

# Machines électriques

Machine asynchrone

André Hodder

# Sommaire

- Introduction
- Circuit magnétique
- Transformateur
- Eléments de base des machines
- **Machine asynchrone**
- Machine à courant continu
- Machine synchrone
- Moteur synchrone à aimants permanents
- Moteur pas à pas

# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé

# La machine asynchrone

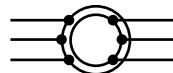
Selon la définition du Vocabulaire Electrotechnique International (IEV 411-31-09) :

Une machine asynchrone est une machine à courant alternatif dont la vitesse en charge et la fréquence du réseau auquel elle est reliée ne sont pas dans un rapport constant.

Les anglophones l'appellent "induction machine".

Le rotor peut être soit :

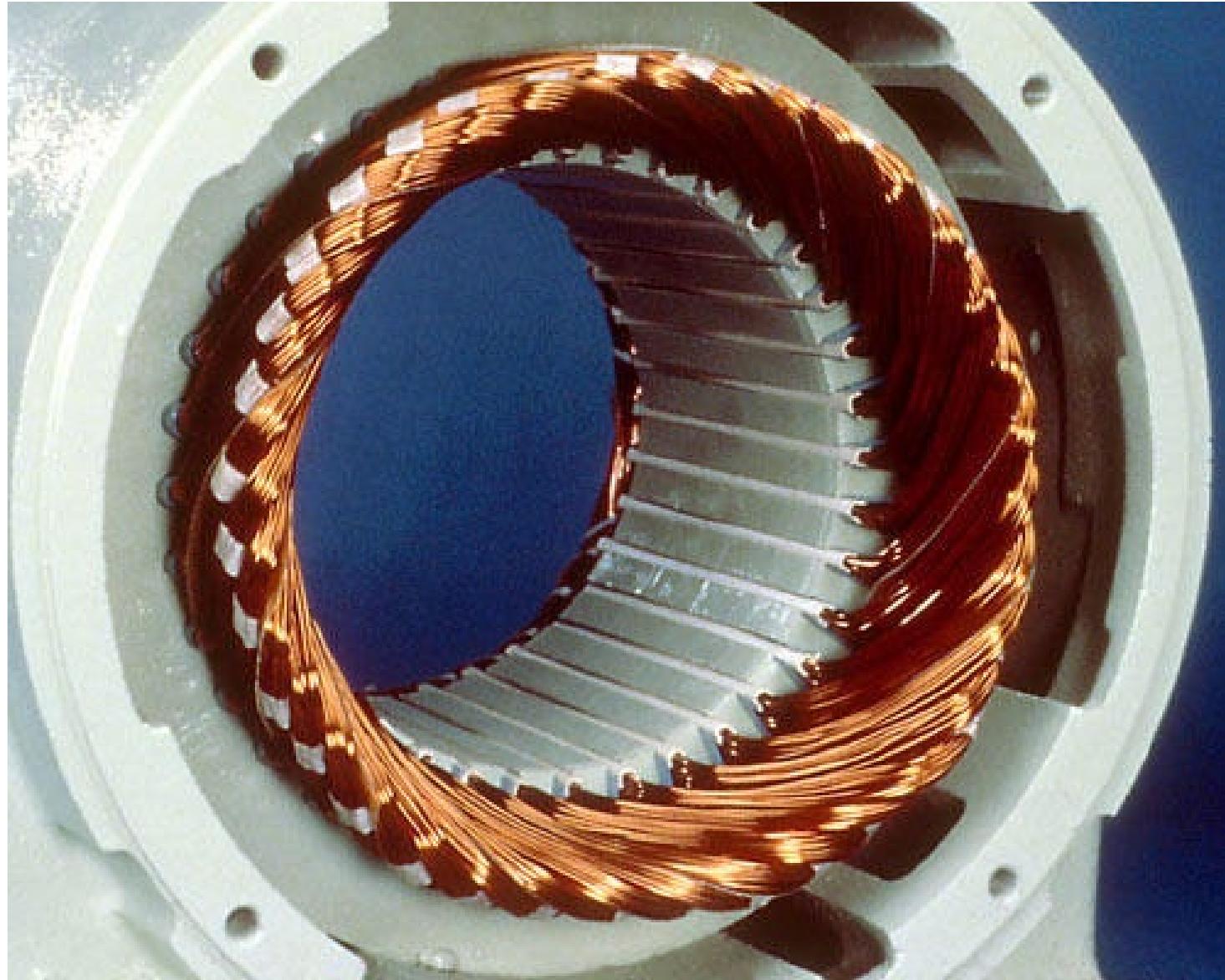
- bobiné (enroulement triphasé)



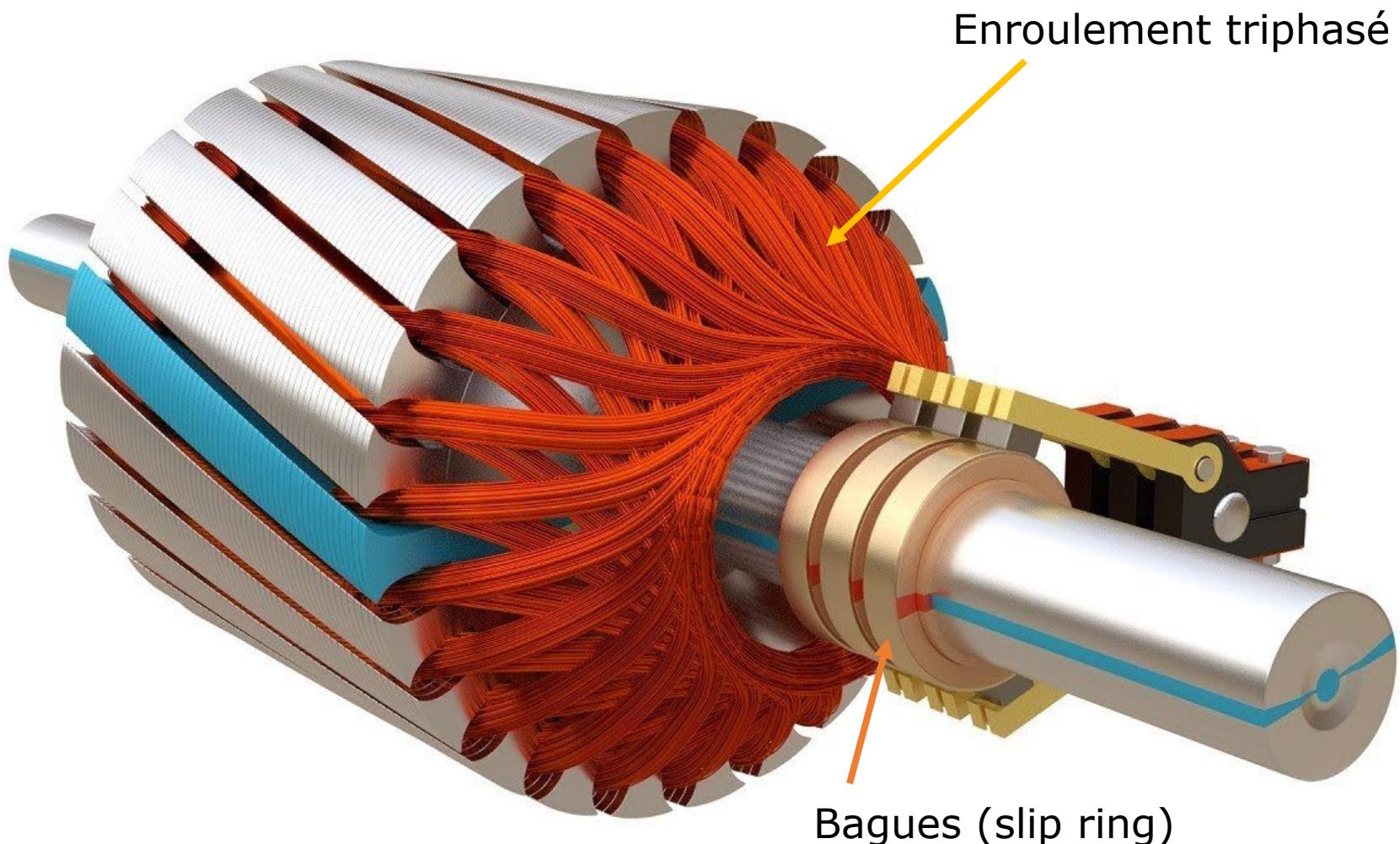
- à cage d'écureuil



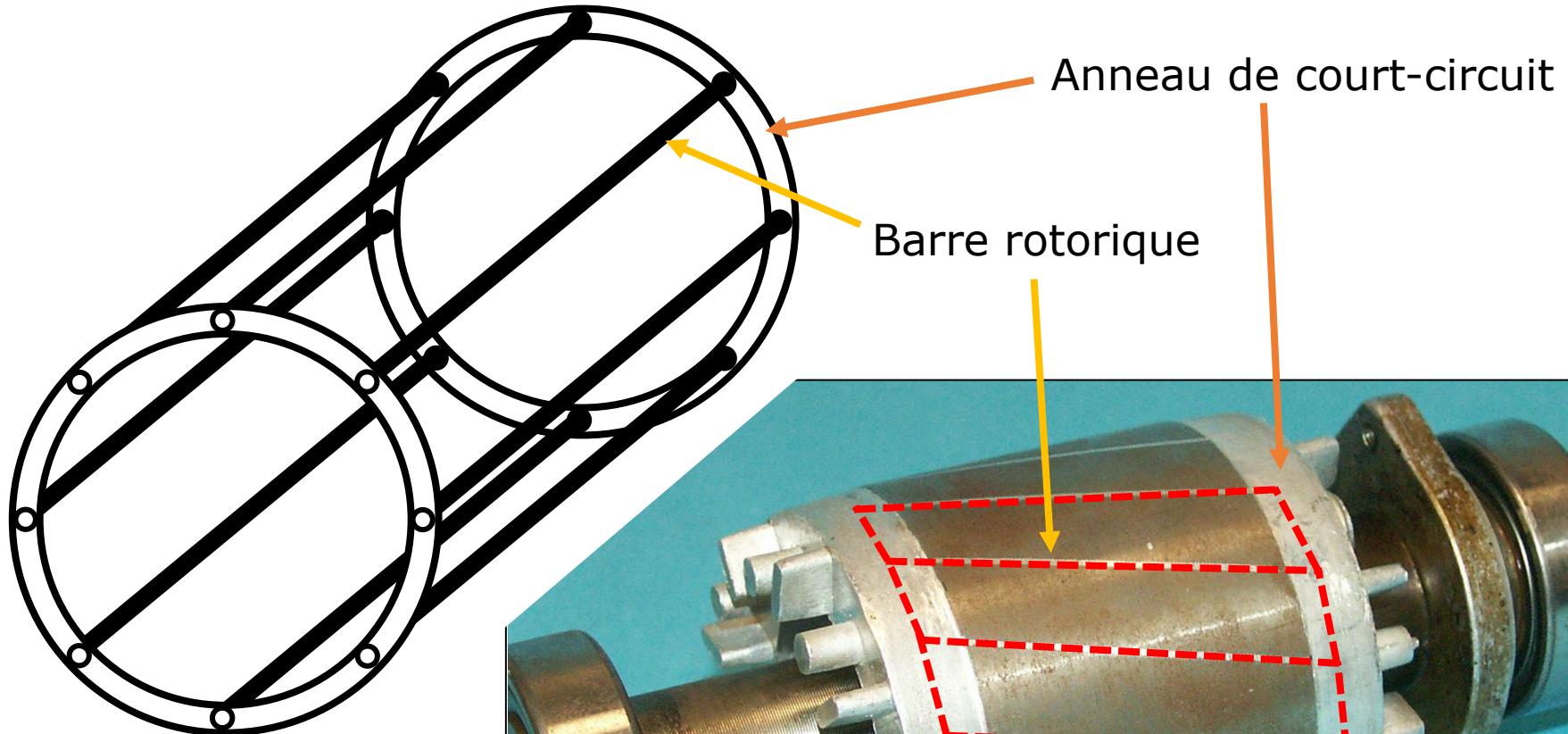
# Stator d'une machine asynchrone



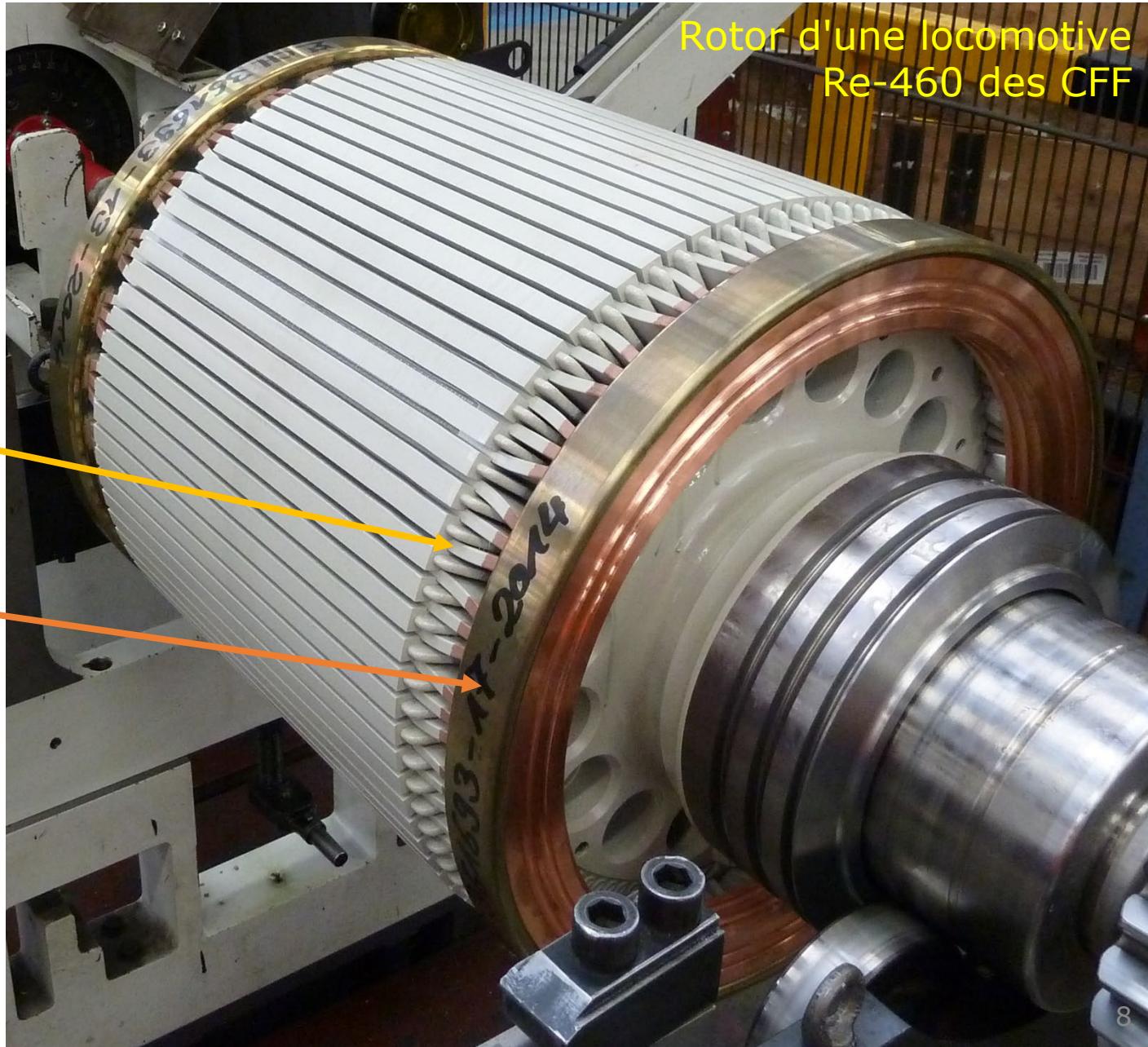
# Rotor d'une machine asynchrone à rotor bobiné



# Rotor d'une machine asynchrone à cage d'écureuil



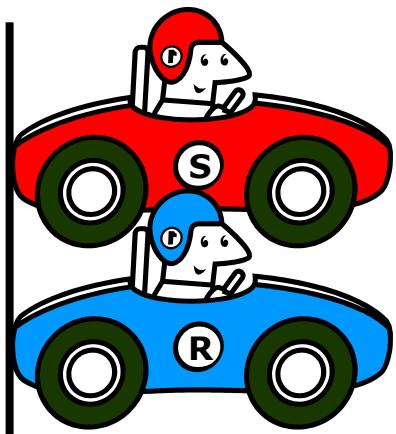
# Rotor d'une machine asynchrone à cage



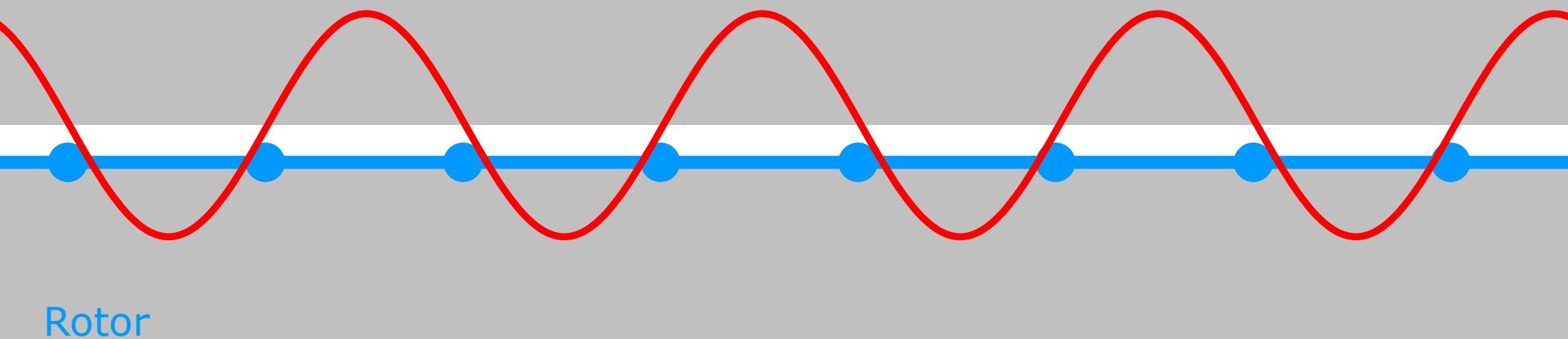
Barre rotorique

Anneau de court-circuit

# Principe de fonctionnement

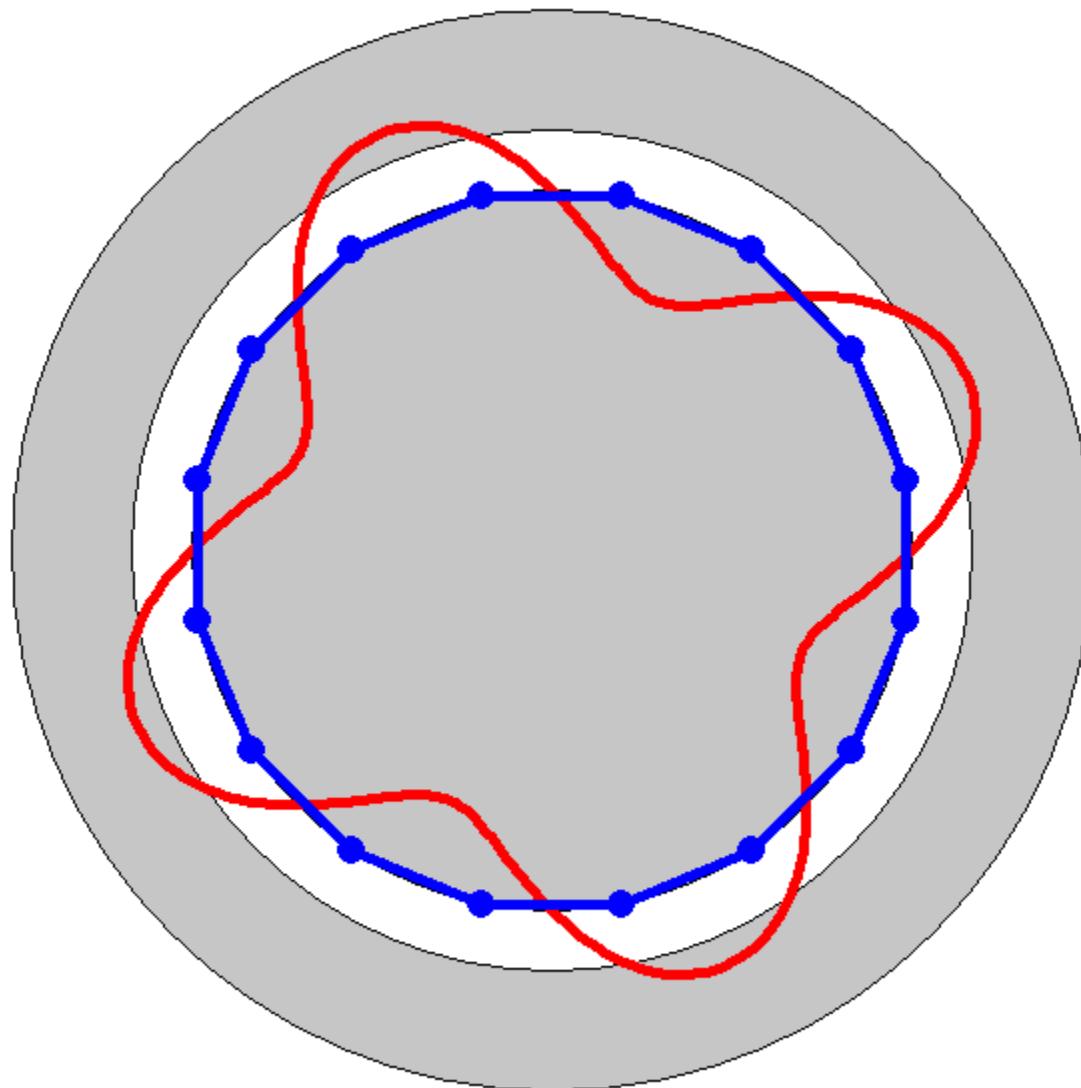


Stator



Rotor

# Principe de fonctionnement

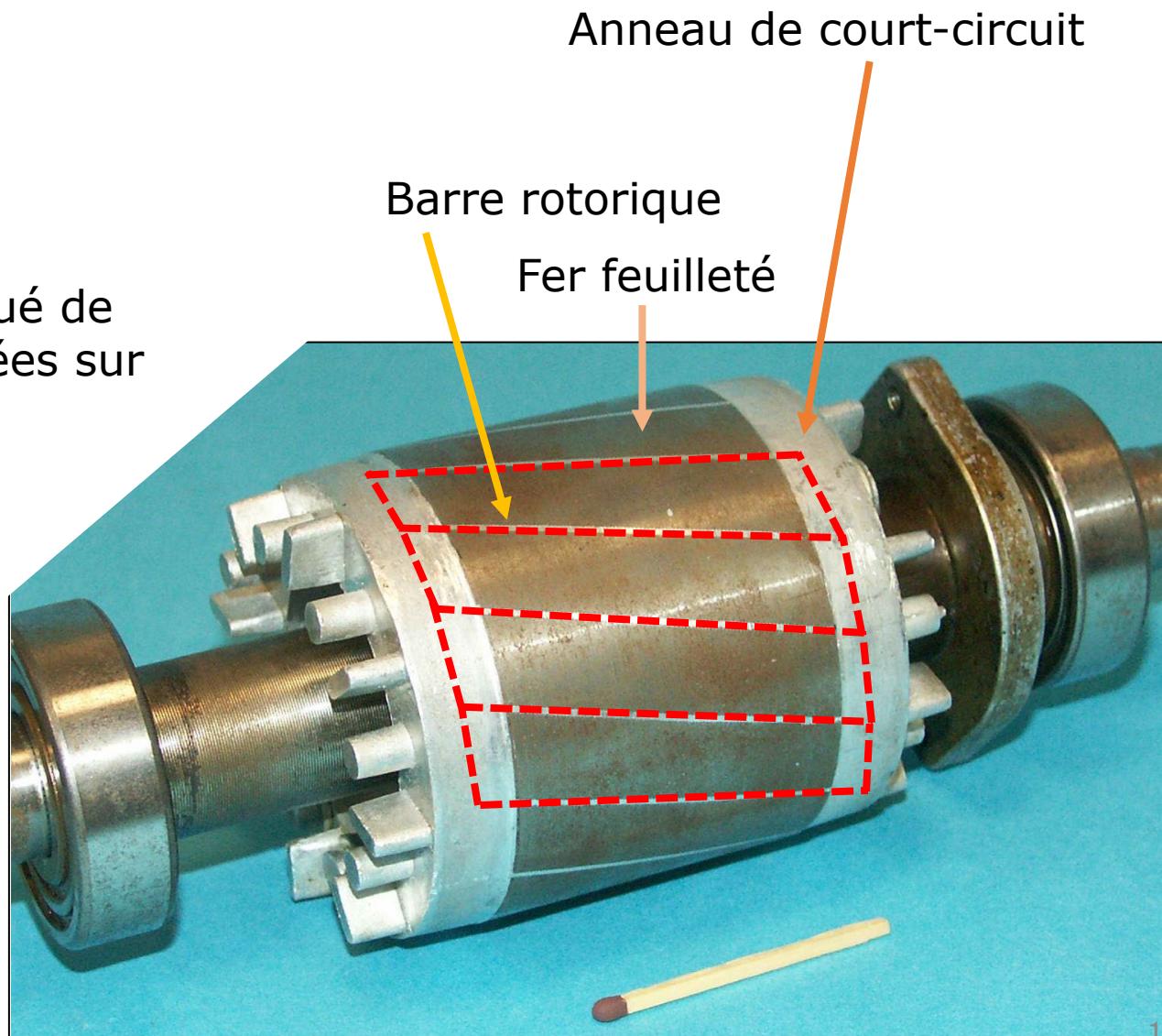


# Rotor d'une machine asynchrone à cage d'écureuil

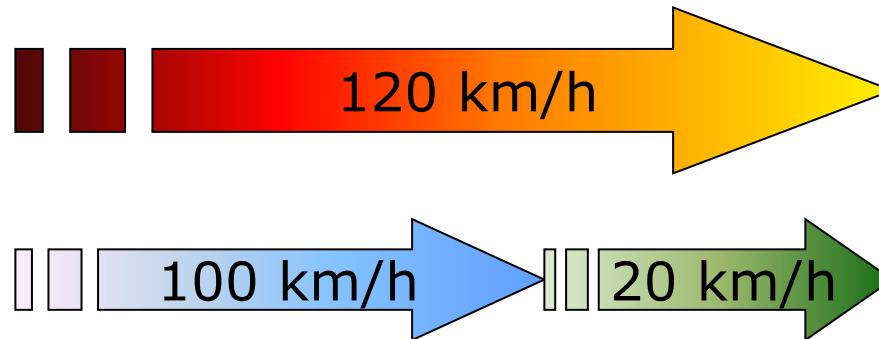
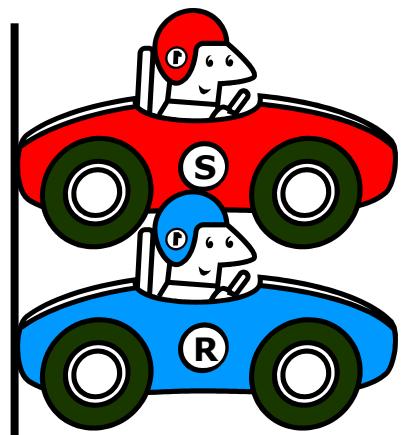
$$u_r = R_r i_r + \frac{d\Psi}{dt}$$

