut fonctionner à deux vitesses avec un rapport 1:2

## Variation de la tension d'alimentation

- Variation de l'amplitude la tension d'alimentation entre 0 et la valeur nominale, avec une fréquence constante
- Le glissement du couple maximal reste constante mais le couple maximal varie proportionnellement à la valeur au carré efficace de tension

$$g_{C_{\max}} \cong R / X \qquad C_{\max} \cong 3 \cdot \frac{P}{\omega} \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot X}$$

La plage de régulation de la vitesse est faible; Cependant, cette méthode est utile de démarrer les moteurs chargés avec un couple résistant qui est fonction de la vitesse (méthode dite soft-start)



- Le moteur est alimenté au stator par l'intermédiaire d'un convertisseur AC-AC qui assure à l'entrée une Tension constante
- Le gradateur peut changer seulement la valeur efficace de tension, pas sa fréquence

## Réglage avec rapport constant $V / f$ (flux constant)

▪ Lorsque la fréquence d'alimentation varie, le point de de la machine change et l'exploitation du matériaux de la machine change aussi

▪ Pour maintenir constante l'exploitation du matériau des quantités nominales doivent être calculées

$$c_{\max} = k \left( \frac{v_1}{f} \right)^2 = k \phi^2$$

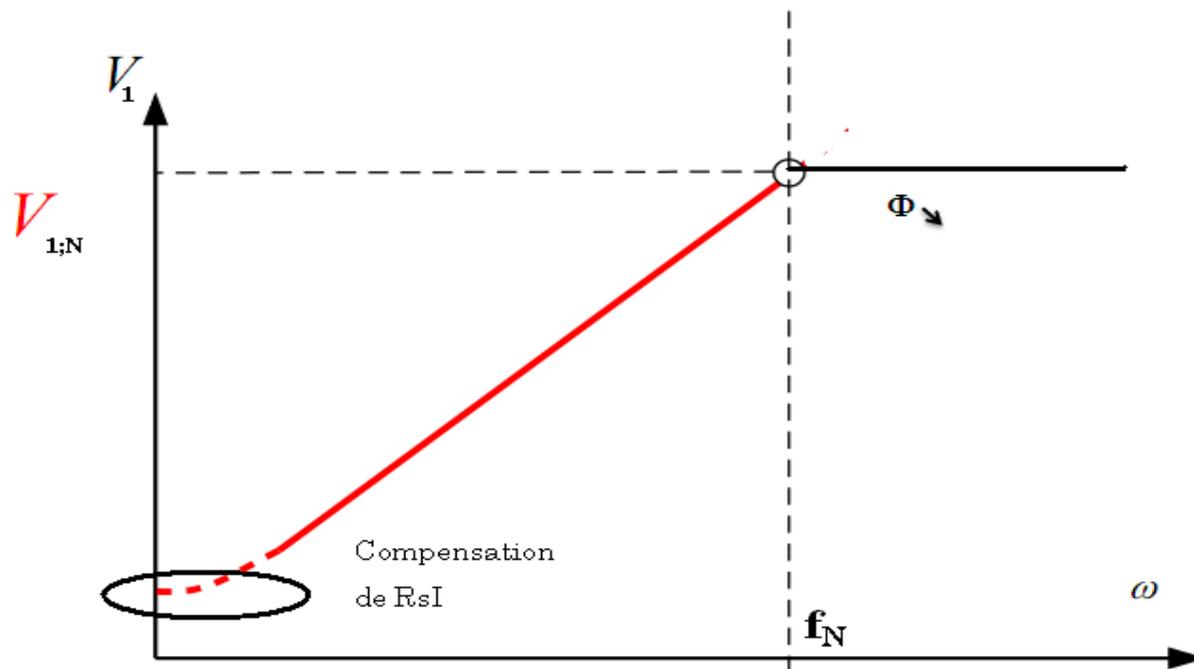
Avec un couple résistant constant, les courants du moteur et le flux magnétique efficace ne devrait pas changer lorsque la fréquence varie.

✓ Les pertes sont aussi presque constantes; Les pertes fer augmentent lorsque la fréquence augmente

✓ En outre, les tensions et les courants dans le cas de l'alimentation par un onduleur ne sont pas parfaitement sinusoïdale mais contiennent des harmoniques d'ordre importants ➡ Augmentation des pertes d'environ 5-10%

Pour maintenir le flux constant, la tension d'alimentation doit varier presque proportionnellement à la fréquence d'alimentation

→ rapport constant  $V / f$



□

A basse fréquence, l'influence de la chute de tension sur l'impédance de stator ne peut être négligé.

# Commande scalaire de la machine asynchrone