Le rotor est constitué de spires court-circuitées sur elles mêmes

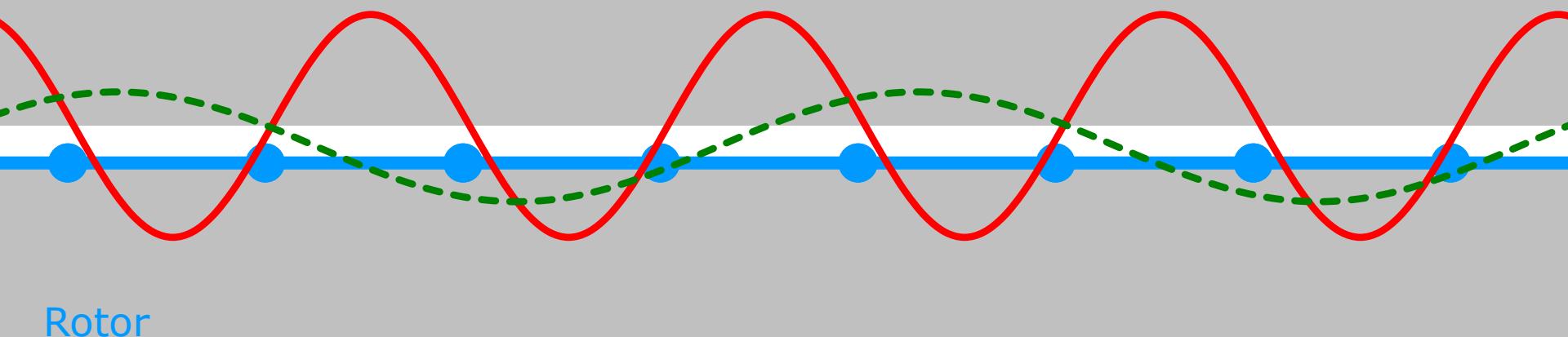
$$0 = R_r i_r + \frac{d\Psi}{dt}$$



# Principe de fonctionnement

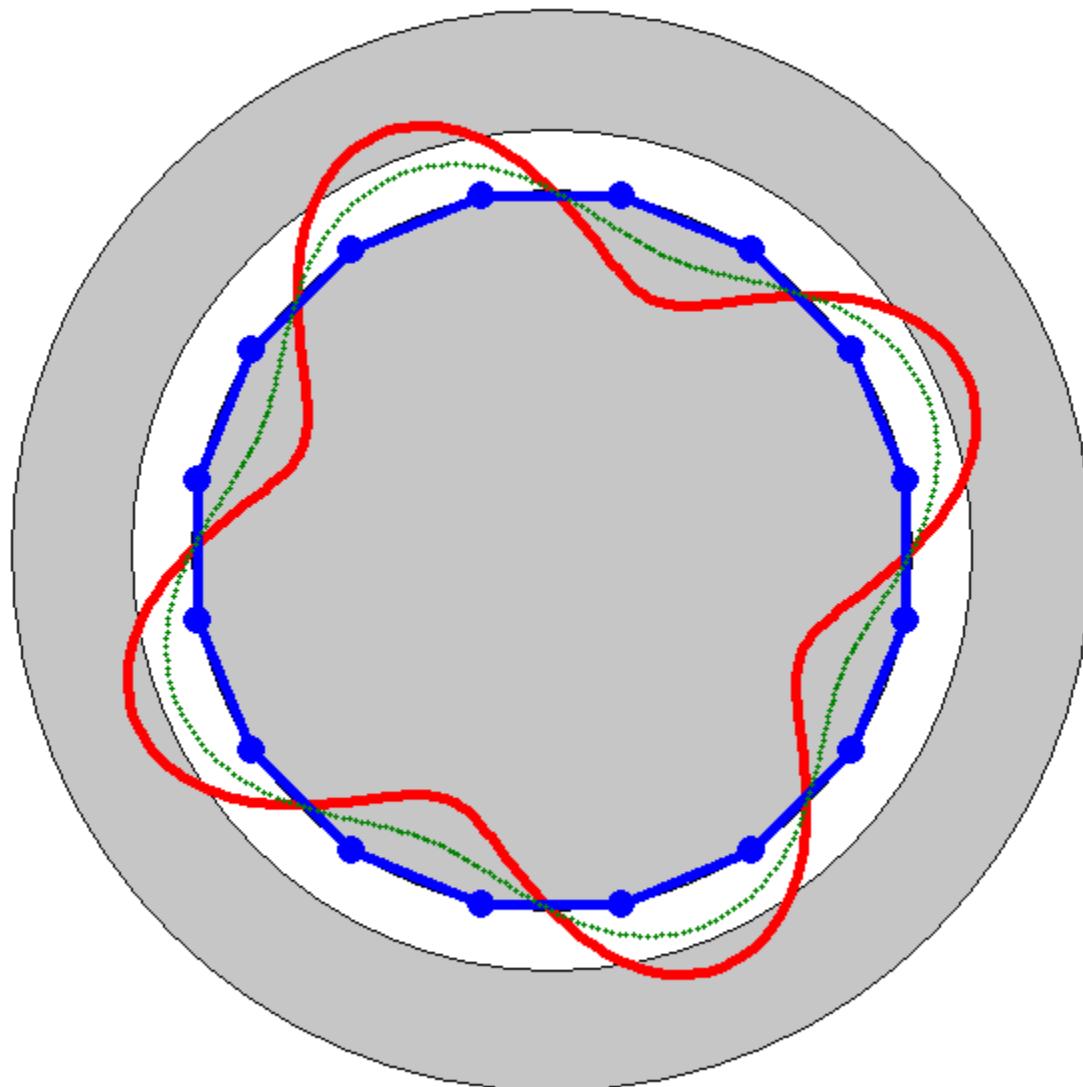


Stator

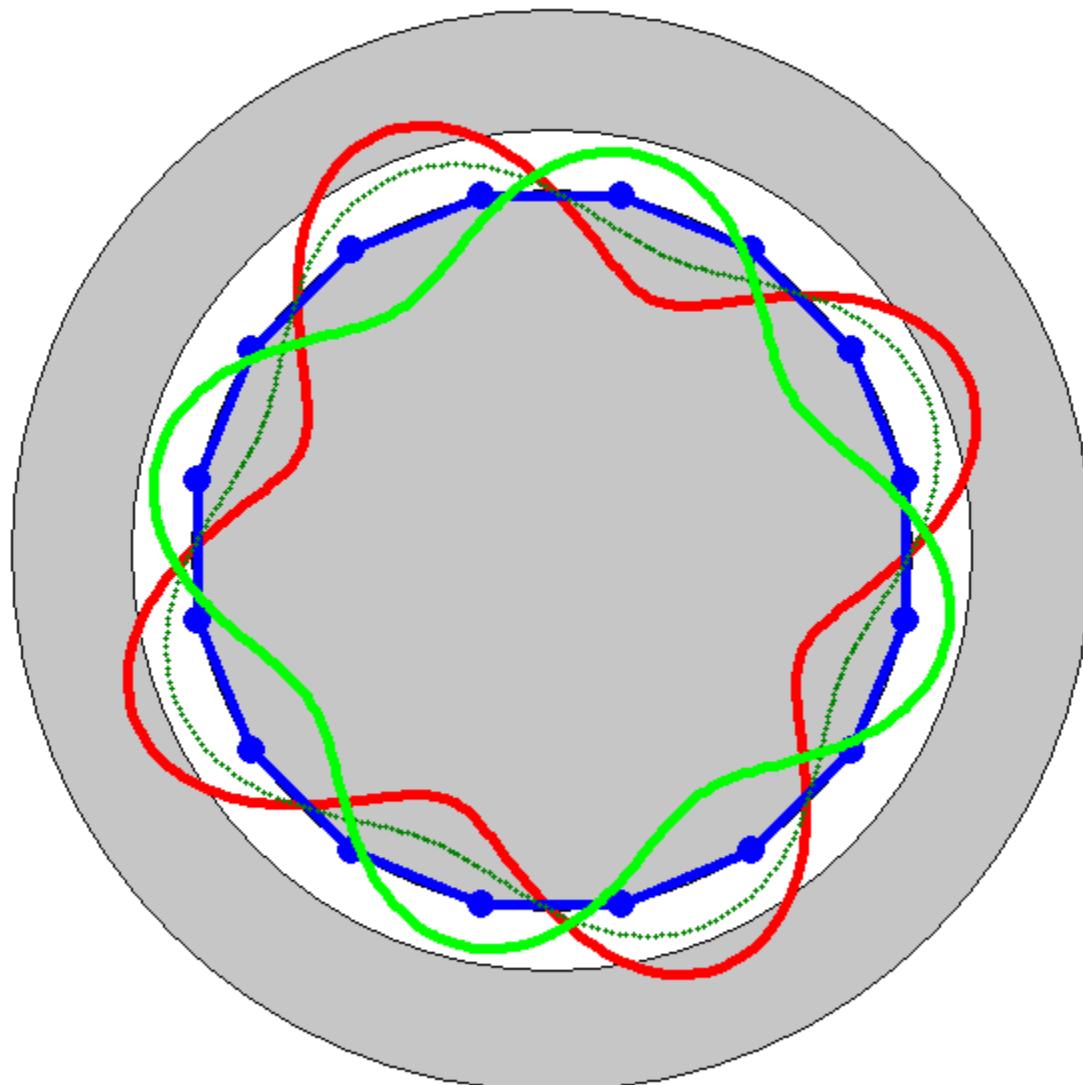


Rotor

# Principe de fonctionnement



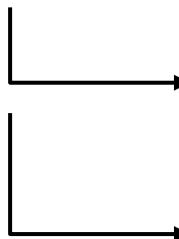
# Principe de fonctionnement



# Principe de fonctionnement

En raisonnant en fréquence électrique

$$\left. \begin{array}{l} f_s = 50 \text{ Hz} \\ f_m = 48 \text{ Hz} \end{array} \right\} f_s - f_m = 2 \text{ Hz}$$



Les deux champs stator et rotor ont la même fréquence et leurs interactions génèrent le couple.

Plus le glissement est grand, plus le courant induit est grand, et donc plus le champ  $B$  est grand et plus le couple est grand.

Le courant induit au rotor a une fréquence de 2 Hz dans le rotor

Quelle est la fréquence de ce courant vu du stator ?

2 Hz dans le rotor  
mais le rotor tourne à 48 Hz  
donc 48 Hz + 2 Hz = 50 Hz

Avec

$$\Theta = N i$$

$$\Theta = \int H dl$$

$$B = \mu H \longrightarrow f_B = 50 \text{ Hz}$$

# Principe de fonctionnement

Les deux champs stator et rotor ont la même fréquence et leurs interaction génère le couple.

Plus le glissement est grand, plus le courant induit est grand, et donc plus le champ B est grand et plus le couple est grand.

$$T_{em} = k \hat{B}_s \hat{B}_r p \sin \delta$$

↑  
nombre de paires de pôles

2 conditions :

- Même nombre de pôles (paires de pôles)
- Même vitesse (les champs sont dit synchrones)

# Glissement

Par définition le glissement est l'écart de vitesse entre le champ tournant statorique et la vitesse mécanique du rotor, rapporté à la vitesse du champ tournant statorique.

Il est noté  $s$  et est sans dimension.

$$s = \frac{\Omega_s - \Omega_m}{\Omega_s} = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} = \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{N_s - N_m}{N_s} = \frac{f_s - f_m}{f_s} [-]$$

↑                      ↑                      ↑                      ↑                      ↑  
[rad / s]    [rad / s]    [tr / s]    [tr / min]    [Hz]  
méca.        élec.        méca.        méca.        élec.

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

→                      nombre de paires de pôles

# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé

# Schéma équivalent du transformateur

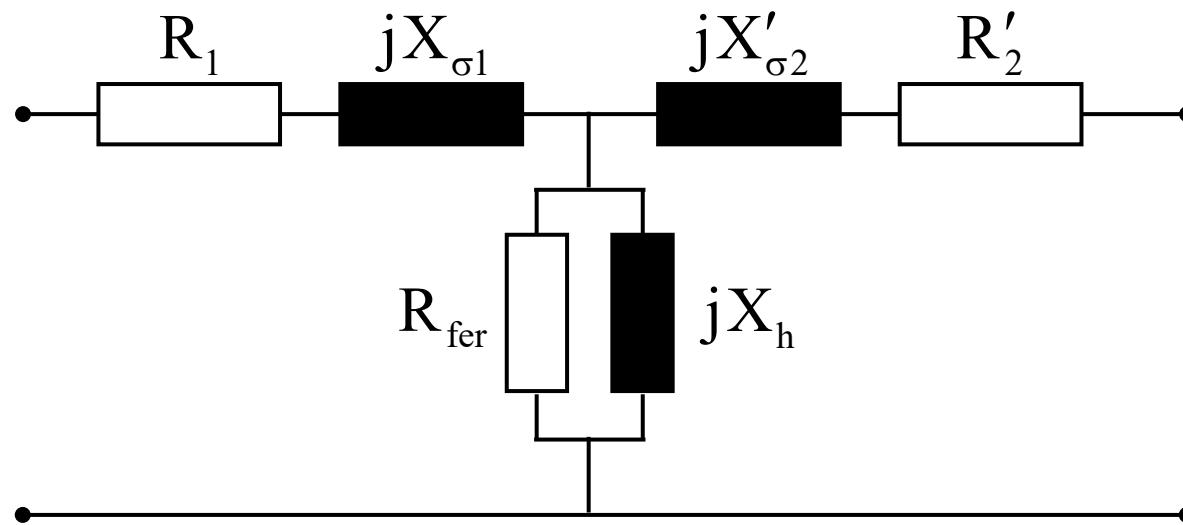
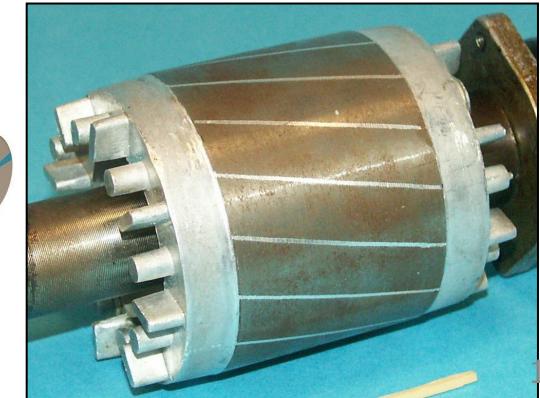
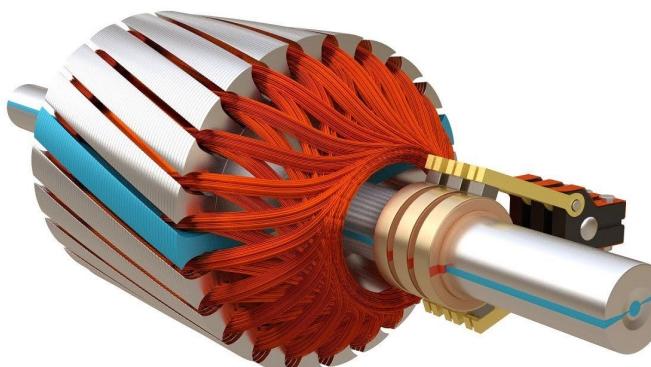
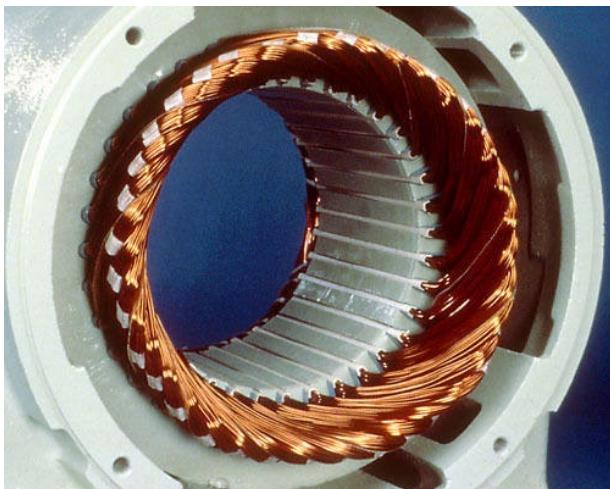
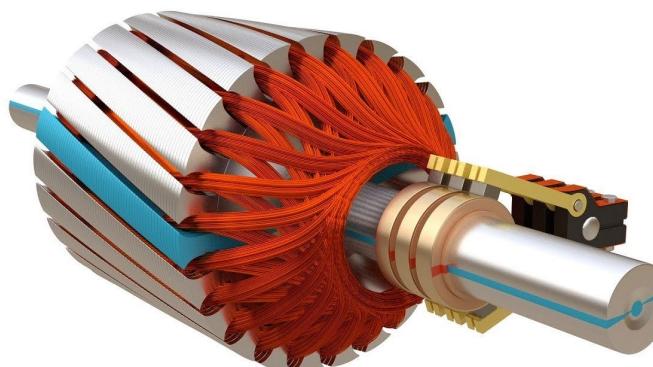
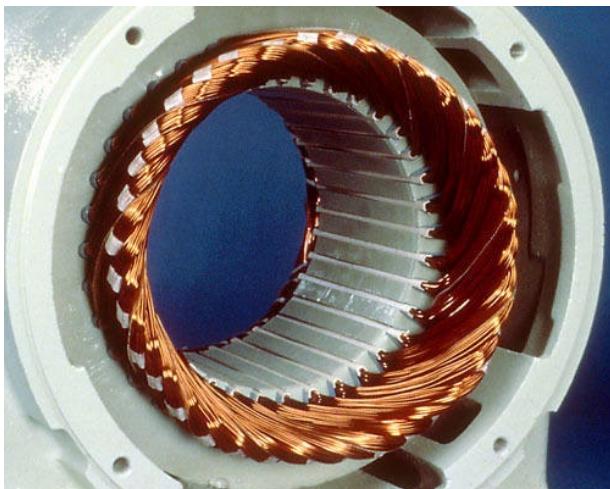
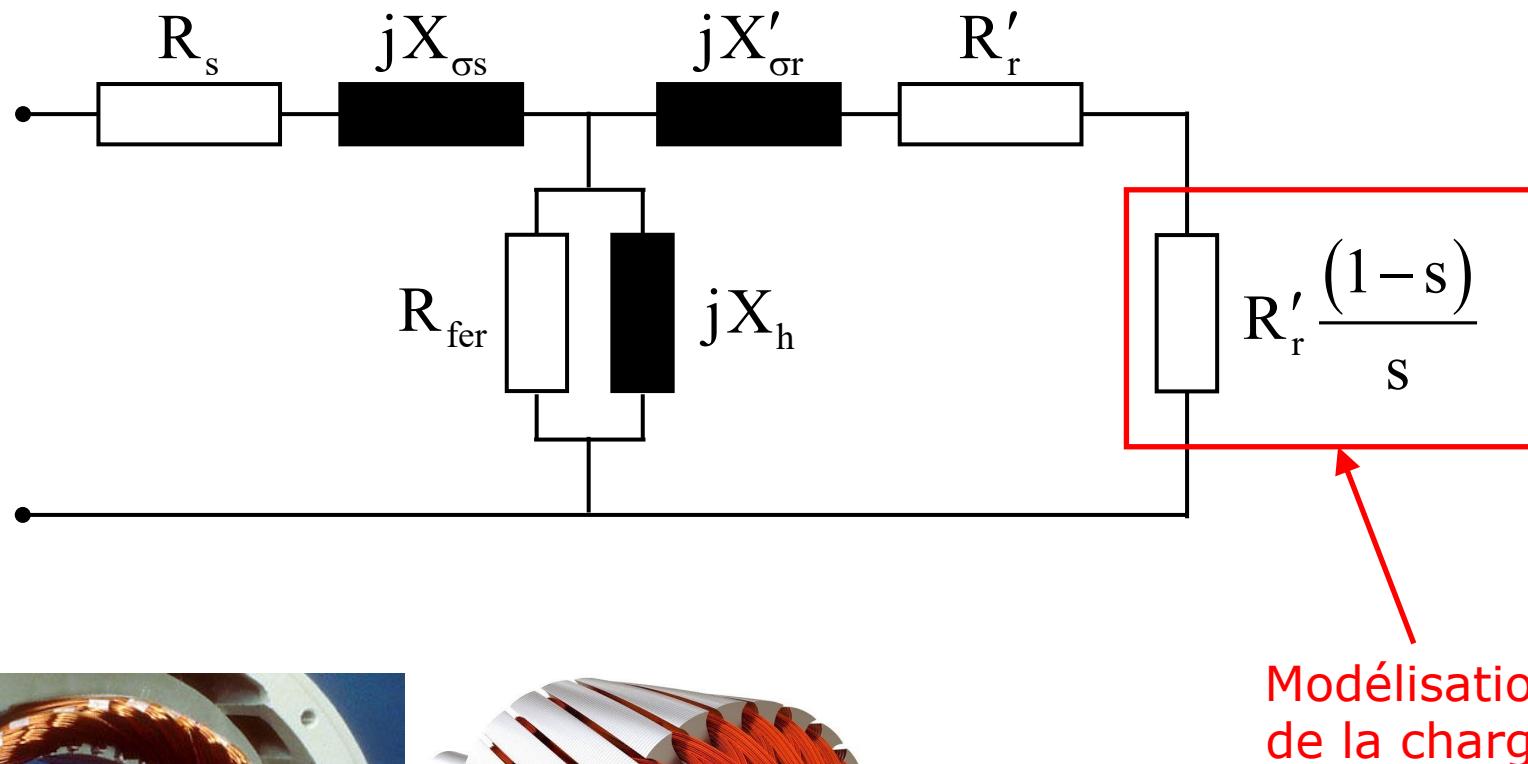


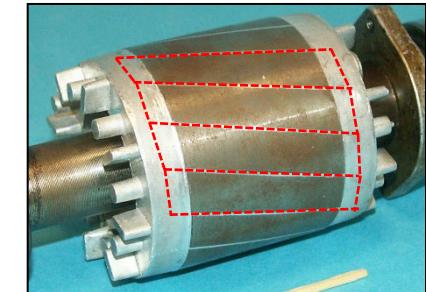
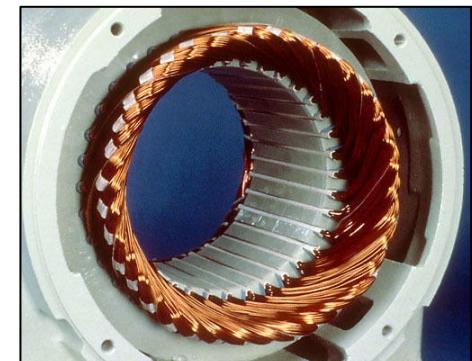
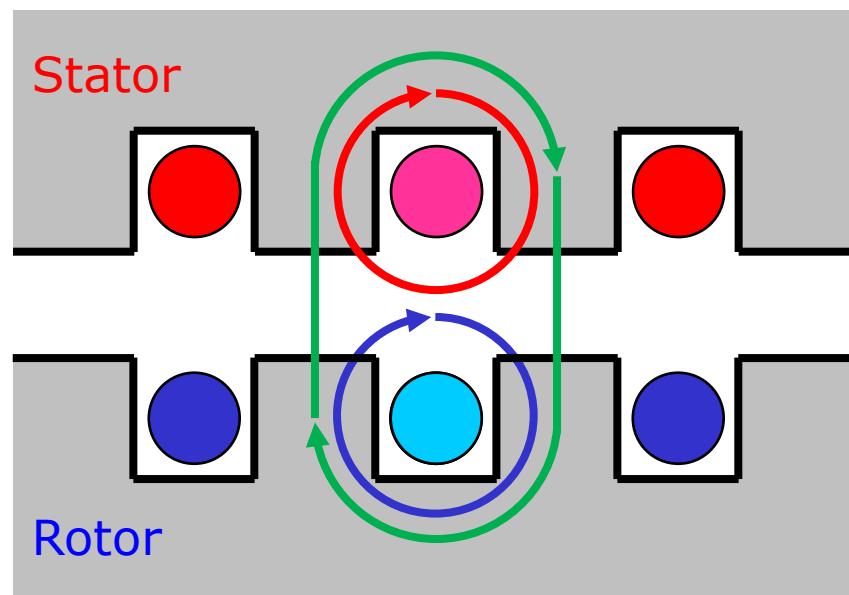
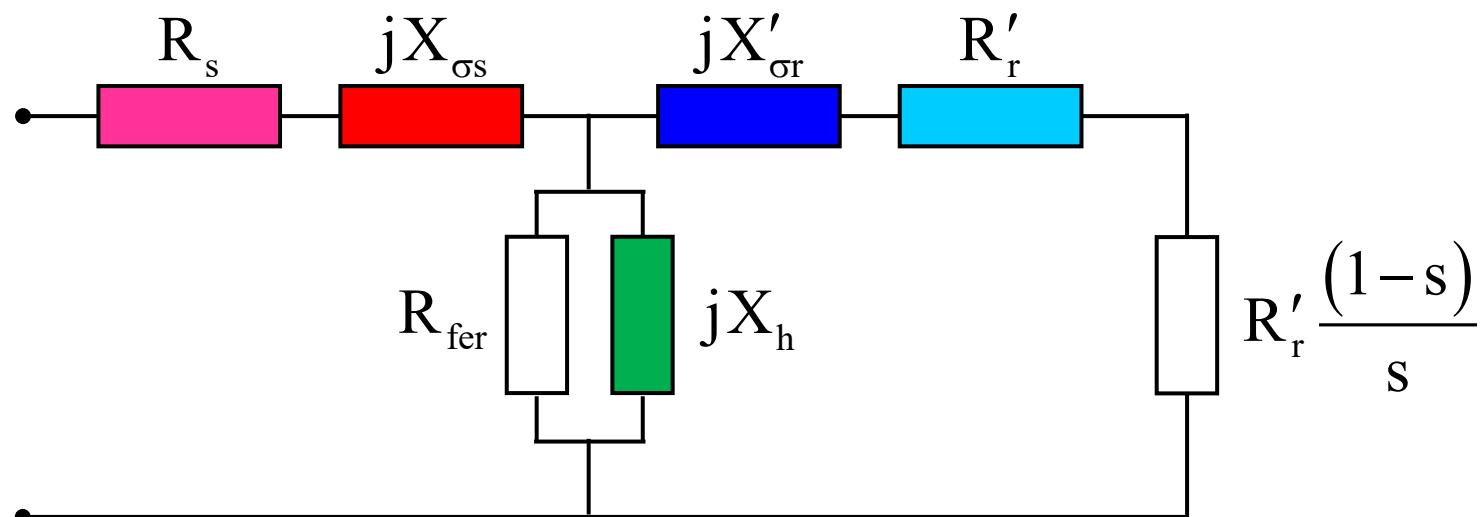
Schéma équivalent d'un transformateur



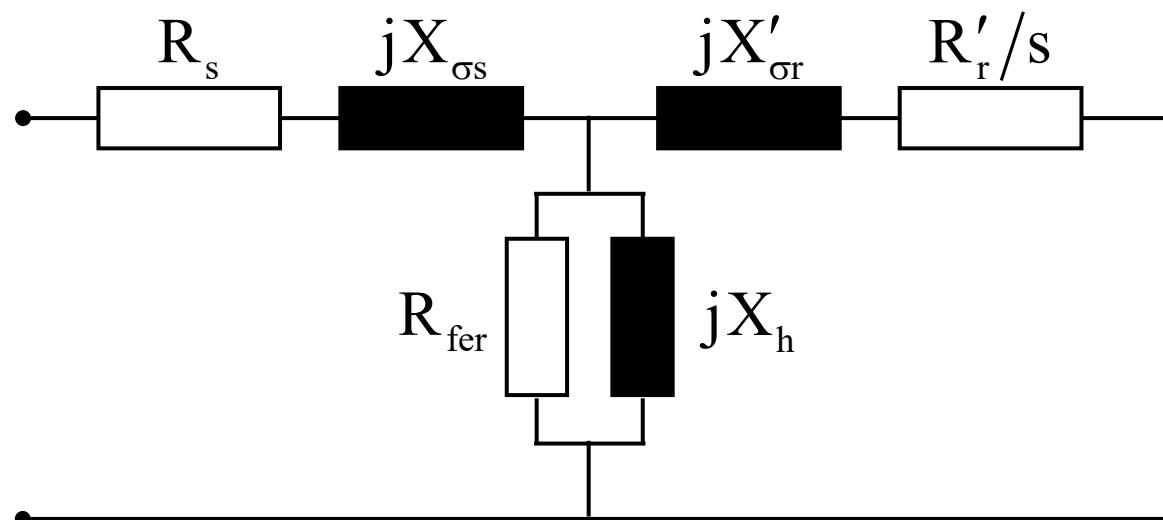
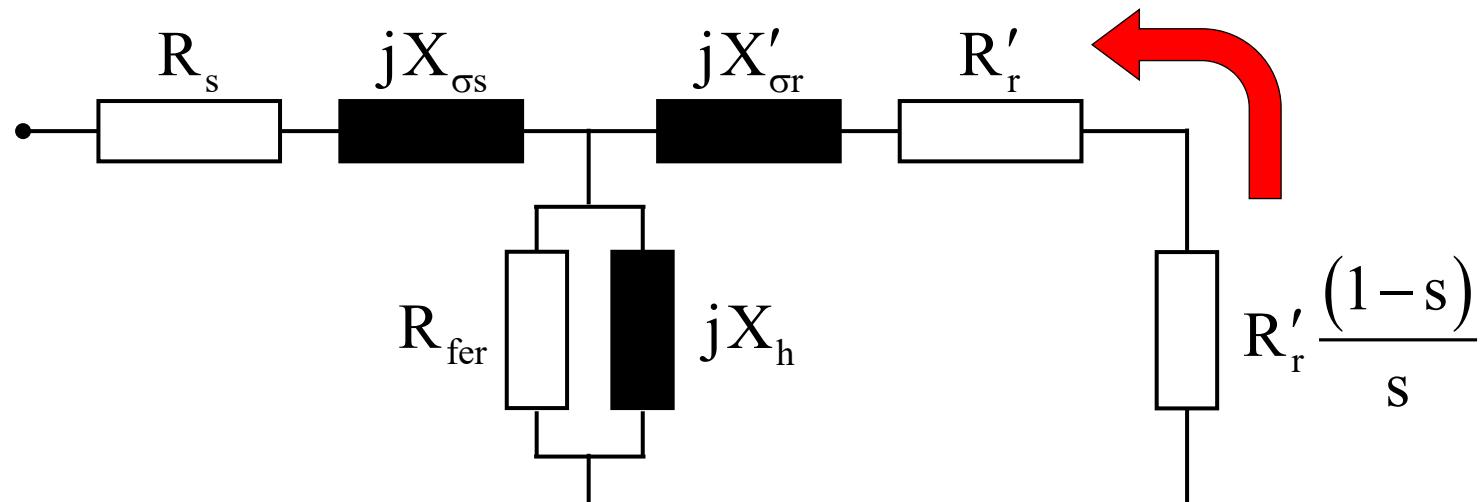
# Schéma équivalent de la machine asynchrone



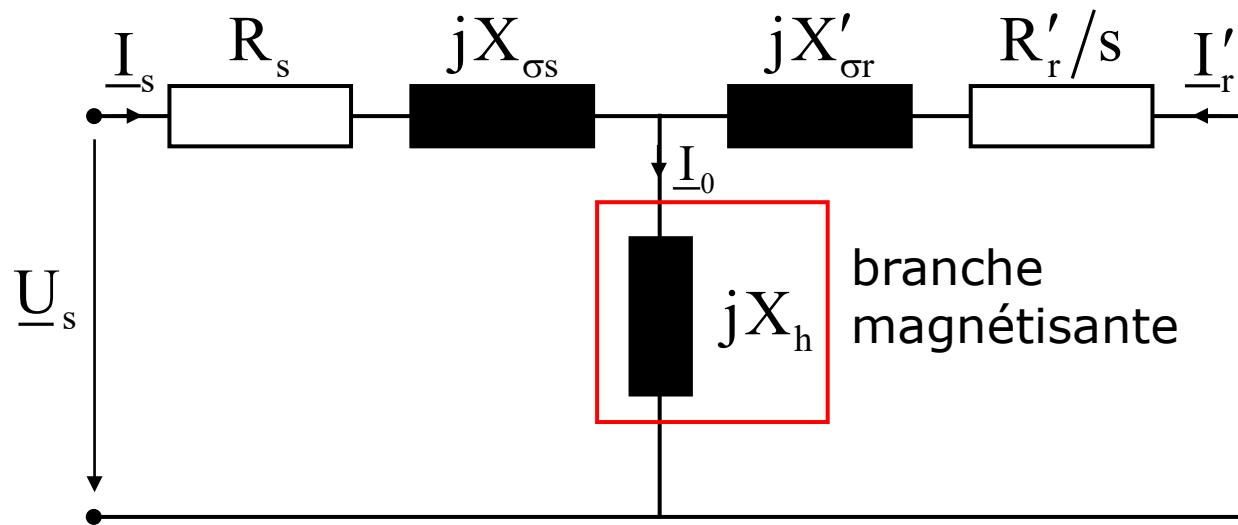
# Schéma équivalent de la machine asynchrone



# Schéma équivalent de la machine asynchrone

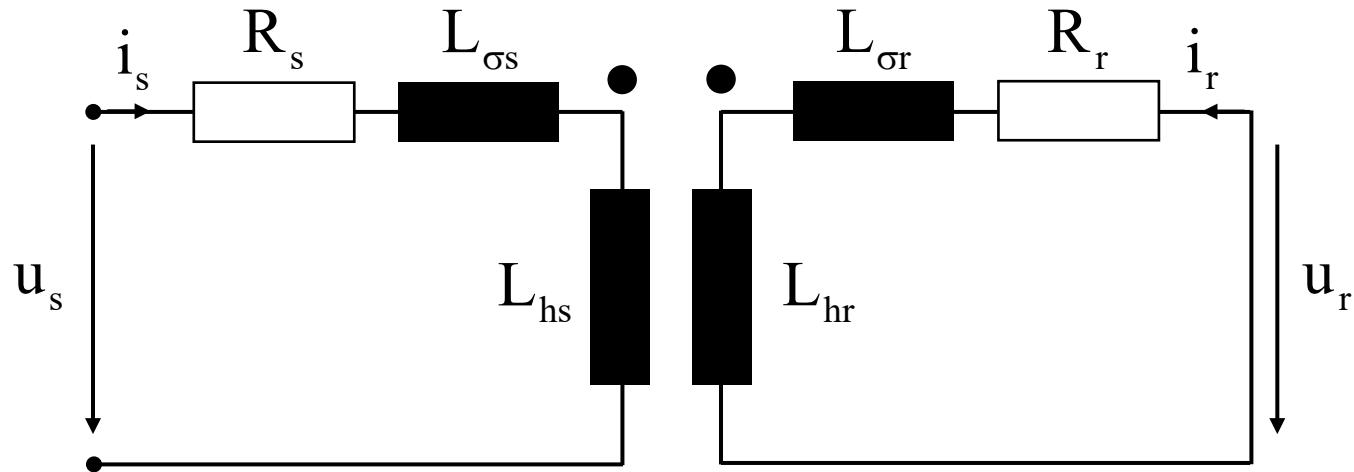


# Schéma équivalent de la machine asynchrone



$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j X_{\sigma s} \underline{I}_s + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \\ 0 = \frac{R'_r}{s} \underline{I}'_r + j X'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \end{cases}$$

# Equations de tension



$$\begin{cases} u_s = R_s i_s + \frac{d\Psi_s}{dt} & L_{hs} = N_s N_s \Lambda_h \\ u_r = 0 = R_r i_r + \frac{d\Psi_r}{dt} & L_{hr} = N_r N_r \Lambda_h \\ & L_{sr} = L_{rs} = N_s N_r \Lambda_h \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Psi_s = L_s i_s + L_{sr} i_r = (L_{hs} + L_{os}) i_s + L_{sr} i_r \\ \Psi_r = L_r i_r + L_{rs} i_s = (L_{hr} + L_{sr}) i_r + L_{rs} i_1 \end{cases}$$

# Equations de tension

alimentation sinusoïdale

$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j \omega_s L_{\sigma s} \underline{I}_s + j \omega_s L_{hs} \underline{I}_s + j \omega_s L_{sr} \underline{I}_r \\ \underline{U}_r = 0 = R_r \underline{I}_r + j \omega_r L_{\sigma r} \underline{I}_r + j \omega_r L_{hr} \underline{I}_r + j \omega_r L_{sr} \underline{I}_s \end{cases}$$

grandeur rapportées au primaire

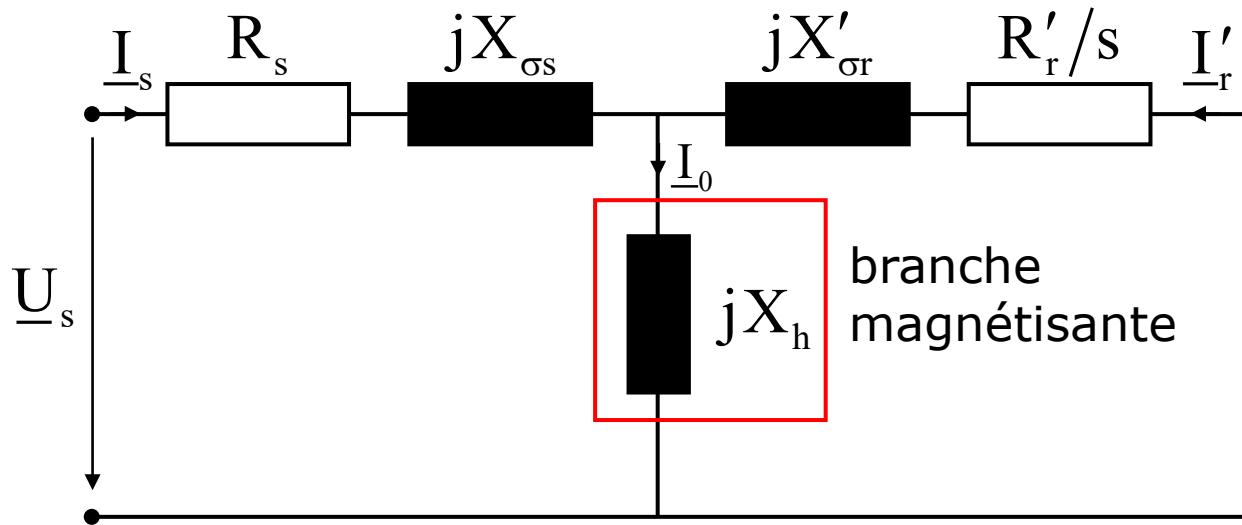
$$\ddot{U} = \frac{N_s k_{ws}}{N_r k_{wr}} \longrightarrow \begin{aligned} L_{hs} &= \ddot{U} L_{sr} \\ L'_{hr} &= L_{hs} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j \omega_s L_{\sigma s} \underline{I}_s + j \omega_s L_{hs} \underline{I}_s + j \omega_s L_{hs} \underline{I}'_r \\ 0 = R'_r \underline{I}'_r + j \omega_r L'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j \omega_r L'_{hr} \underline{I}'_r + j \omega_r L_{hs} \underline{I}_s \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \omega_r &= S \omega_s & \longrightarrow X_{\sigma s} &= \omega_s L_{\sigma s} \\ && & X_h = \omega_s L_{hs} \\ && & X'_{\sigma r} = \omega_s L'_{\sigma r} \end{aligned}$$

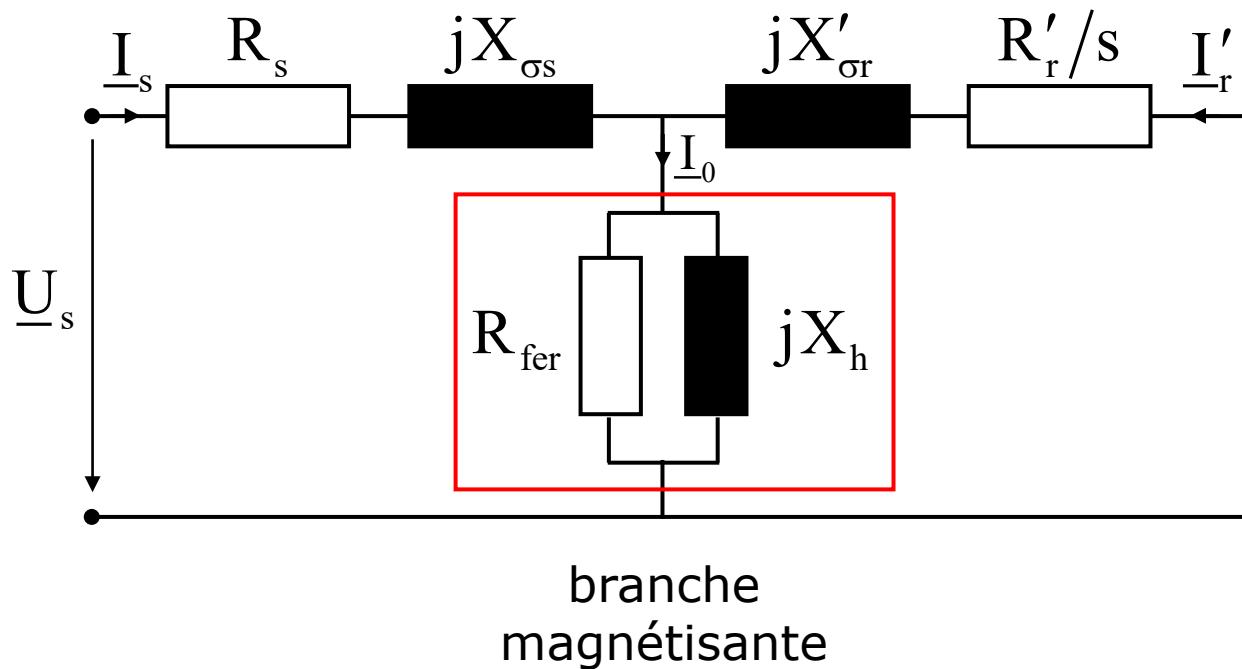
$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j X_{\sigma s} \underline{I}_s + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \\ 0 = \frac{R'_r}{S} \underline{I}'_r + j X'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \end{cases}$$

# Schéma équivalent

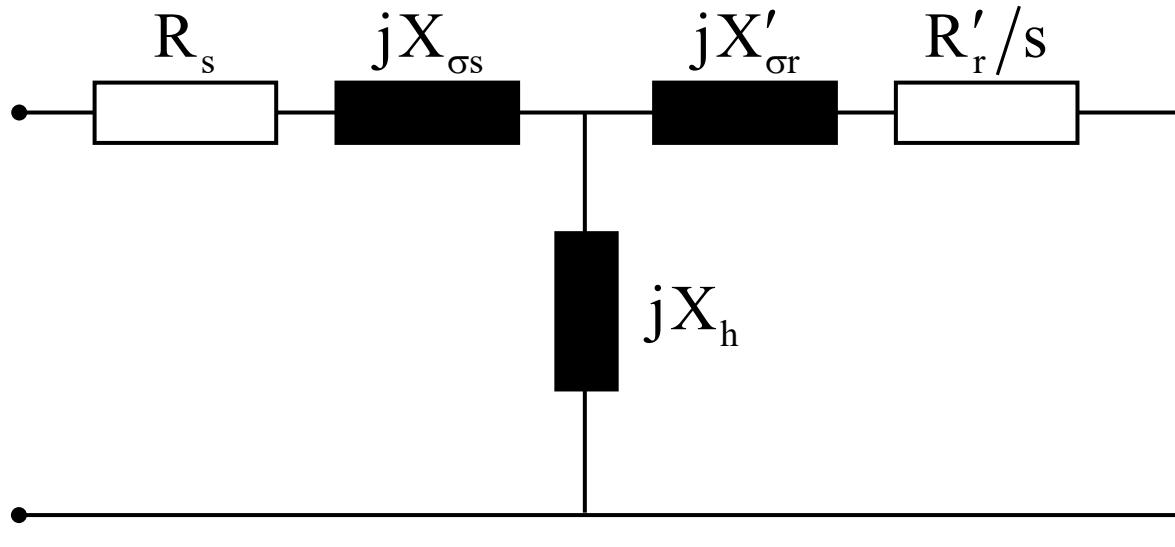


$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j X_{\sigma s} \underline{I}_s + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \\ 0 = \frac{R'_r}{s} \underline{I}'_r + j X'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \end{cases}$$

# Schéma équivalent



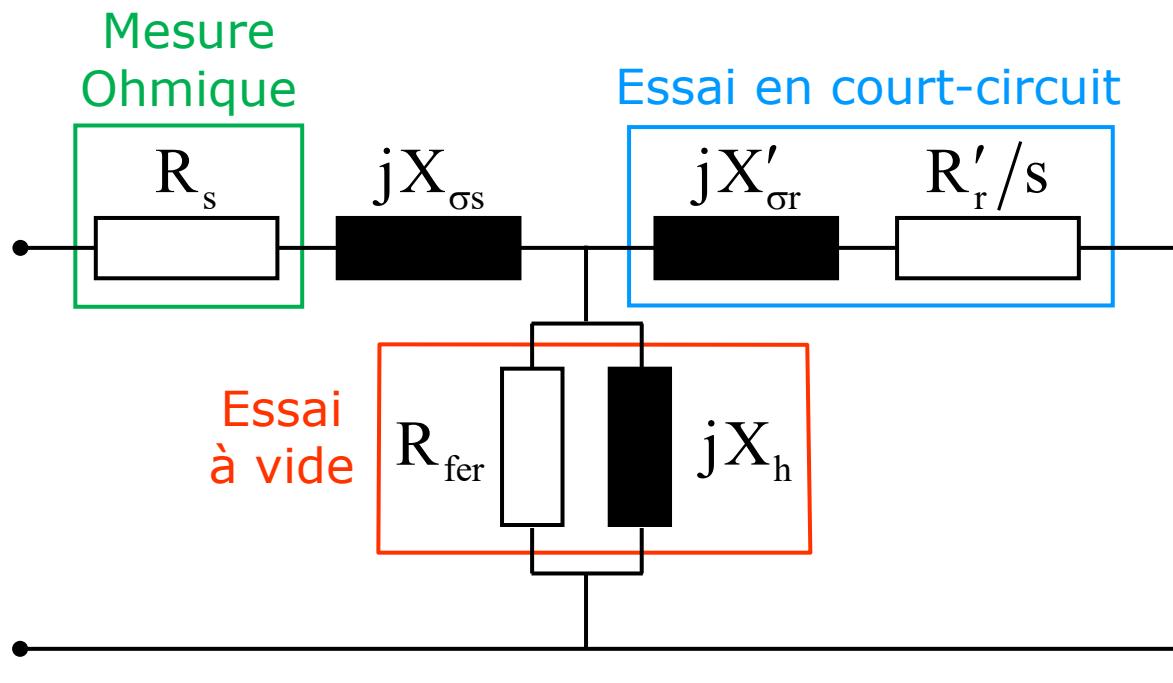
# Paramètres du schéma équivalent



$r_s \rightarrow 0.01-0.03$  [p.u]  
 $x_{\sigma s} \rightarrow 0.08-0.12$  [p.u]  
 $x_h \rightarrow 2.5-4$  [p.u]  
 $x'_{\sigma r} \rightarrow 0.08-0.10$  [p.u]  
 $r'_r \rightarrow 0.01-0.03$  [p.u]

# Paramètres du schéma équivalent

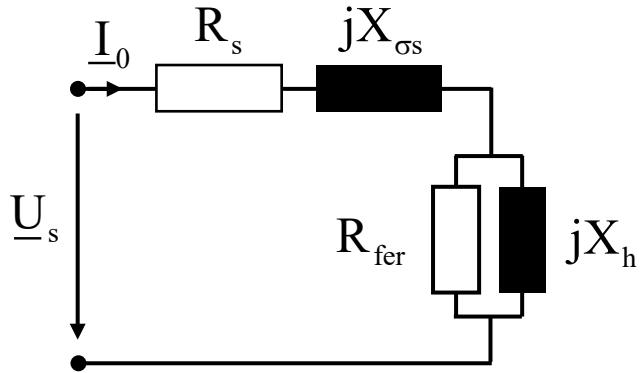
Les paramètres se déterminent par différents essais



$$\begin{aligned} r_s &\rightarrow 0.01 - 0.03 \text{ [p.u]} \\ x_{\sigma s} &\rightarrow 0.08 - 0.12 \text{ [p.u]} \\ x_h &\rightarrow 2.5 - 4 \text{ [p.u]} \\ x'_{\sigma r} &\rightarrow 0.08 - 0.10 \text{ [p.u]} \\ r'_r &\rightarrow 0.01 - 0.03 \text{ [p.u]} \end{aligned}$$

# Détermination des paramètres

## Essai à vide



- $P_0$  = la puissance active totale
- $U_s$  = la tension stator de phase
- $I_0$  = le courant stator de phase

$$\underline{Z}_0 = R_s + jX_{\sigma s} + \frac{jR_{\text{fer}} X_h}{R_{\text{fer}} + jX_h} = R_0 + jX_0$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_0 - (R_s + jX_{\sigma s})} = \frac{1}{R_{\text{fer}}} + \frac{1}{jX_h}$$

$$\begin{cases} R_{\text{fer}} = \frac{(R_0 - R_s)^2 + (X_0 - X_{\sigma s})^2}{(R_0 - R_s)} \\ X_h = \frac{(R_0 - R_s)^2 + (X_0 - X_{\sigma s})^2}{(X_0 - X_{\sigma s})} \end{cases}$$

$$|\underline{Z}_0| = \frac{U_s}{I_0}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_0 - P_{\text{fv}}}{3 U_s I_0}$$

$$\sin \varphi = \sin(\cos^{-1}(\cos \varphi))$$

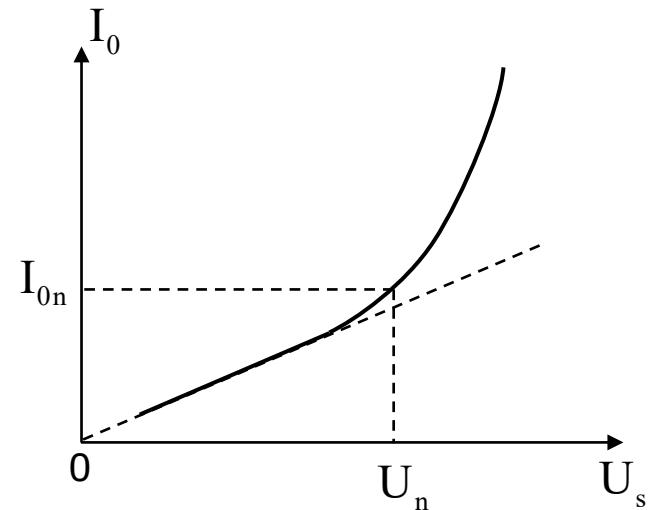
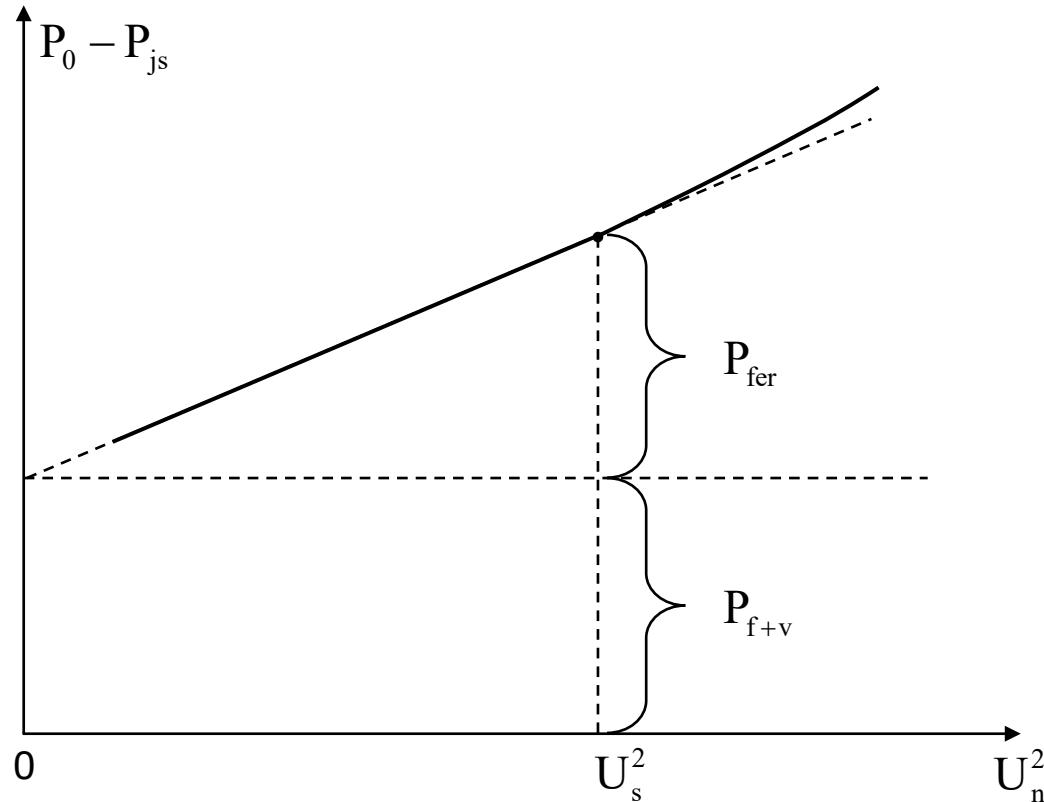
$$\begin{cases} R_0 = |\underline{Z}_0| \cos \varphi \\ X_0 = |\underline{Z}_0| \sin \varphi \end{cases}$$

# Détermination des paramètres

Essai à vide

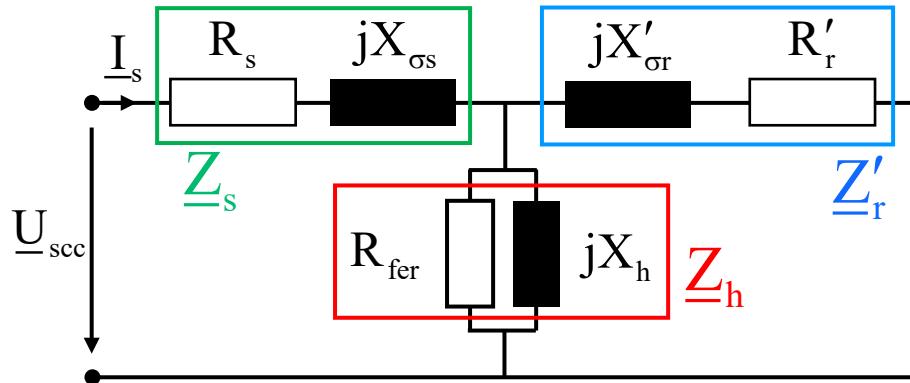
$$P_0 = P_{js} + P_{fer} + P_{fv}$$

$$P_{js} = 3 R_s I_0^2$$



# Détermination des paramètres

Essai en court-circuit (à rotor bloqué)



- $P_{\text{cc}}$  = la puissance active totale
- $U_{\text{sc}}^*$  = la tension stator de phase
- $I_s$  = le courant stator de phase

$$Z_{\text{cc}} = Z_s + \frac{Z_h Z'_r}{Z_h + Z'_r} = R_{\text{cc}} + jX_{\text{cc}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_s = R_s + jX_{\sigma s} \\ Z_h = \frac{jR_{\text{fer}} X_h}{R_{\text{fer}} + jX_h} \\ Z'_r = R'_r + jX'_{\sigma r} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R'_r = \text{Re} \left\{ \frac{1}{\frac{1}{(Z_{\text{cc}} - Z_s)} - \frac{1}{Z_h}} \right\} \\ X'_{\sigma r} = \text{Im} \left\{ \frac{1}{\frac{1}{(Z_{\text{cc}} - Z_s)} - \frac{1}{Z_h}} \right\} \end{array} \right.$$

$$|Z_{\text{cc}}| = \frac{U_{\text{sc}}^*}{I_s}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{cc}}}{3 U_{\text{sc}}^* I_s}$$

$$\sin \varphi = \sin(\cos^{-1}(\cos \varphi))$$

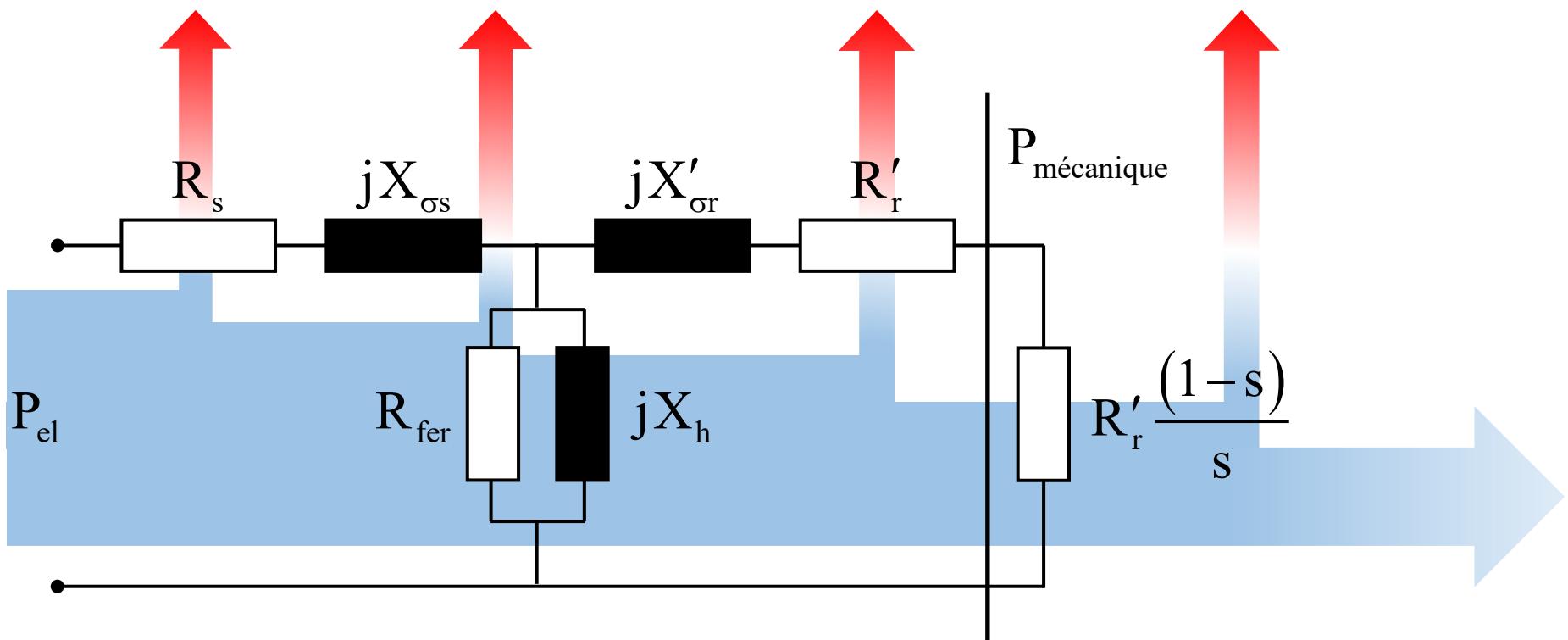
$$\left\{ \begin{array}{l} R_{\text{cc}} = |Z_{\text{cc}}| \cos \varphi \\ X_{\text{cc}} = |Z_{\text{cc}}| \sin \varphi \end{array} \right.$$

# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- **Caractéristique de couple**
- Impédance équivalente
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé

# Bilan de puissance – Moteur

$$P_{el} = P_{js} + P_{fer} + P_{jr} + \overbrace{P_{f+v} + P_{utile}}^{P_{mécanique}}$$

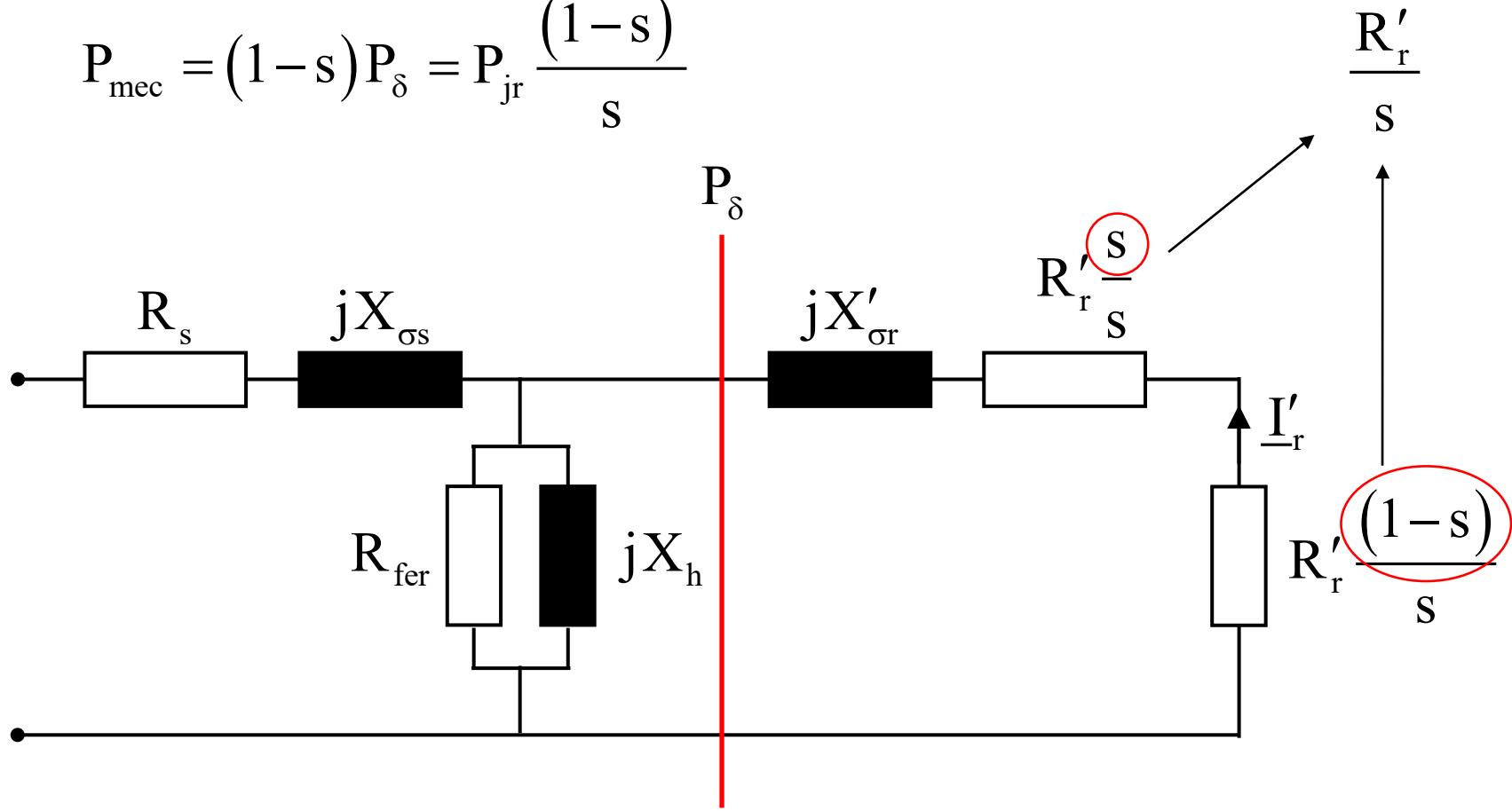


# Puissance d'entrefer

$$P_\delta = P_{\text{el}} - P_{\text{js}} - P_{\text{fer}} = P_{\text{mec}} + P_{\text{jr}} = 3 \frac{R'_r}{s} I'^2$$

$$P_{\text{jr}} = s P_\delta$$

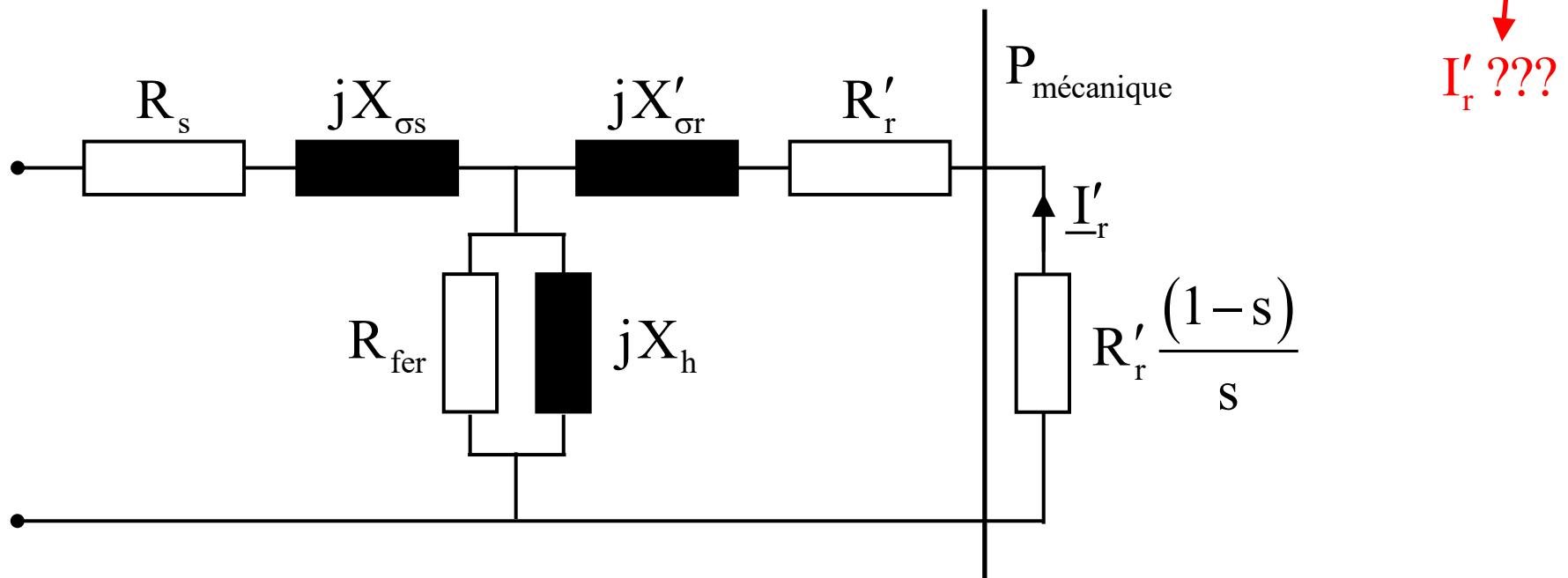
$$P_{\text{mec}} = (1-s) P_\delta = P_{\text{jr}} \frac{(1-s)}{s}$$



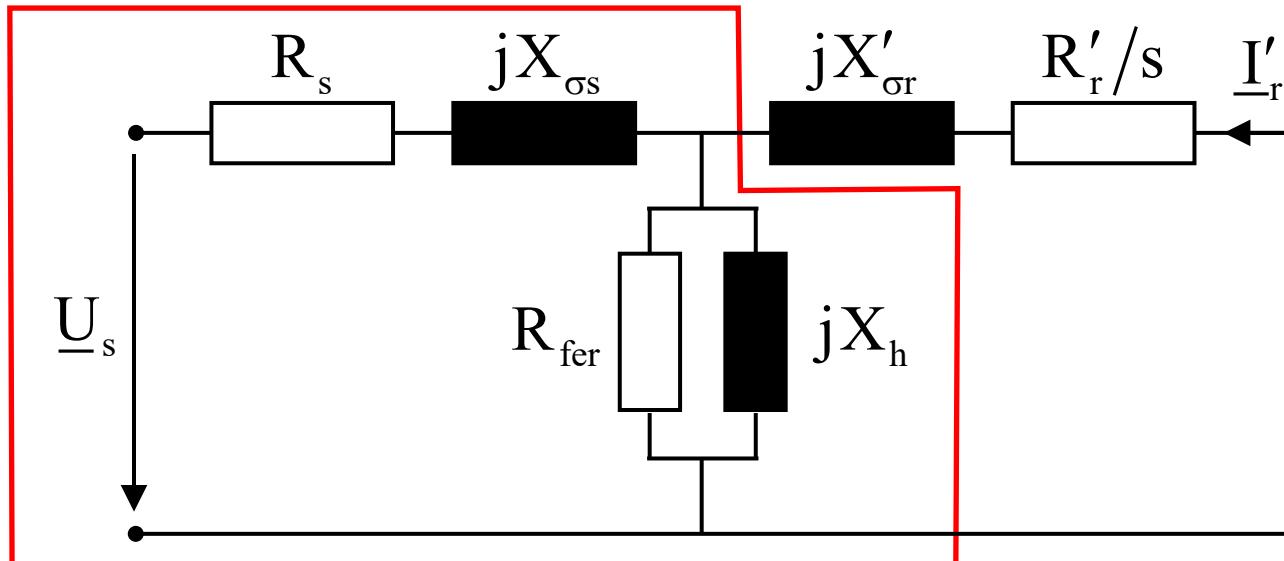
# Couple électromagnétique

$$P_{\text{mec}} = \Omega_m T_{\text{em}} = 3 R'_r \frac{(1-s)}{s} I_r'^2$$

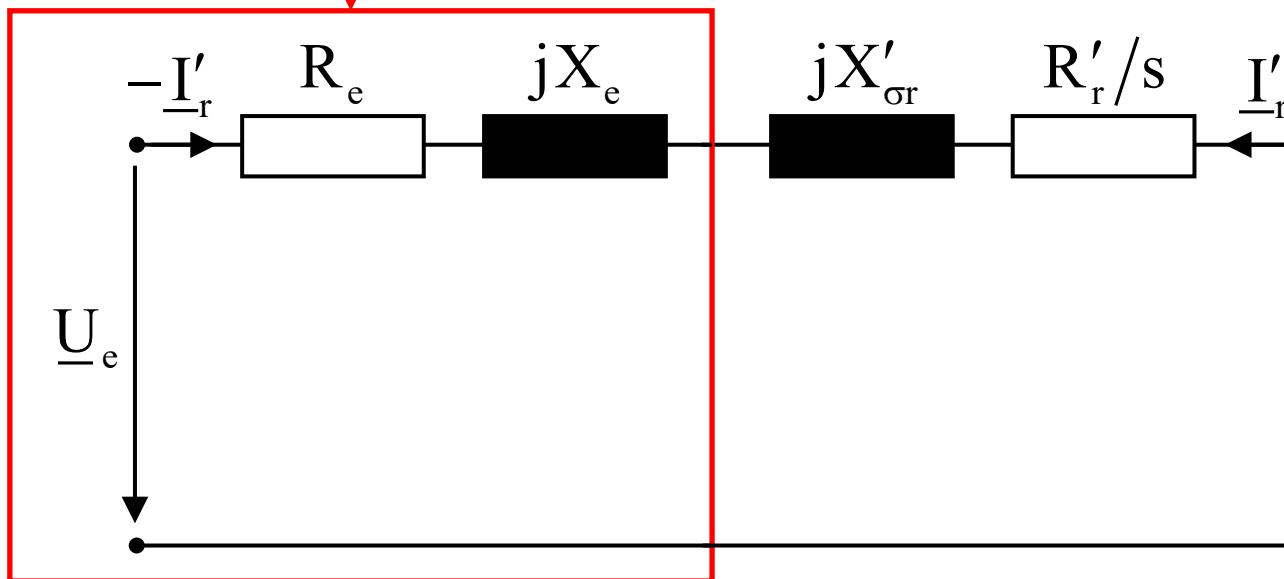
$$T_{\text{em}} = \frac{1}{\Omega_m} 3 R'_r \frac{(1-s)}{s} I_r'^2 \xrightarrow{\Omega_m = \Omega_s (1-s)} T_{\text{em}} = 3 \frac{1}{\Omega_s} \frac{R'_r}{s} I_r'^2$$



# Equivalent de Thévenin



Théorème de Thévenin



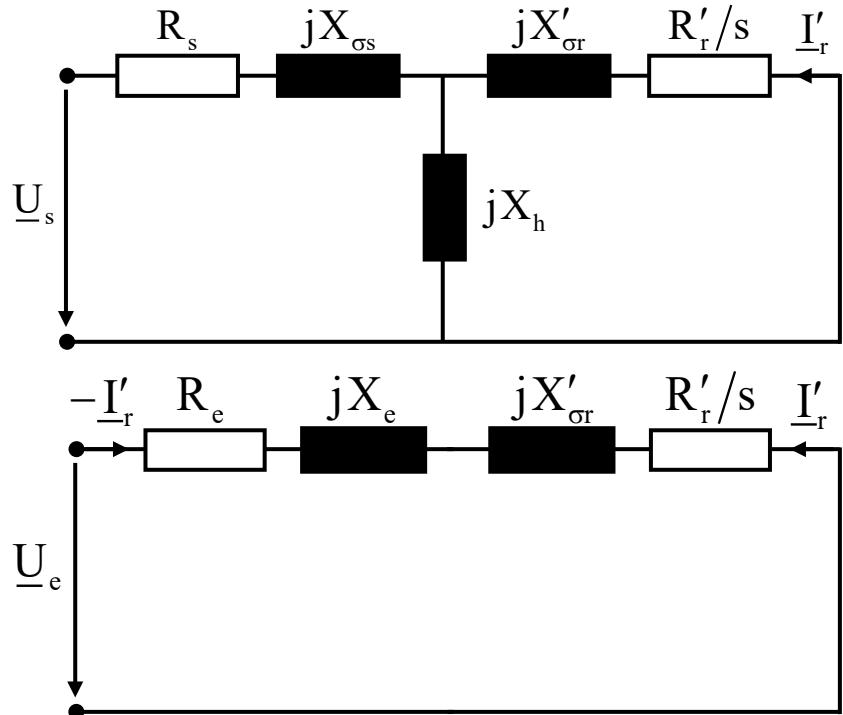
# Equivalent de Thévenin

$$\underline{U}_e = \underline{U}_s \frac{j X_h}{R_s + j(X_{\sigma s} + X_h)}$$

$$\begin{aligned} Z_e &= j X_h \frac{R_s + j X_{\sigma s}}{R_s + j(X_{\sigma s} + X_h)} \\ &= R_e + j X_e \end{aligned}$$

$$-\underline{I}'_r = \frac{\underline{U}_e}{Z_e + \frac{R'_r}{s} + j X'_{\sigma r}} = \frac{\underline{U}_e}{\left( R_e + \frac{R'_r}{s} \right) + j(X_e + X'_{\sigma r})}$$

$$T_{em} = 3 \frac{1}{\Omega_s} \frac{R'_r}{s} I'^2_r$$



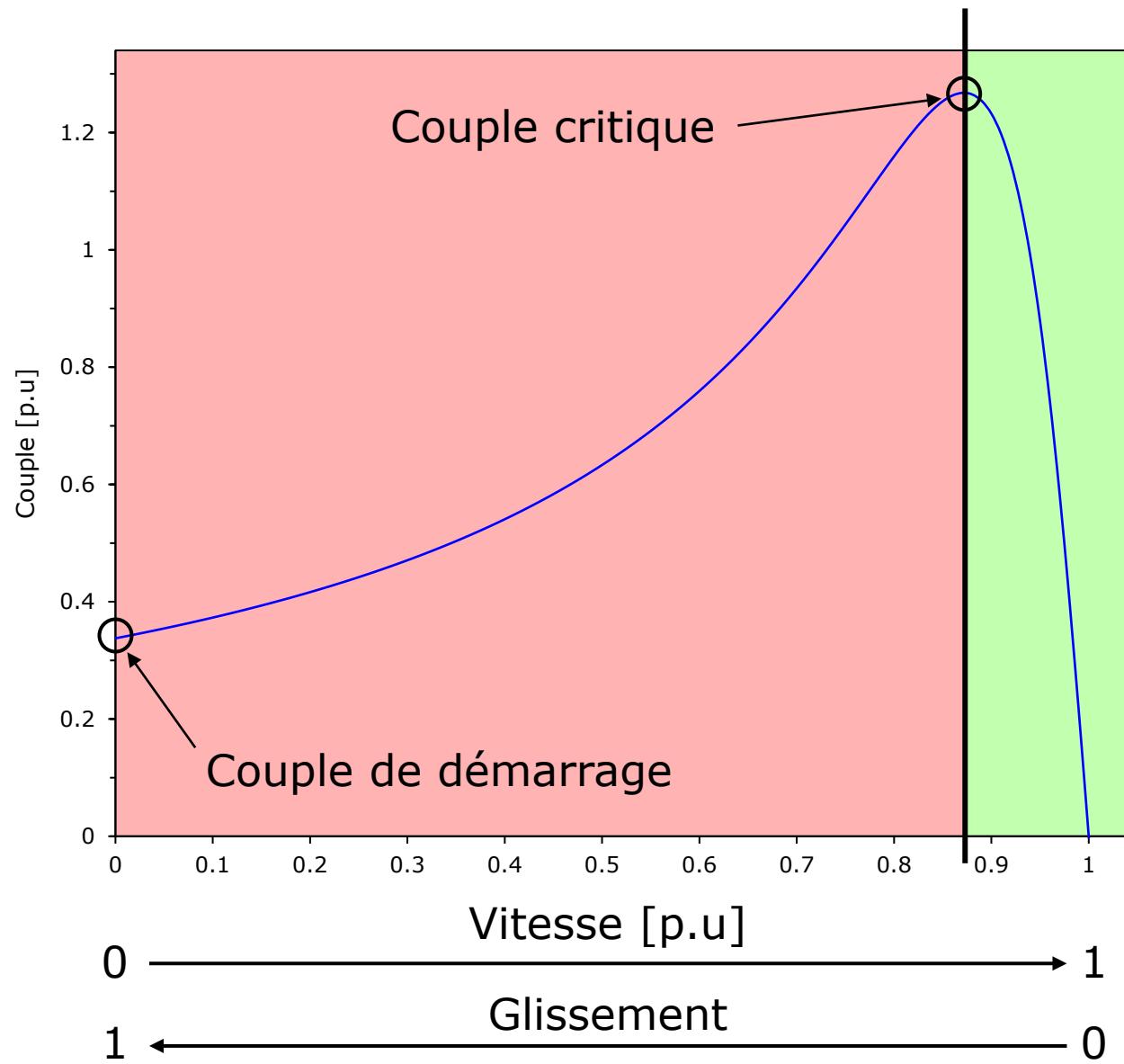
# Couple électromagnétique

$$\underline{U}_e = \underline{U}_s \frac{j X_h}{R_s + j(X_{\sigma s} + X_h)}$$

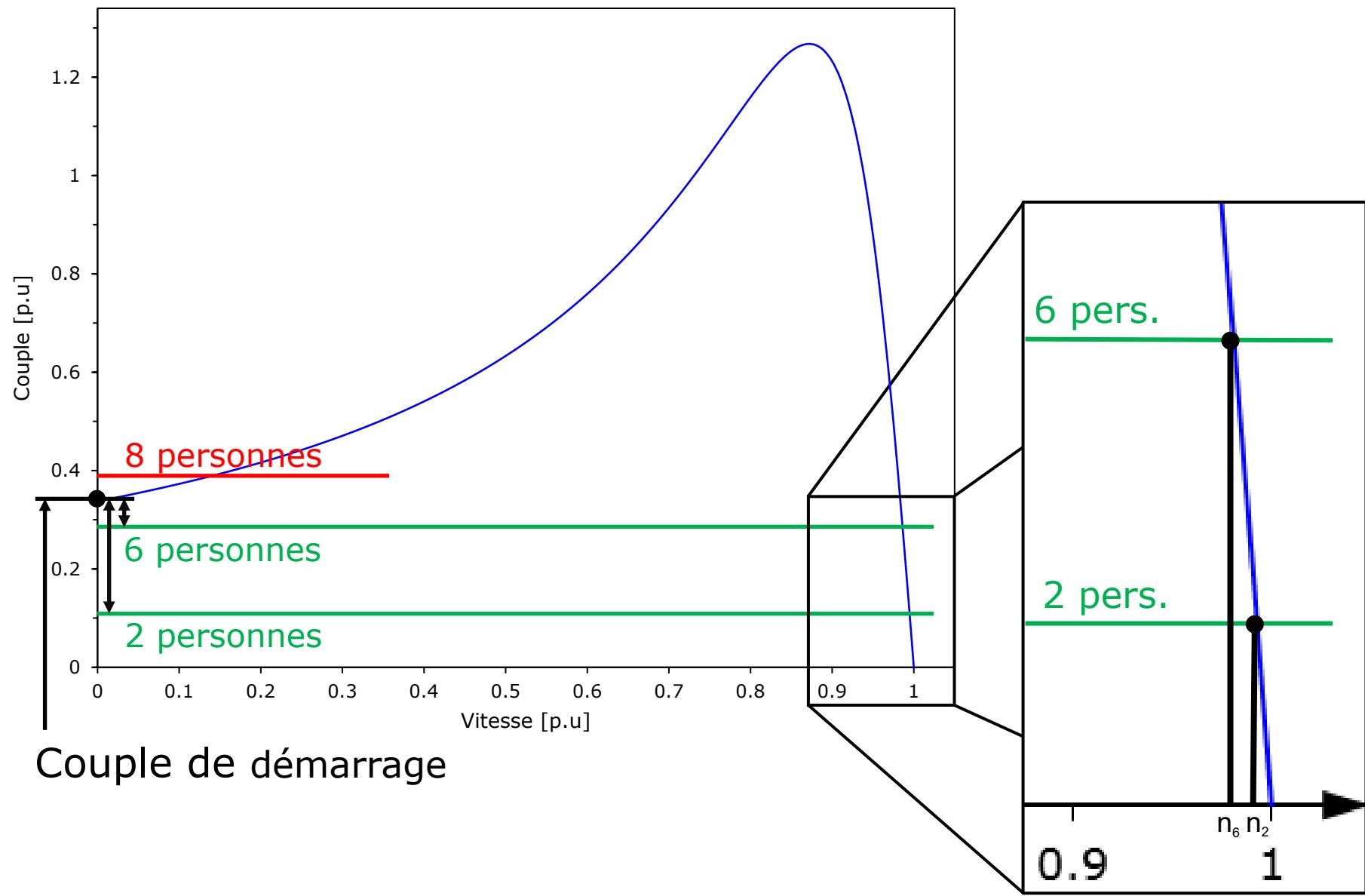
$$\underline{Z}_e = j X_h \frac{R_s + j X_{\sigma s}}{R_s + j(X_{\sigma s} + X_h)} = R_e + j X_e$$

$$T_{em} = \frac{P_\delta}{\Omega_s} = \frac{P_{jr}}{s \Omega_s} = \frac{3 U_e^2 \frac{R'_r}{s}}{\Omega_s \left[ \left( R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2 \right]}$$

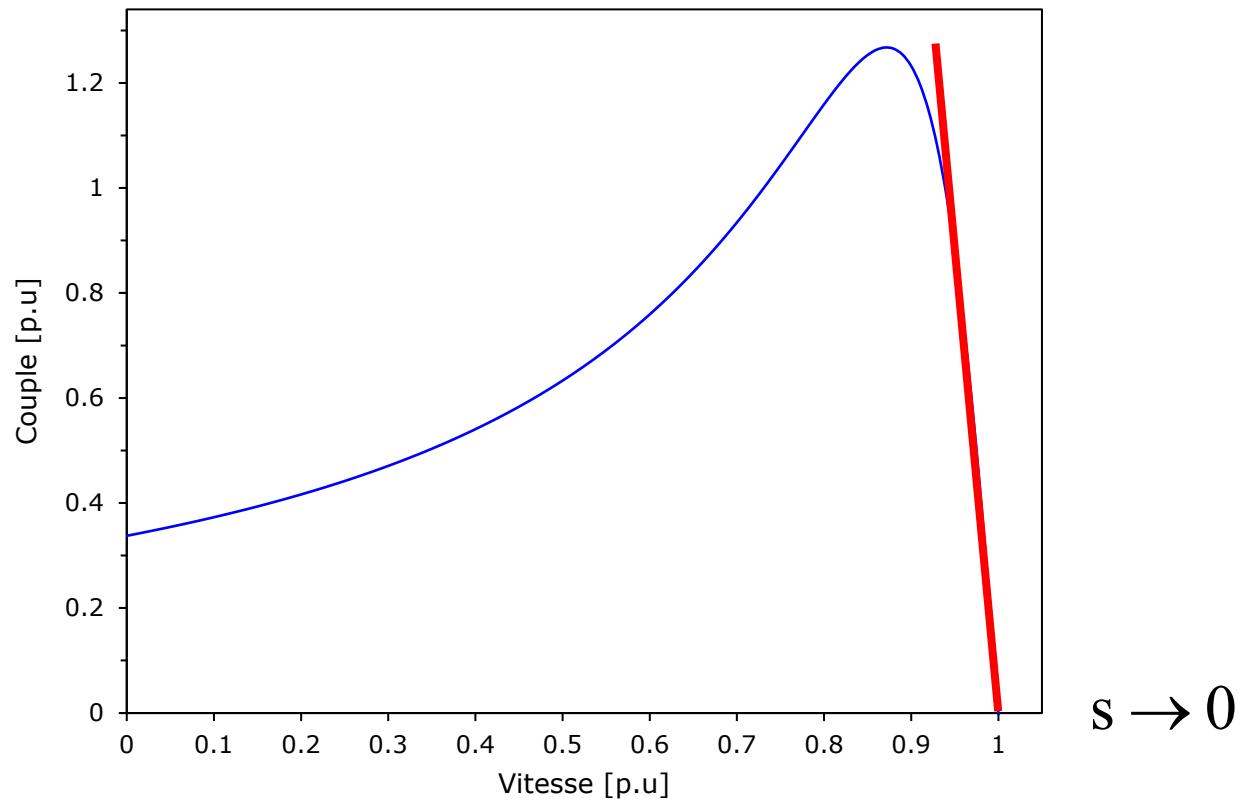
# Caractéristique de couple



# Caractéristique de couple



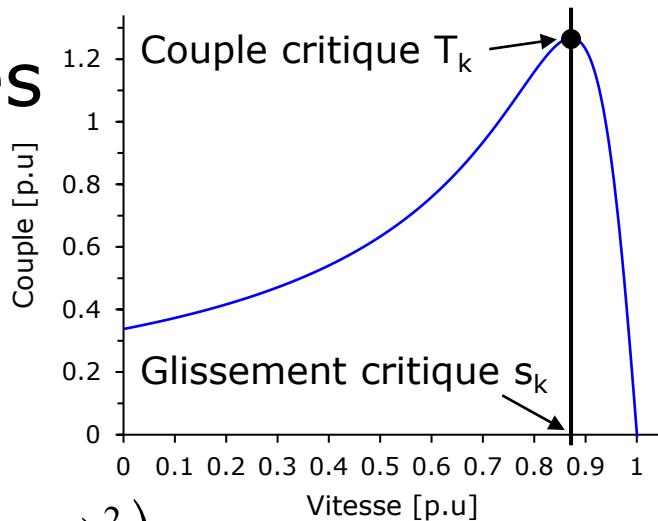
$$T_{em} = \frac{3 U_e^2 \frac{R'_r}{s}}{\Omega_s \left[ \left( R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + \left( X_e + X'_{\sigma r} \right)^2 \right]}$$



$$T_{em} \cong \frac{3 U_e^2}{\Omega_s} \frac{s}{R'_r}$$

# Couple et glissement critiques

$$T_{\text{em}} = \frac{3 U_e^2 \frac{R'_r}{s}}{\Omega_s \left[ \left( R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2 \right]}$$



$$\frac{dT_{\text{em}}}{ds} = \frac{3U_e^2 R'_r}{\Omega_s} \frac{R'^2 - s^2 \left( R_e^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2 \right)}{\left( s^2 \left( R_e^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2 \right) + 2R_e R'_r s + R'^2 \right)^2}$$

$$\frac{dT_{\text{em}}}{ds} = 0$$

$$s_k = \frac{R'_r}{\sqrt{R_e^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2}}$$

$$T_k = \frac{3U_e^2}{2\Omega_s \left[ R_e + \sqrt{R_e^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2} \right]}$$

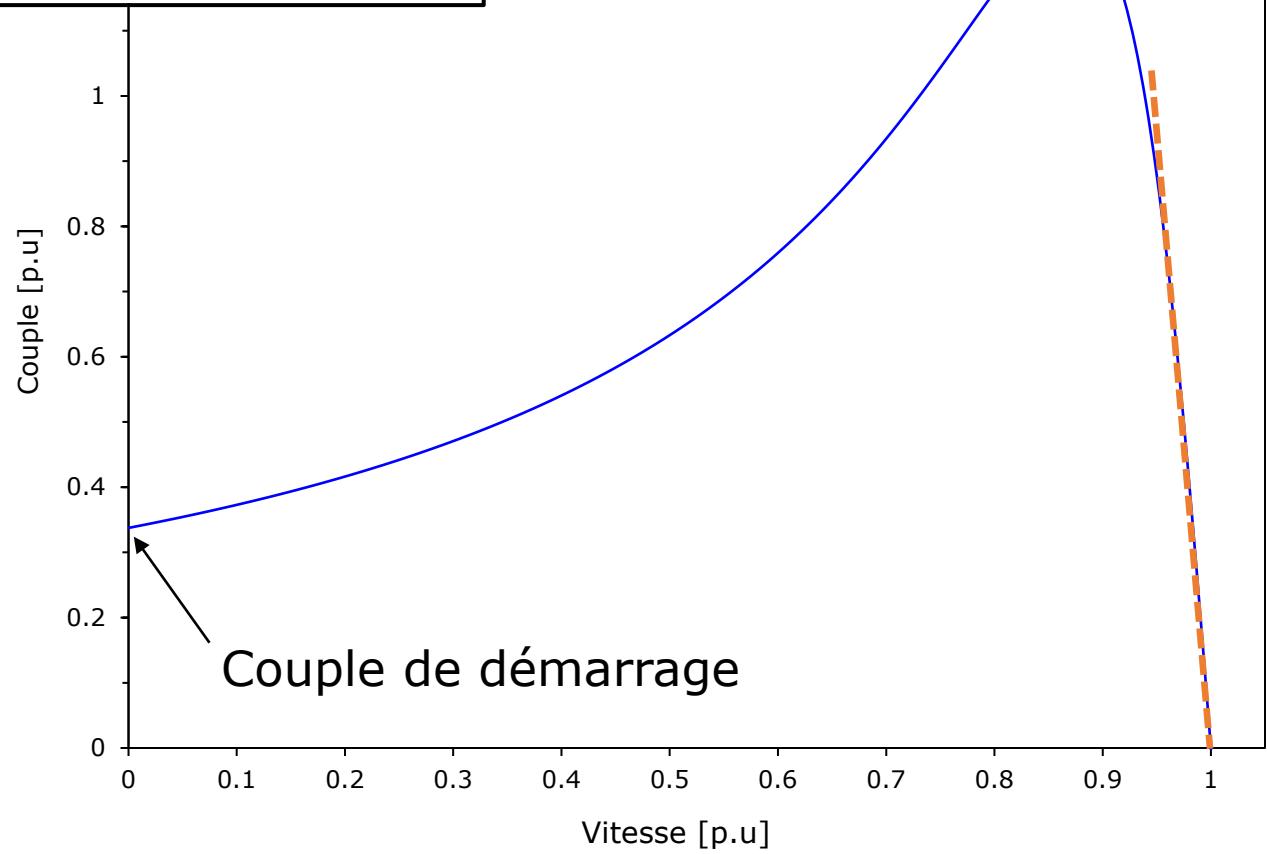
Résolution par le théorème d'échange de puissance maximum entre le réseau et la charge représentée par  $R'_r / s$

$$|Z_e + jX'_{\sigma r}| = \frac{R'_r}{s_k}$$

# Caractéristique de couple

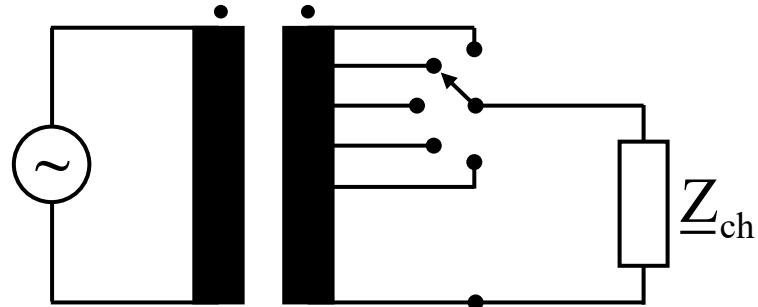
$$T_{em} = \frac{3 U_e^2 \frac{R'_r}{s}}{\Omega_s \left[ \left( R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2 \right]}$$

$$T_{em} \approx \frac{3 U_e^2}{\Omega_s} \frac{s}{R'_r}$$

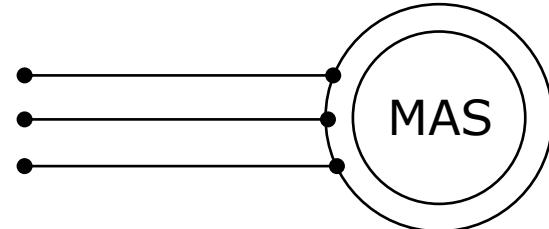
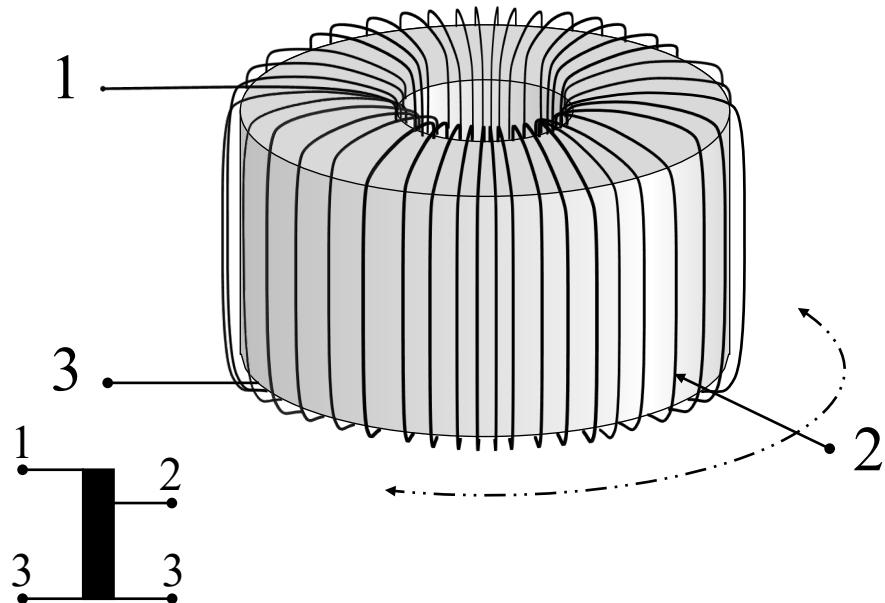


# Alimentation à tension variable

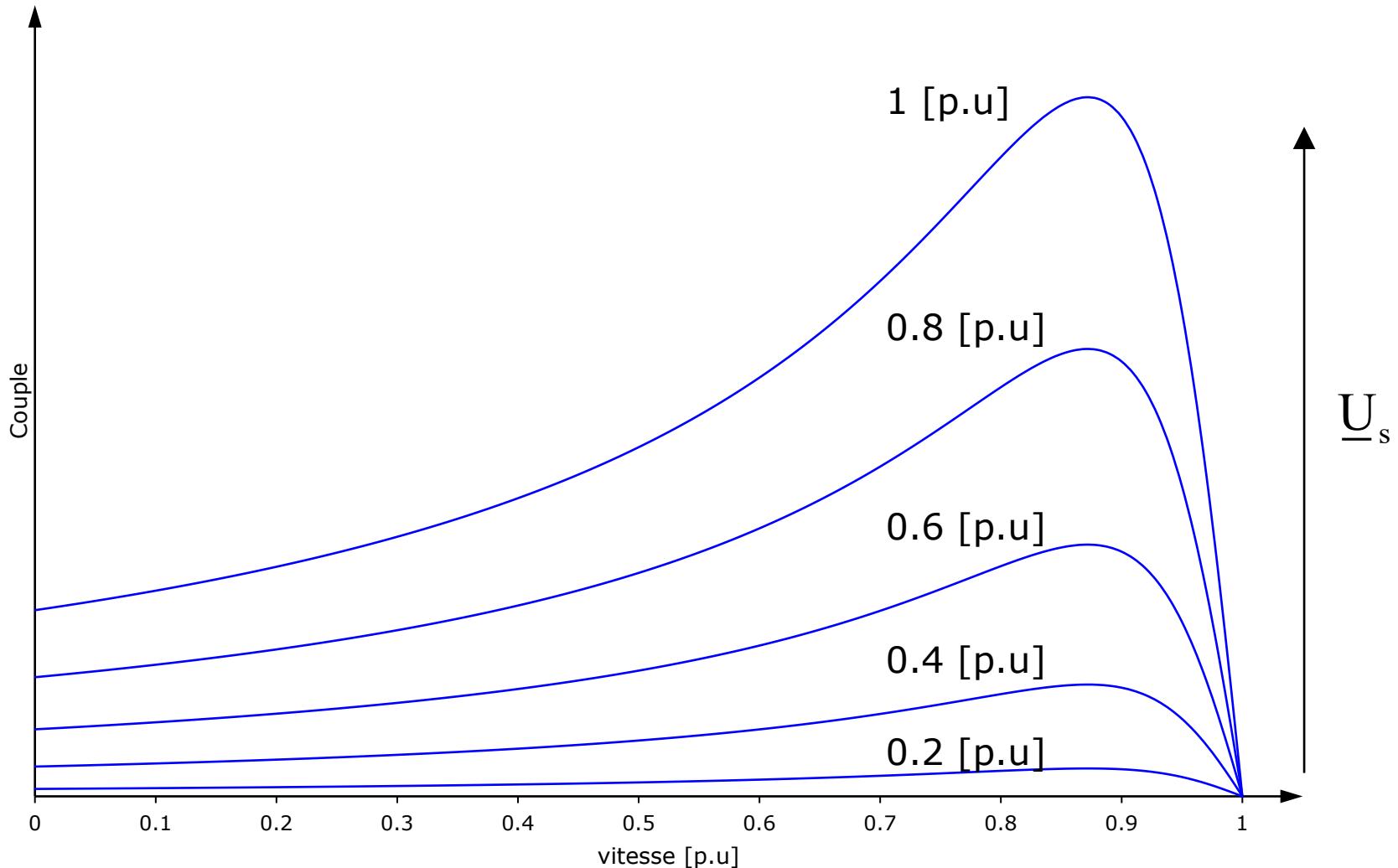
Transformateur à gradins



Le variac



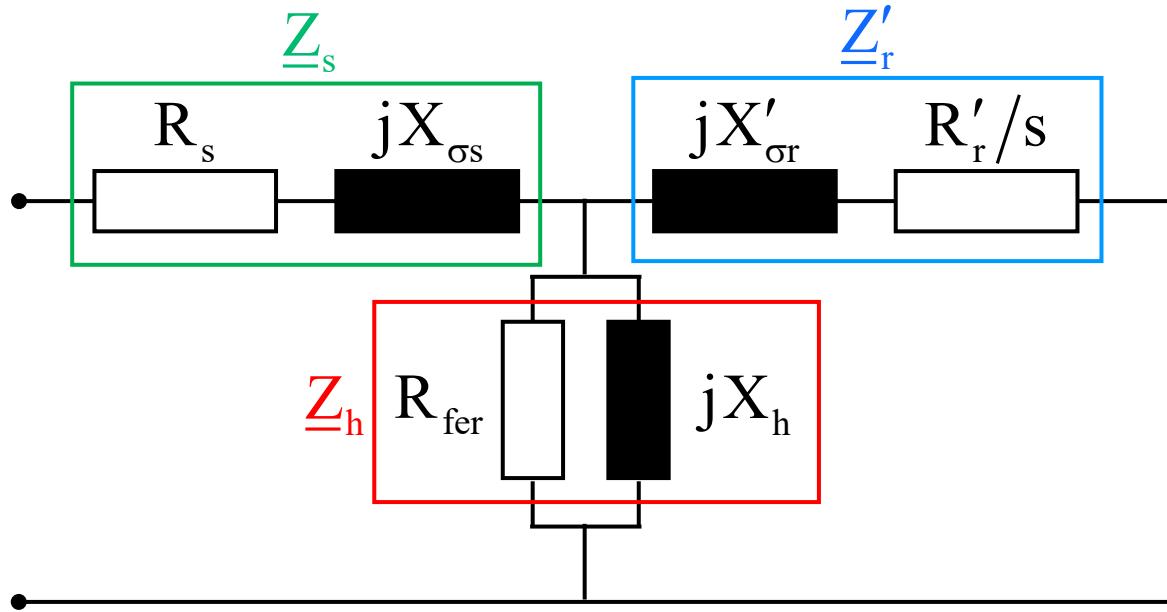
# Alimentation à tension variable



# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- **Impédance équivalente**
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé

# Impédance équivalente



$$\underline{Z}_{\text{eq}} = \underline{Z}_s + \frac{\underline{Z}_h \underline{Z}'_r}{\underline{Z}_h + \underline{Z}'_r}$$

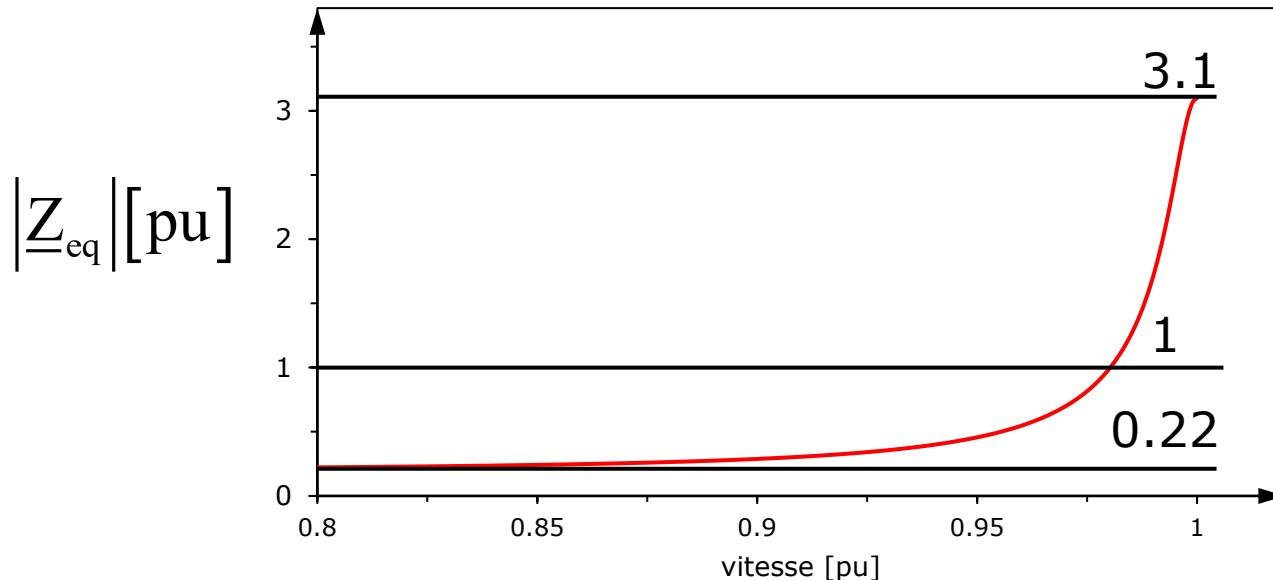
$$\underline{Z}_s = R_s + jX_{\sigma s}$$

$$\underline{Z}'_r = \frac{R'_r}{s} + jX'_{\sigma r}$$

$$\underline{Z}_h = jX_h \longrightarrow R_{\text{fer}} \gg X_h$$

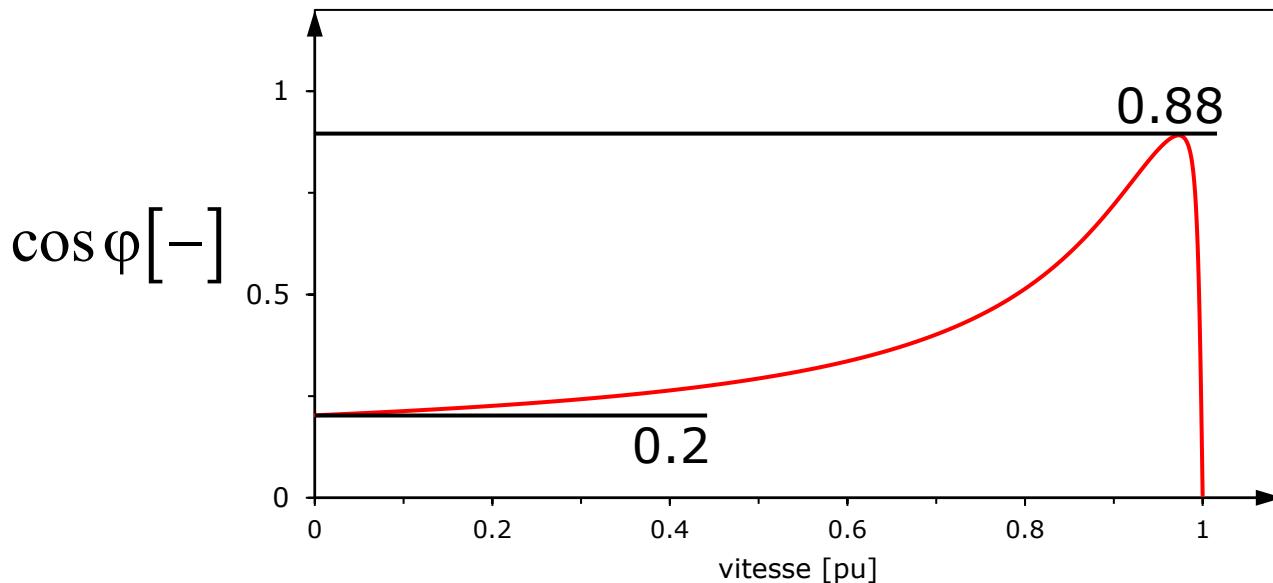
$$\underline{Z}_{\text{eq}} = R_s + jX_{\sigma s} + \frac{jX_h \left( \frac{R'_r}{s} + jX'_{\sigma r} \right)}{jX_h + \left( \frac{R'_r}{s} + jX'_{\sigma r} \right)}$$

# Impédance équivalente en fonction du glissement



$$\frac{1}{3.1} \cong 0.33$$

$$\frac{1}{0.22} \cong 4.5$$



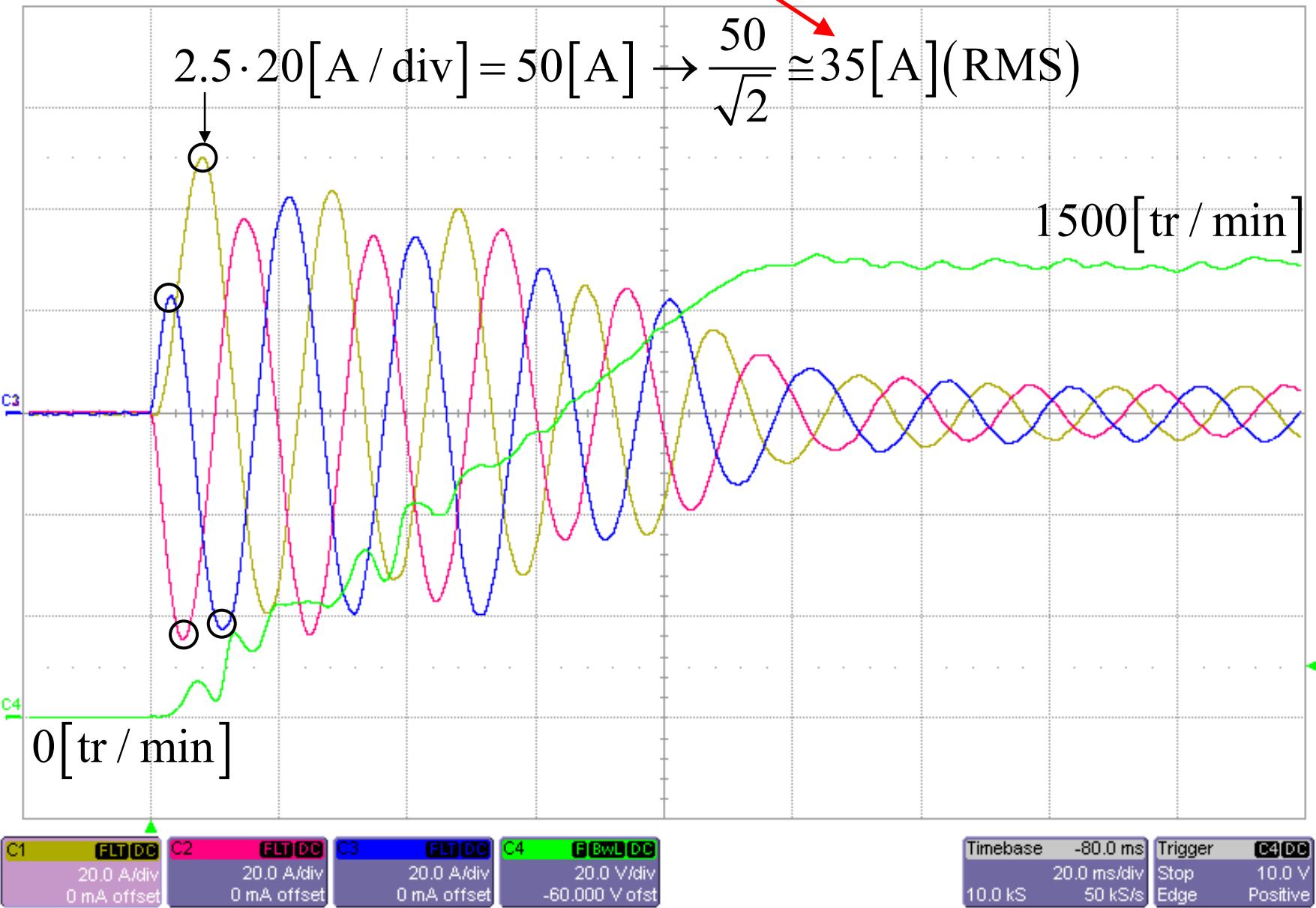
consomme  
du réactif !

# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- **Démarrage**
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé

# Démarrage d'un moteur asynchrone 2.2 kW

$(I_n=5A)$

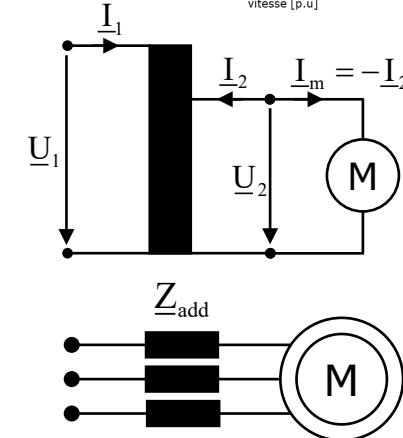
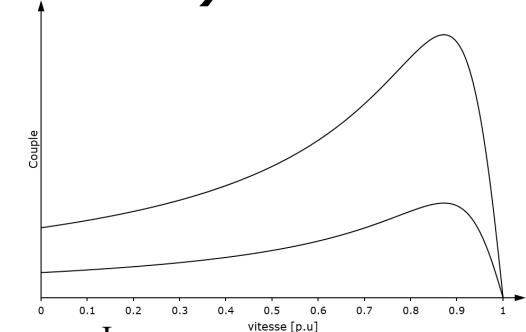


# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé

# Différentes techniques existent pour réduire le courant au démarrage (in rush current)

- Démarrage étoile-triangle
  - Un moteur prévu pour fonctionner en triangle est cablé en étoile lors du démarrage.
- Démarrage par autotransformateur
  - Un transformateur abaisseur de tension est inséré entre le réseau et le moteur.
- Démarrage par impédance additionnelle
  - Une résistance ou une inductance est ajoutée en série avec le stator.
- Soft starter
  - Utilisation d'un convertisseur de puissance possédant des triacs. Contrôle du courant (limitation du courant).



3RW3013-1BB04 - Soft Starter SIRIUS SOO 3.6A 400V 1.5kW 24VAC/DC, Siemens

Distrelec Article Number: 137-65-965 Manufacturer Part Number: 3RW3013-1BB04 Brand: Siemens | Product family

PRICE PER PIECE  
CHF 142.64 (inc. VAT)  
**CHF 132.44** (exc. VAT)

1+ CHF 132.44  
5+ CHF 129.13

- 1 + Add to Cart

1 min order

Image is for illustrative purposes only. Please refer to product description.

Shopping list Compare

# Démarrage étoile-triangle

Un moteur prévu pour fonctionner en triangle est cablé en étoile lors du démarrage

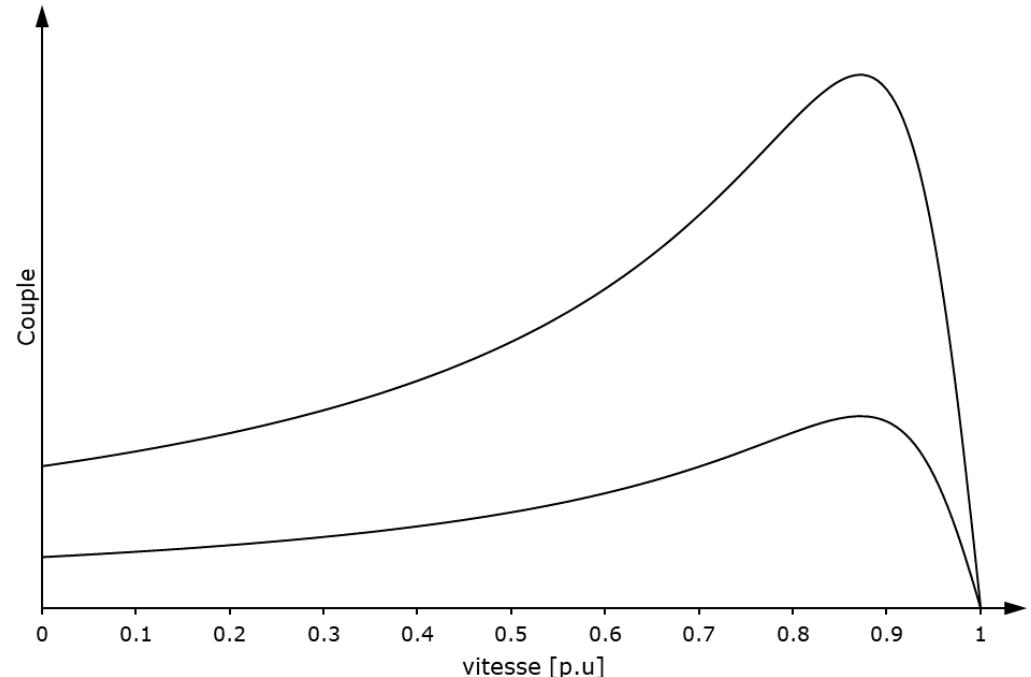
$$U_{phY} = \frac{U_{ph\Delta}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{LY} = \frac{I_{phY}}{\sqrt{3}}$$

$$k_i = \frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{1}{3}$$

$$\rightarrow T_{em} \sim U^2$$

$$\rightarrow k_T = \frac{T_{emY}}{T_{em\Delta}} = \frac{1}{3}$$



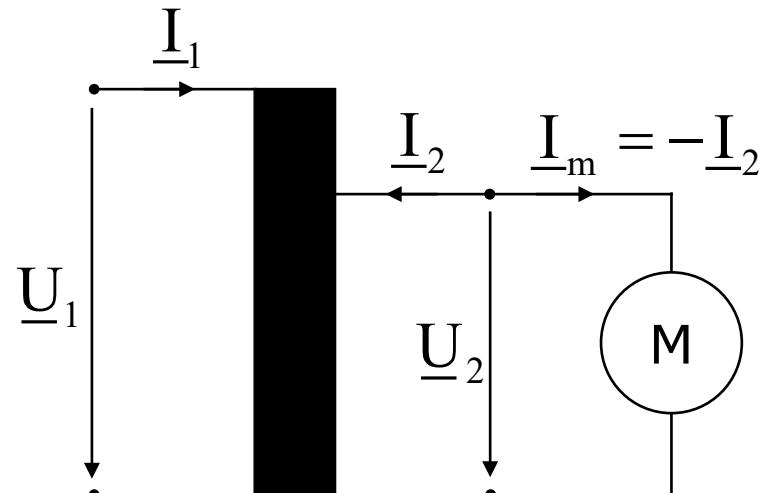
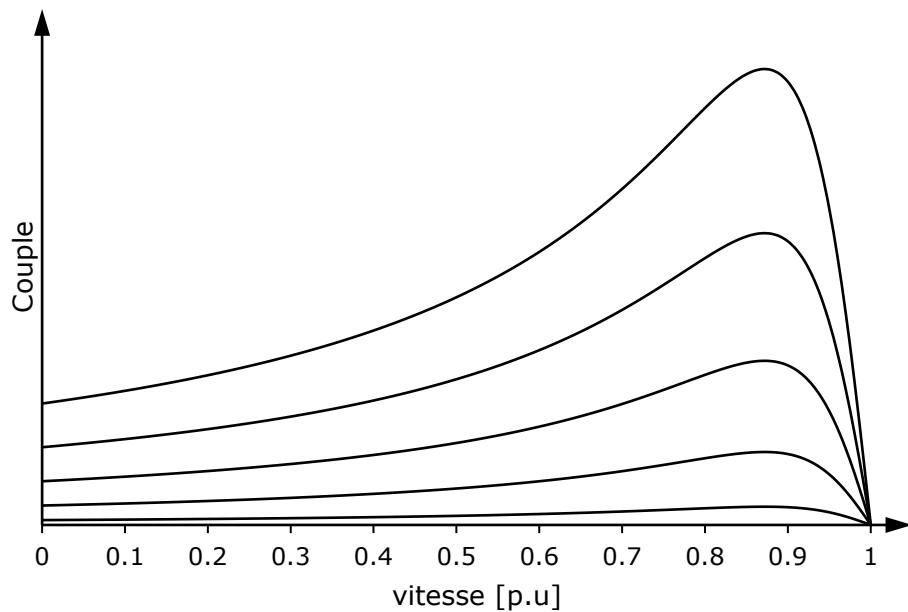
<https://www.youtube.com/watch?v=LX9KomXWYCs> (Français)

<https://www.youtube.com/watch?v=h89TTwlNnpY> (English)

# Démarrage par autotransformateur

Un transformateur abaisseur de tension est inséré entre le réseau et le moteur

$$k = \frac{I_2}{I_{\text{direct}}} = \frac{U_2}{U_1} \cong \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{1}{\ddot{u}} \longrightarrow T_{\text{em}} \sim U^2 \longrightarrow k_T = \frac{T_{\text{em réduit}}}{T_{\text{em direct}}} \cong \frac{1}{\ddot{u}^2}$$

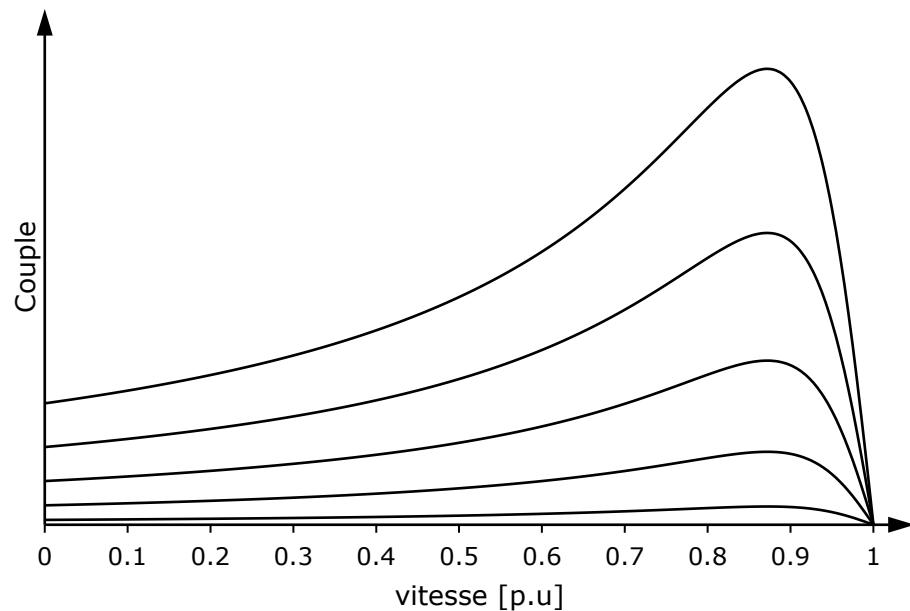
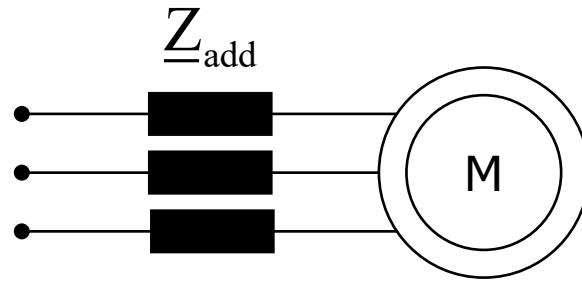


# Démarrage par impédance additionnelle

Une résistance ou une inductance est ajoutée en série avec le stator.

$$k_i = \frac{\underline{Z}_m}{\underline{Z}_m + \underline{Z}_{add}} = \frac{I_{réduit}}{I_{direct}}$$

$$U_{ph\,moteur} = \frac{U_{ph\,pleine\,tension}}{k_i}$$



$$\longrightarrow T_{em} \sim U^2$$

$$\longrightarrow k_T = \frac{T_{em\,réduit}}{T_{em\,direct}} = (k_i)^2$$

# Soft starter

Utilisation d'un convertisseur de puissance possédant des triacs.  
Contrôle du courant (limitation du courant)

<https://www.youtube.com/watch?v=6X71RZWvOvc>

Exemple Distrelec

3RW3013-1BB04 - Soft Starter SIRIUS S00 3.6A 400V 1.5kW 24VAC/DC, Siemens

Distrelec Article Number: 137-65-965   Manufacturer Part Number: 3RW3013-1BB04   Brand: Siemens | Product family



PRICE PER PIECE  
**CHF 142.64** (inc. VAT)  
**CHF 132.44** (exc. VAT)

1+ CHF 132.44  
5+ CHF 129.13

- 1 + Add to Cart

1 min order

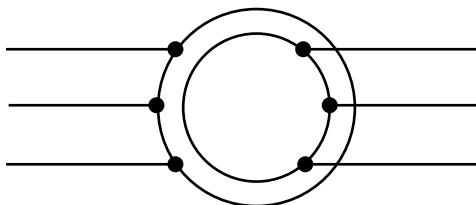
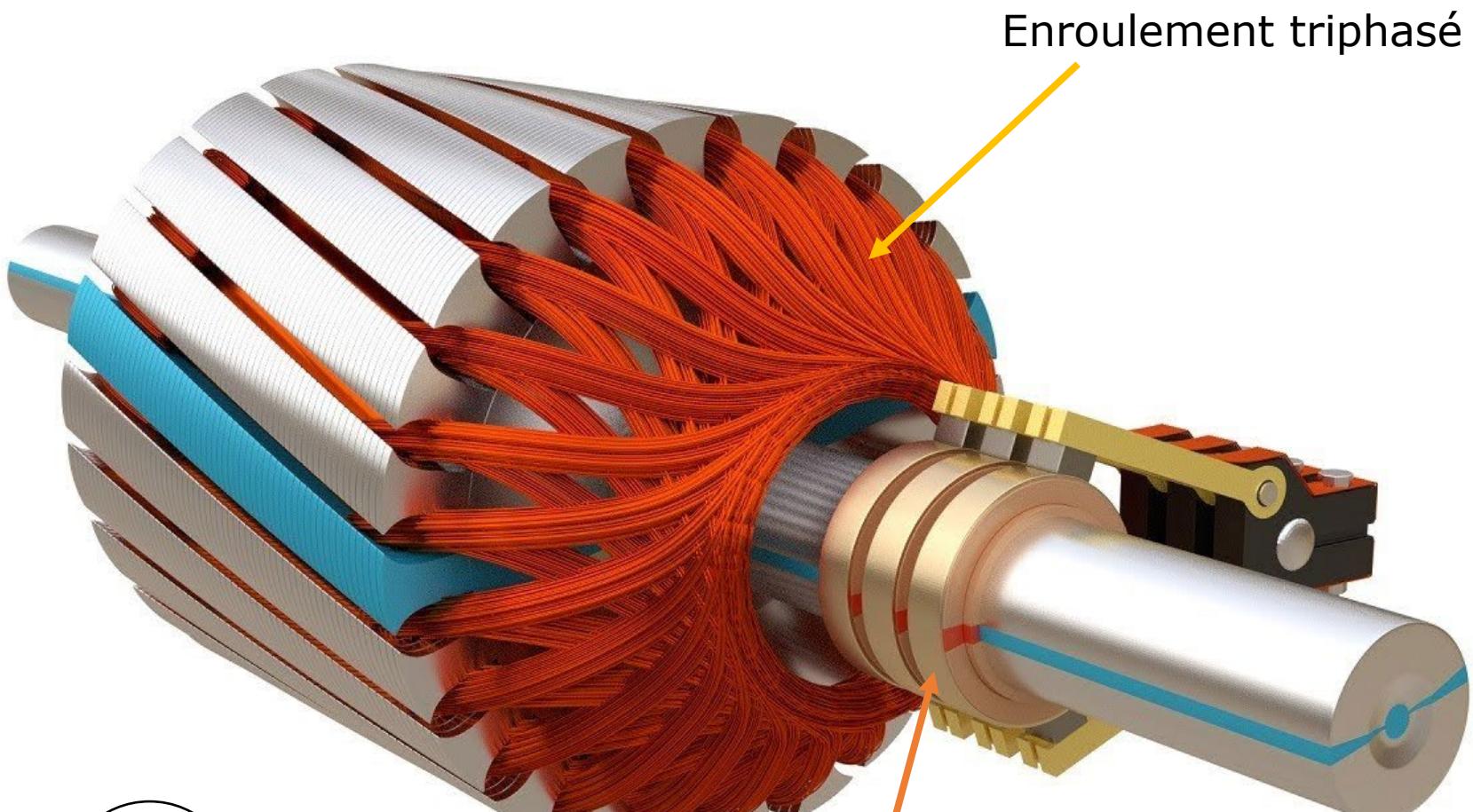
Image is for illustrative purposes only. Please refer to product description.

Shopping list   Compare

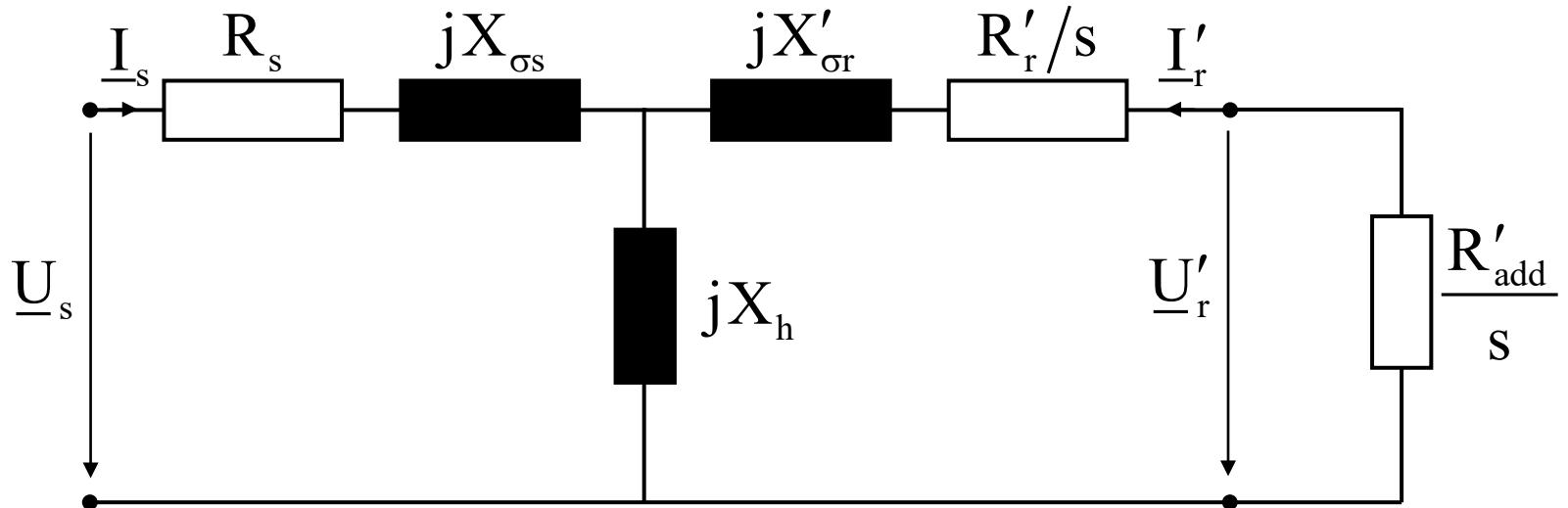
# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- **Démarrage**
  - Moteur à cage
  - **Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage**
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé

# Rotor d'une machine asynchrone à rotor bobiné



# Schéma équivalent à rotor bobiné



$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j X_{\sigma s} \underline{I}_s + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \\ \underline{U}'_r = \frac{R'_r}{s} \underline{I}'_r + j X'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \end{cases}$$

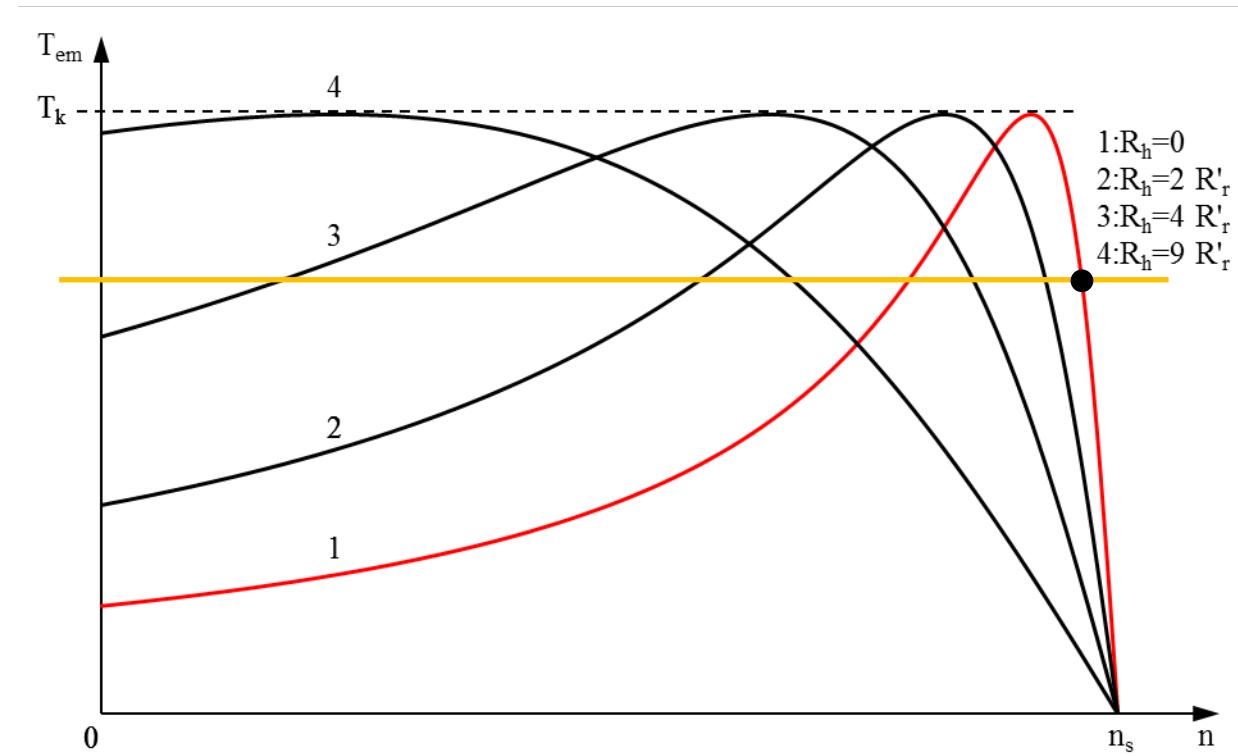
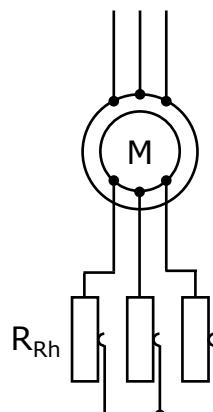
$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j X_{\sigma s} \underline{I}_s + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \\ 0 = \frac{R'_r + R'_{\text{add}}}{s} \underline{I}'_r + j X'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \end{cases}$$

# Rhéostat de démarrage (rotor bobiné)

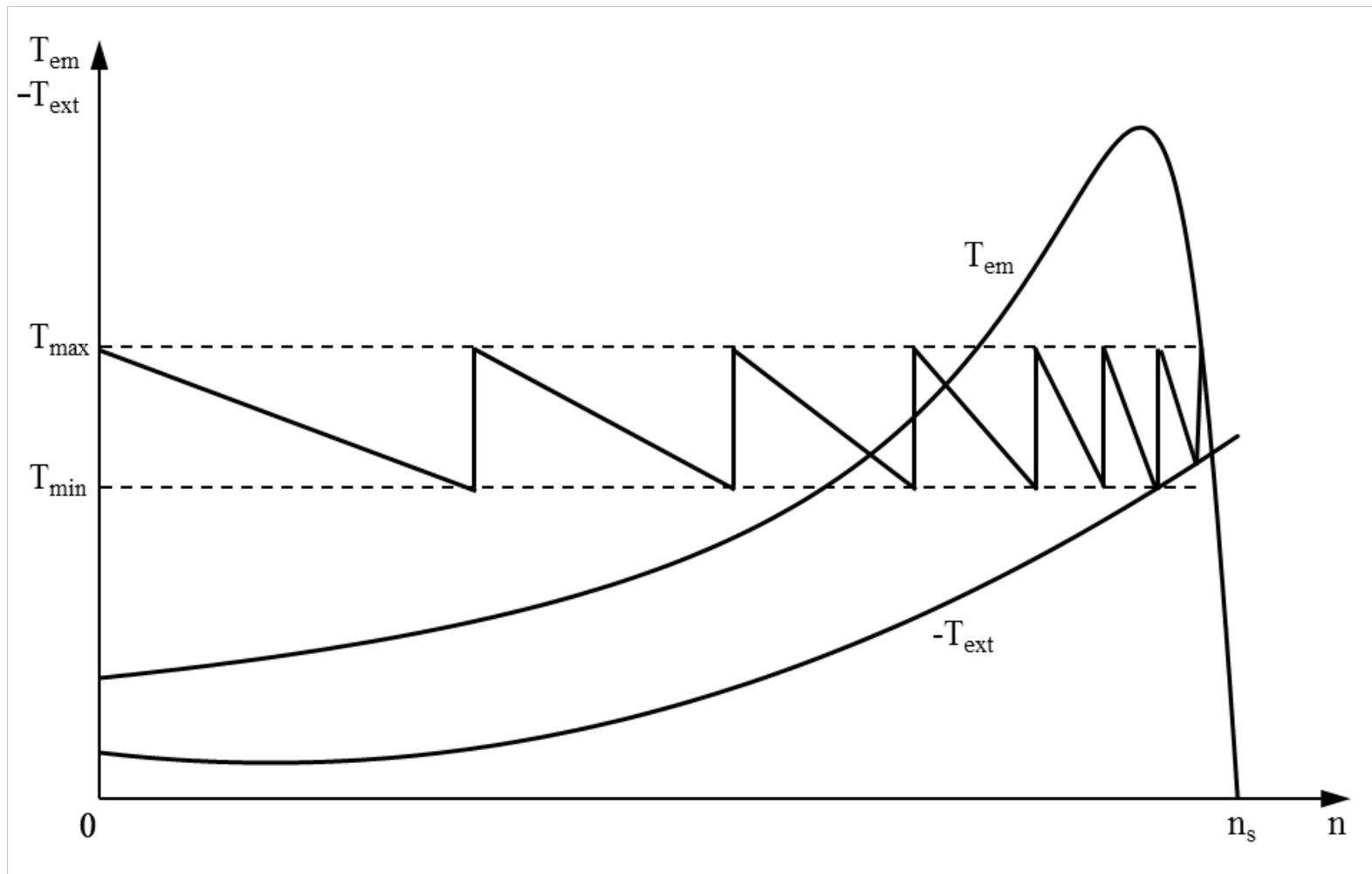
Le but du rhéostat est de modifier  $R'_r$  et donc de modifier la caractéristique de couple.

Avantages :

- Courant réduit
- Couple de démarrage élevé



# Rhéostat de démarrage

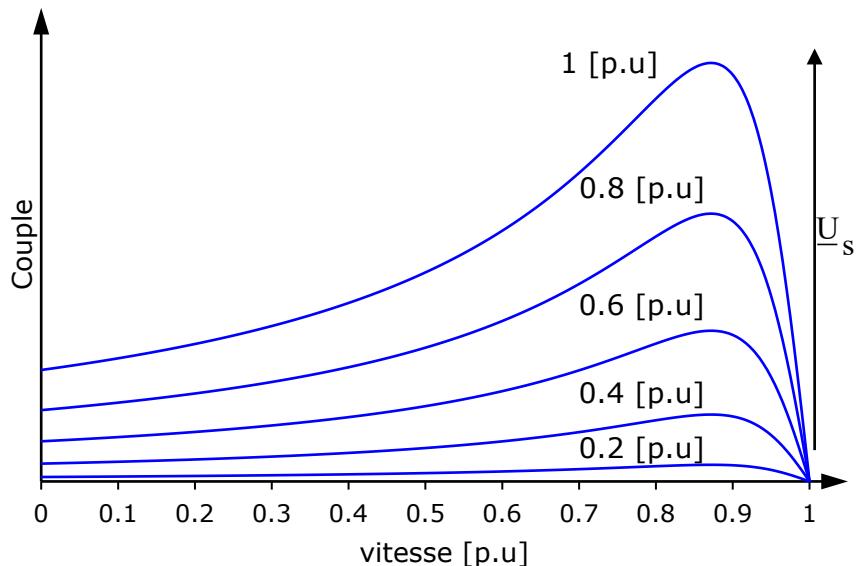


# Sommaire

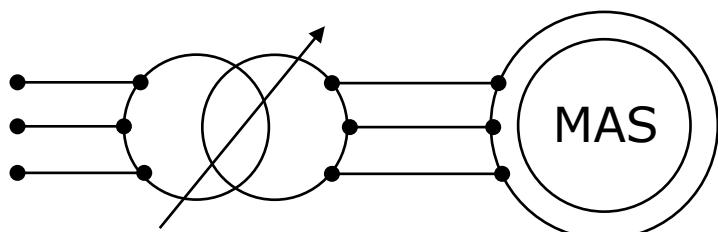
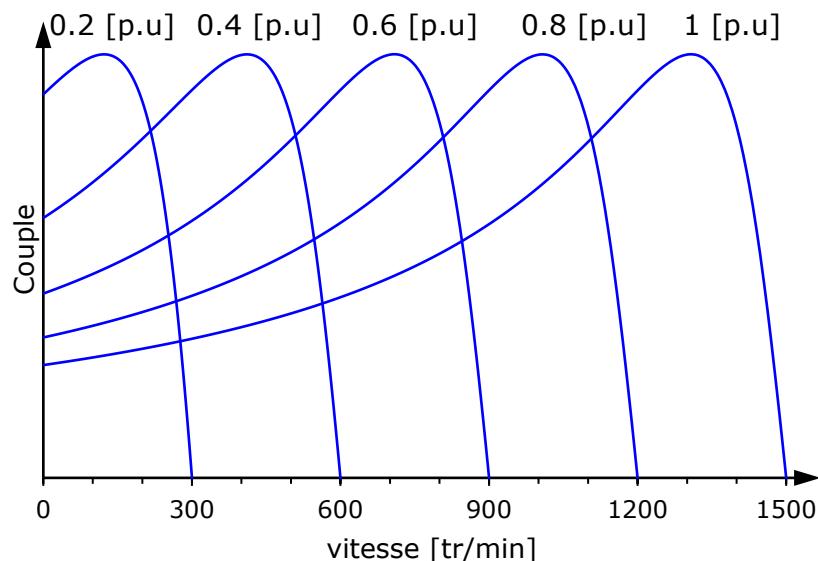
- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- **Alimentation à tension et fréquence variables**
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé

# Alimentation à tension et fréquence variables

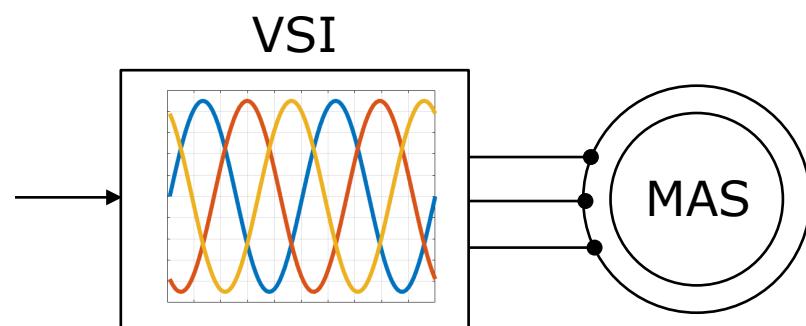
Alimentation à tension variable



Alimentation à  $U/f$  constant



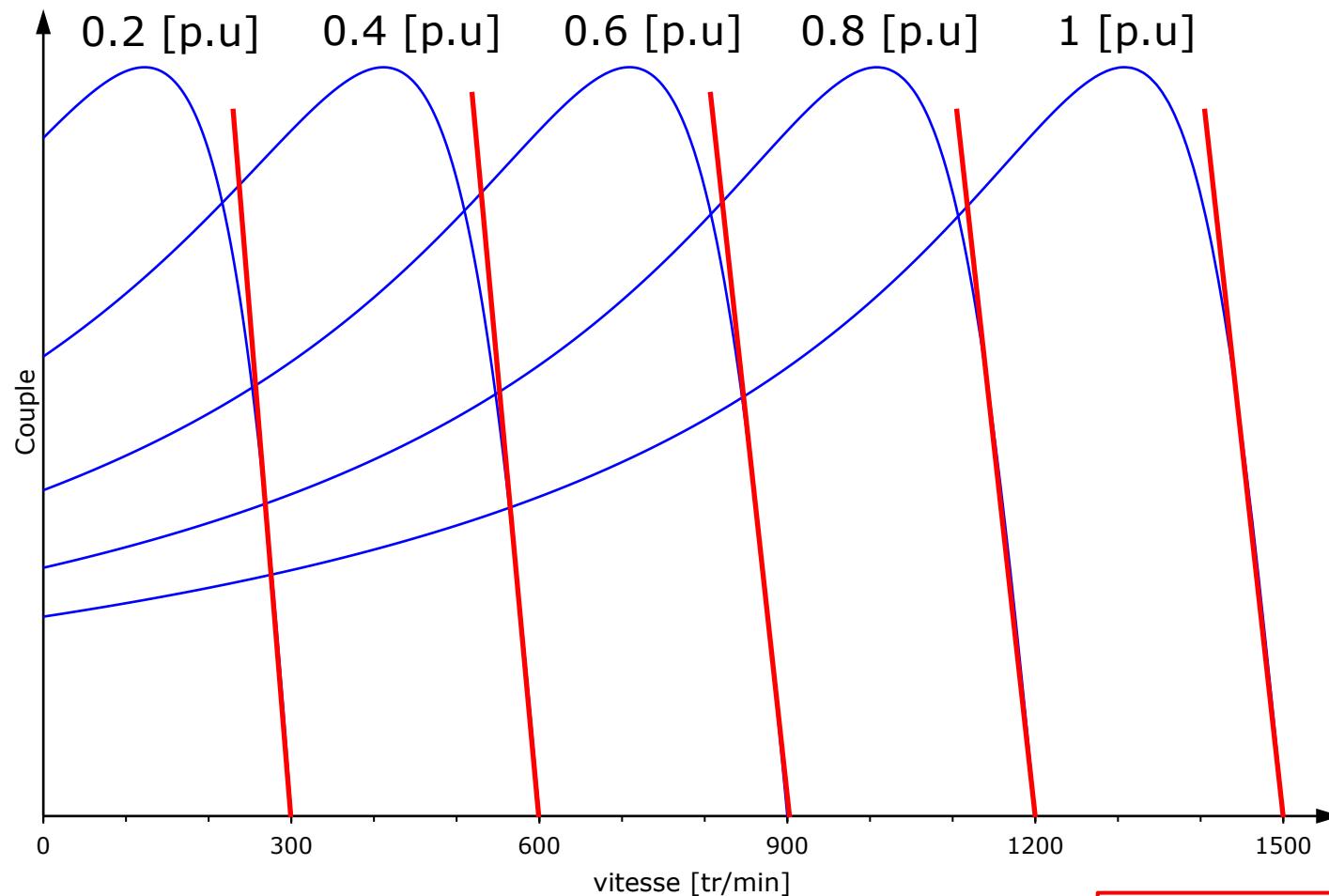
Permet de faire varier  $U_s$  en amplitude



Permet de générer un système triphasé ( $U_s$ ) variable en amplitude et en fréquence

# Alimentation à tension et fréquence variables

Alimentation à U/f constant

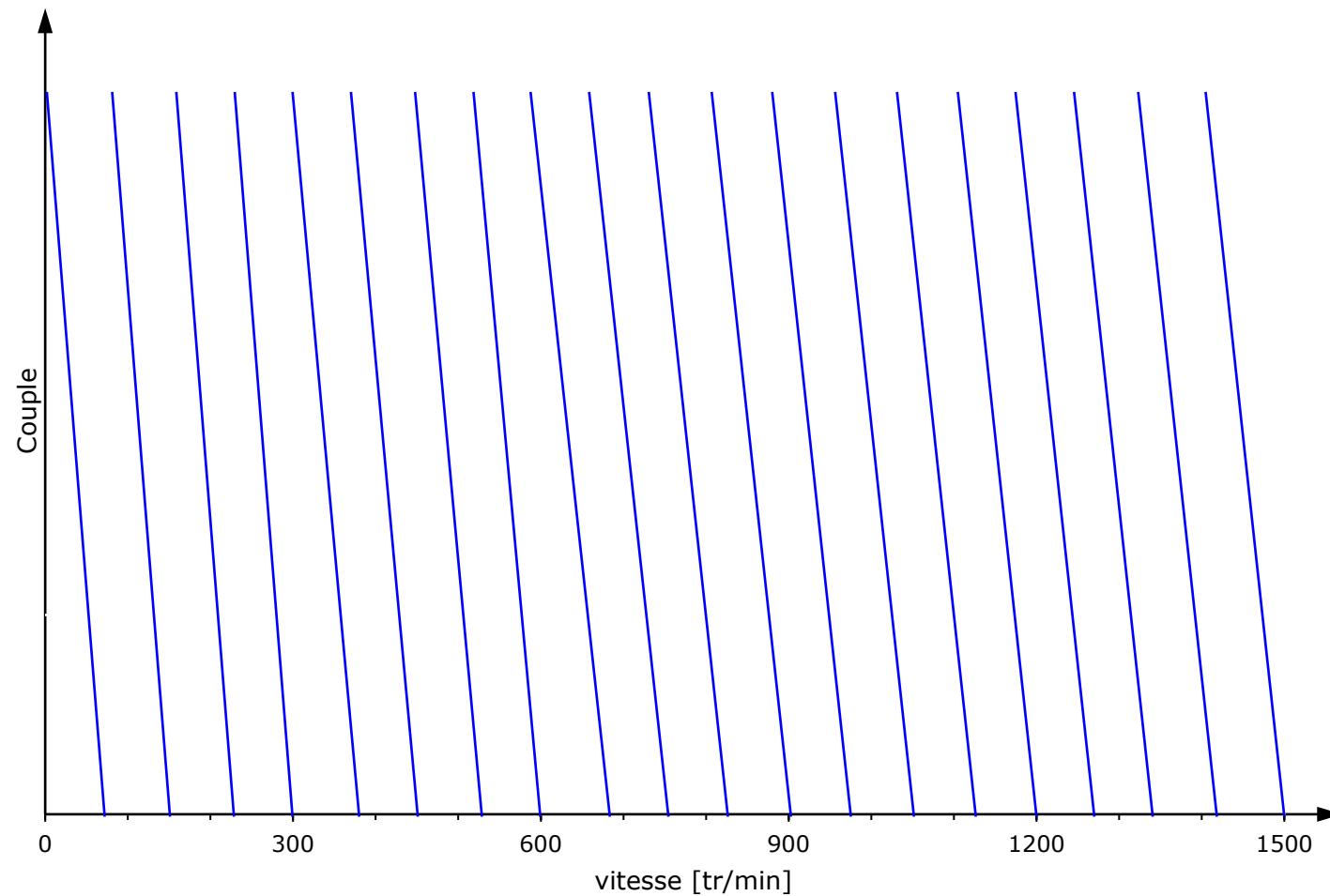


Exemple :  $\frac{230 \text{ V}}{50 \text{ Hz}} \rightarrow 0.5 \rightarrow \frac{115 \text{ V}}{25 \text{ Hz}}$

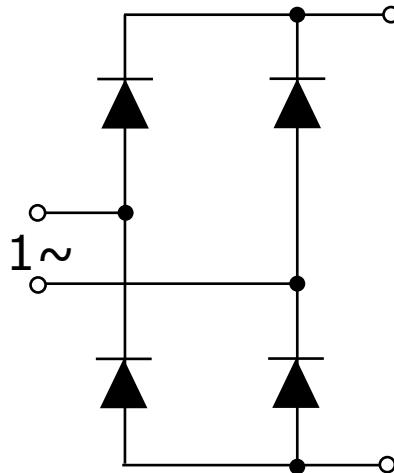
$$T_{\text{em}} \cong \frac{3 U_e^2}{\Omega_s} \frac{s}{R_r'}$$

# Alimentation à tension et fréquence variables

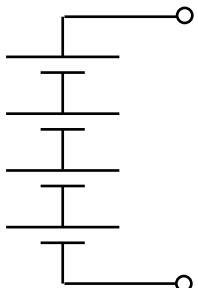
Alimentation à U/f constant



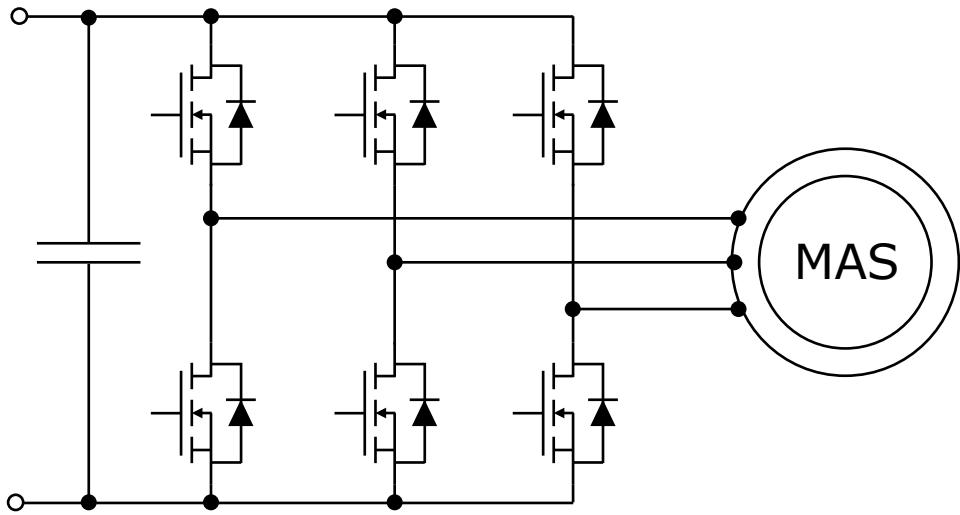
# Alimentation à tension et fréquence variables



- Redresseur à diodes
- Pont de diodes



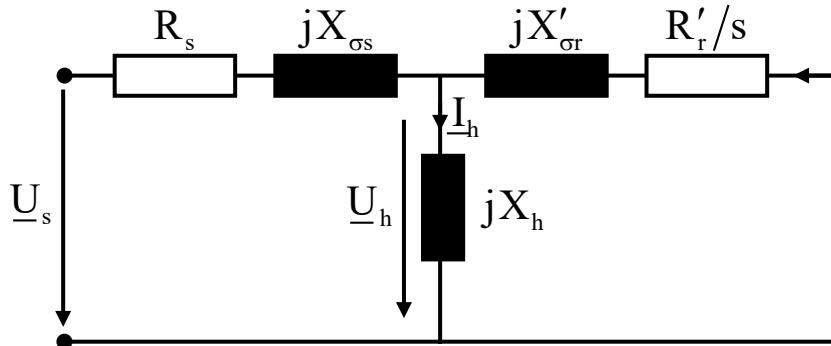
Batteries



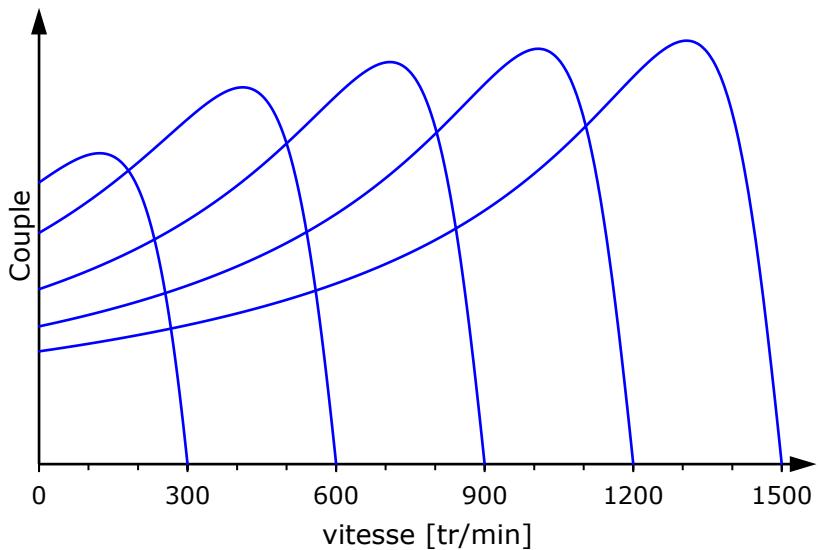
- VSI (Voltage Source Inverter)
- Onduleur
- Convertisseur de tension
- Pont à 6 transistors

# Alimentation à tension et fréquence variables

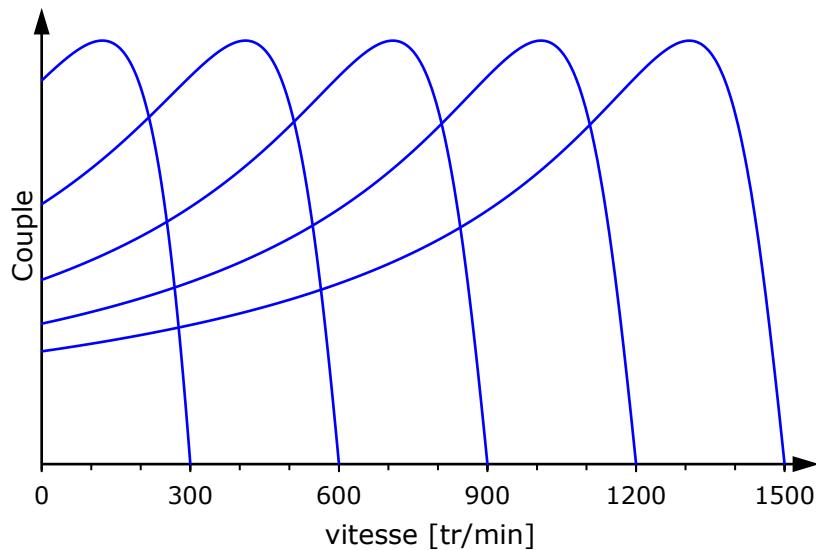
$$\Psi_h = L_h I_h = \frac{X_h}{2\pi f} I_h = \frac{U_h}{2\pi f}$$



$$U_s / f = \text{cste}$$



$$U_h / f = \text{cste}$$

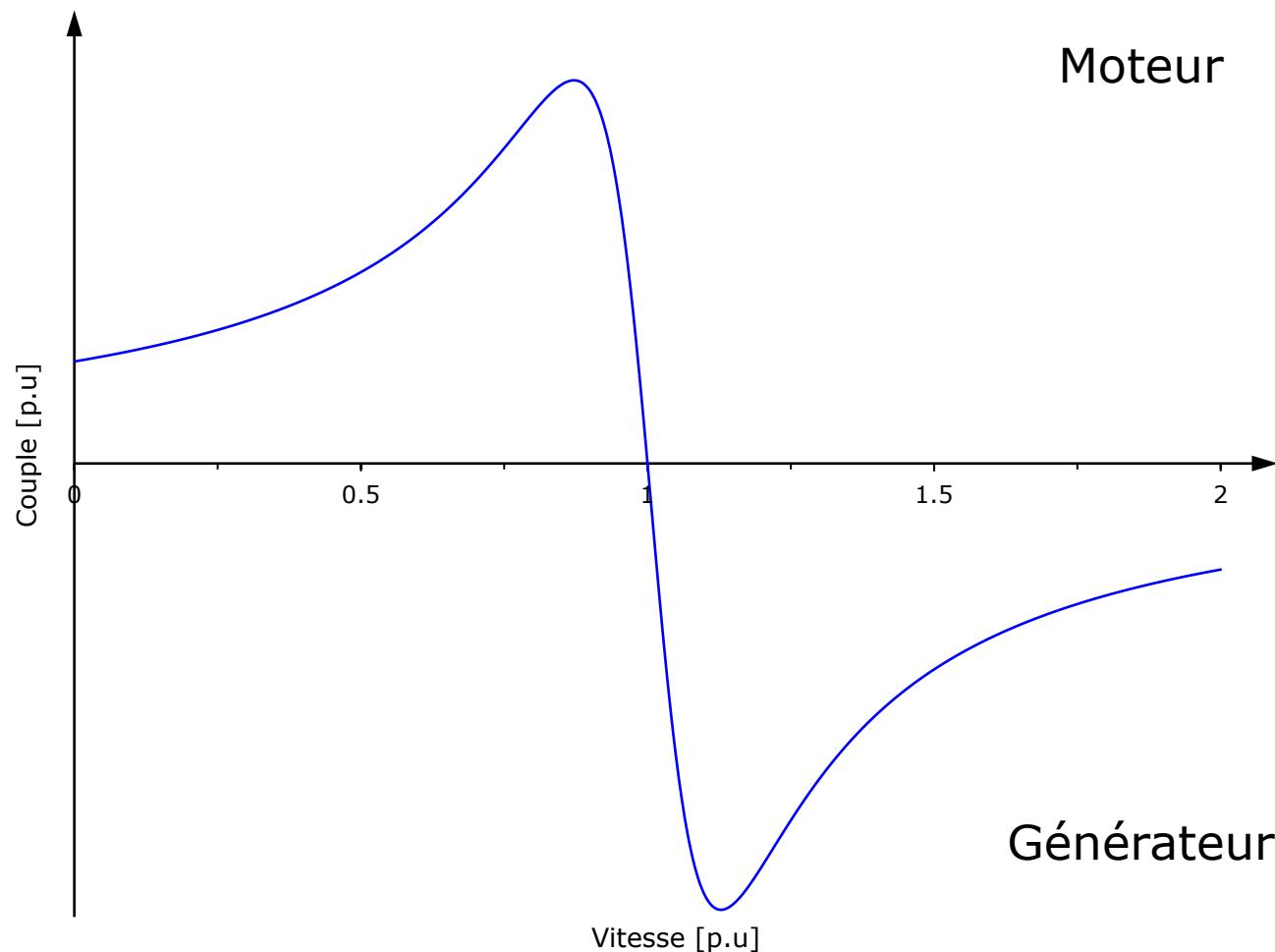


<https://www.youtube.com/watch?v= ZztDN5XX5o>

# Sommaire

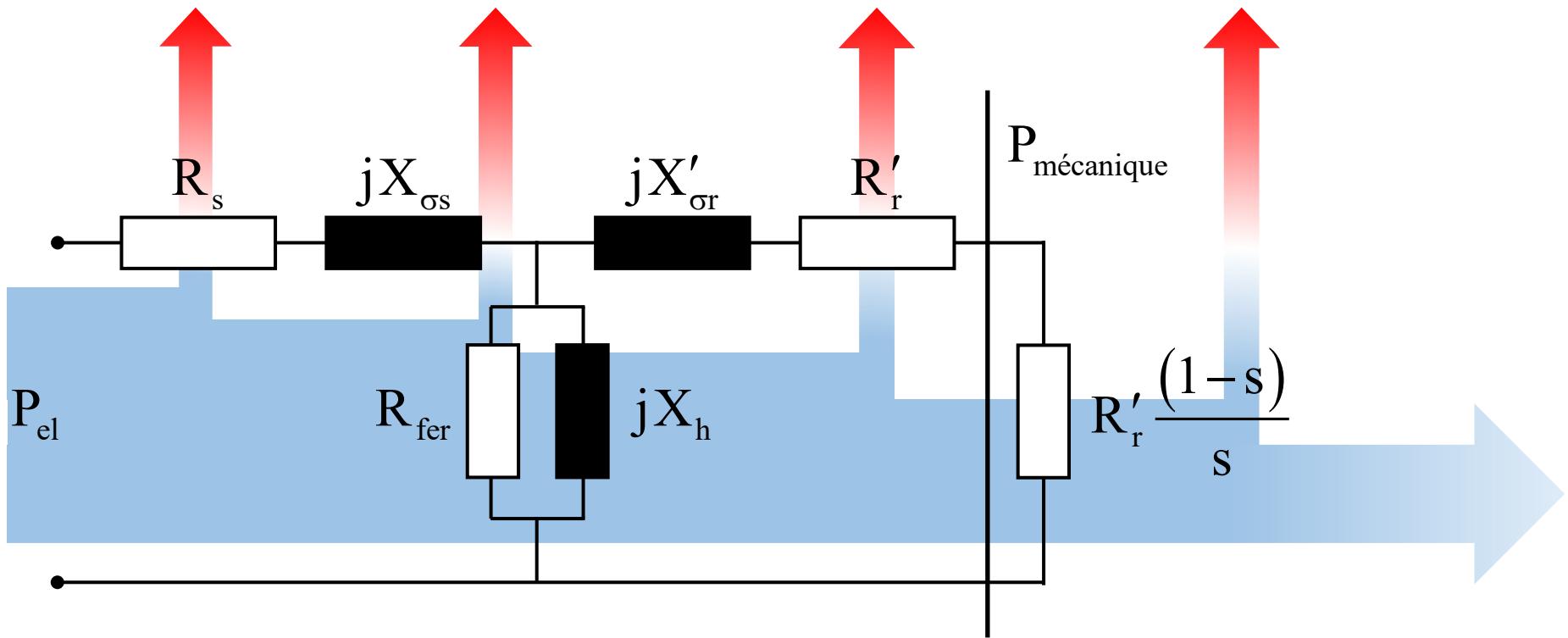
- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- **Modes de fonctionnement et bilan de puissance**
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé

# Caractéristique de couple et modes de fonctionnement



# Bilan de puissance – Moteur

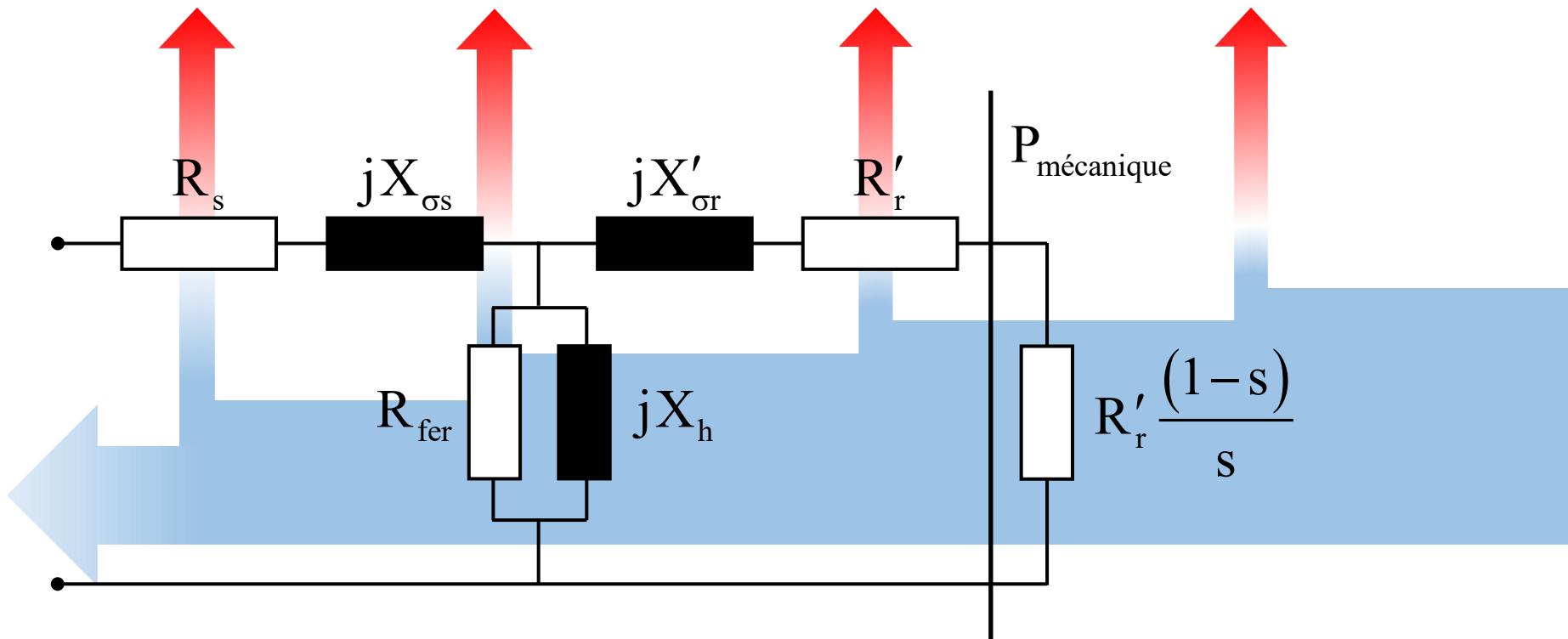
$$P_{el} = P_{js} + P_{fer} + P_{jr} + \overbrace{P_{f+v} + P_{utile}}^{P_{mécanique}}$$



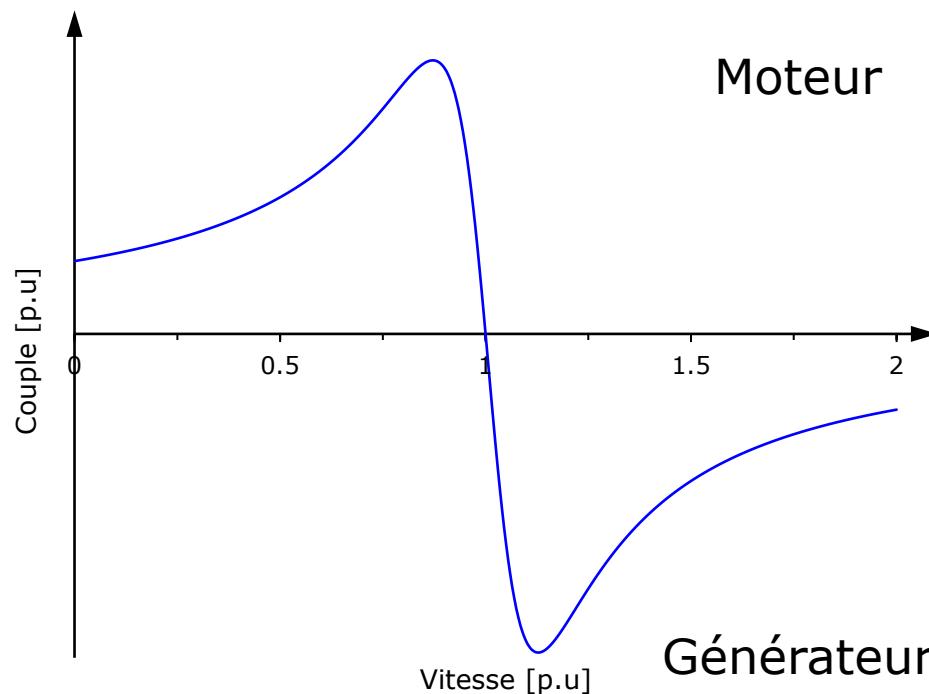
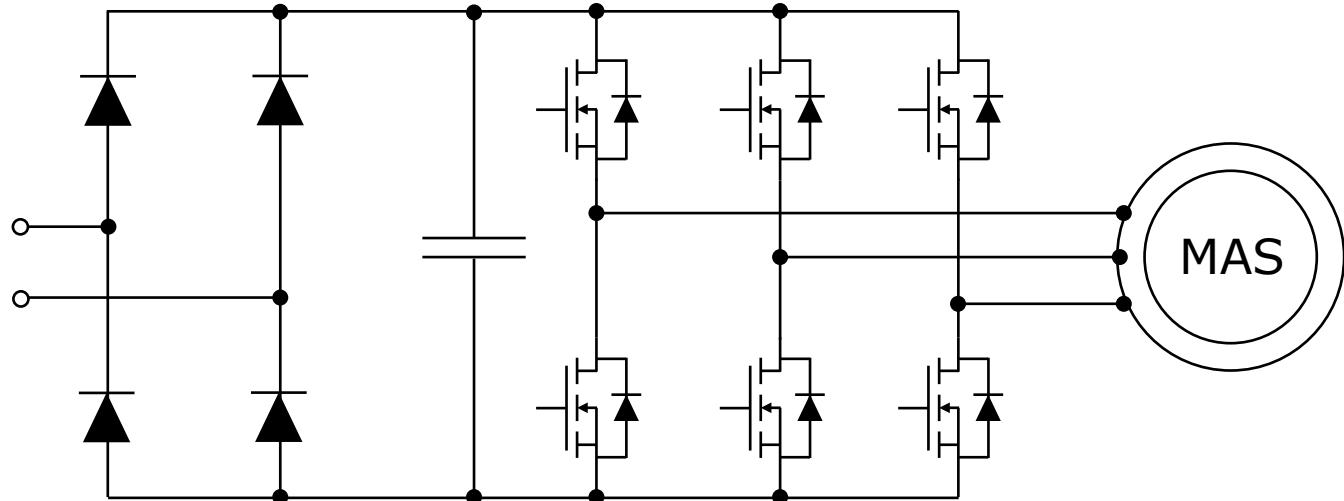
# Bilan de puissance – Générateur

$$P_{el} = P_{js} + P_{fer} + P_{jr} + \overbrace{P_{f+v} + P_{utile}}^{P_{mécanique}}$$

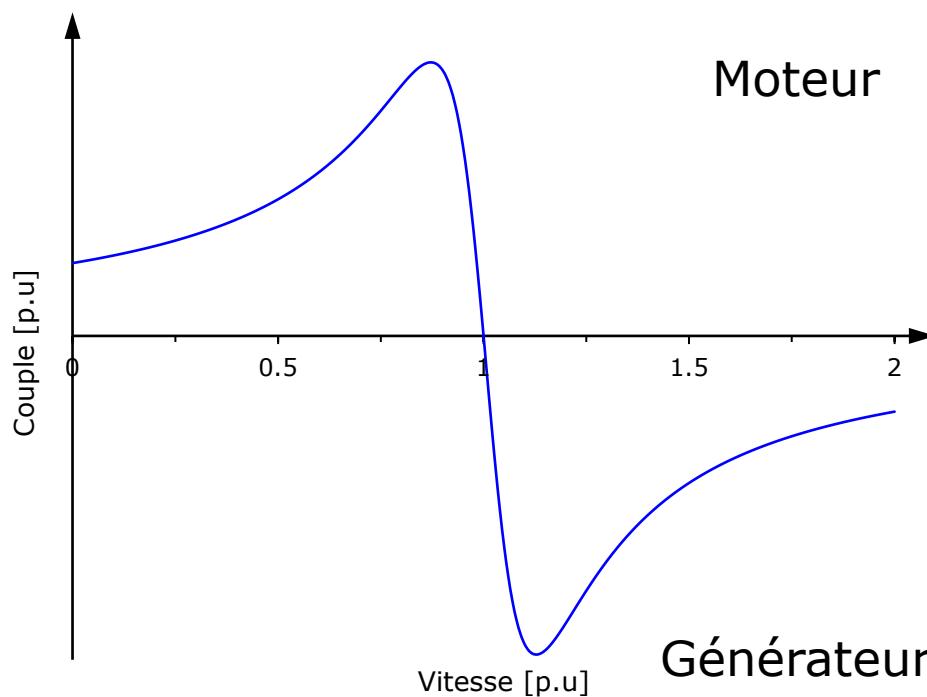
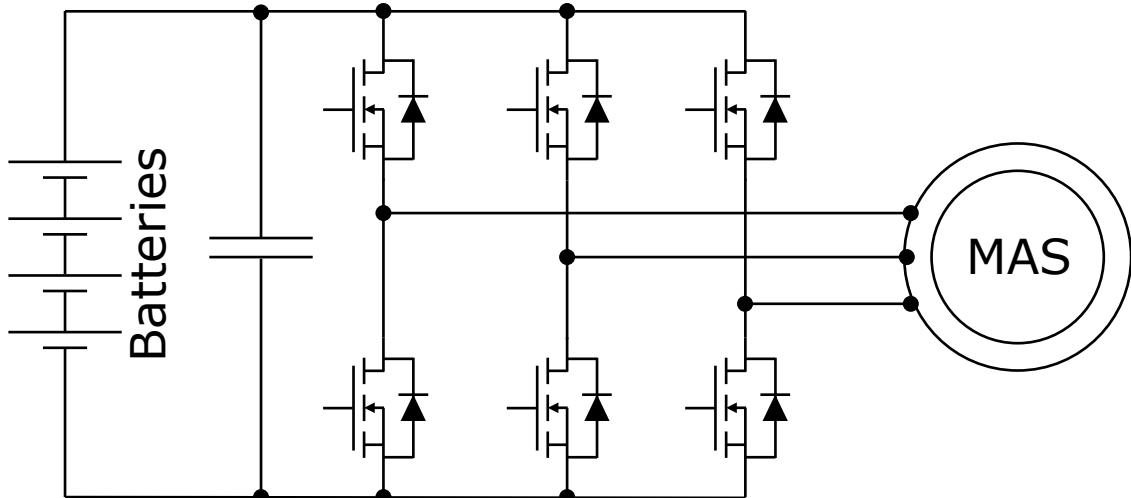
$P_{utile}$  et  $P_{el}$   
sont négatif



# Considération sur les modes de fonctionnement I



# Considération sur les modes de fonctionnement II



# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- **Moteur à cage à effet pelliculaire**
- Moteur asynchrone monophasé

# Moteur à cage à effet pelliculaire

## Principe

$$\text{Courants au rotor} \quad f_r = s f$$

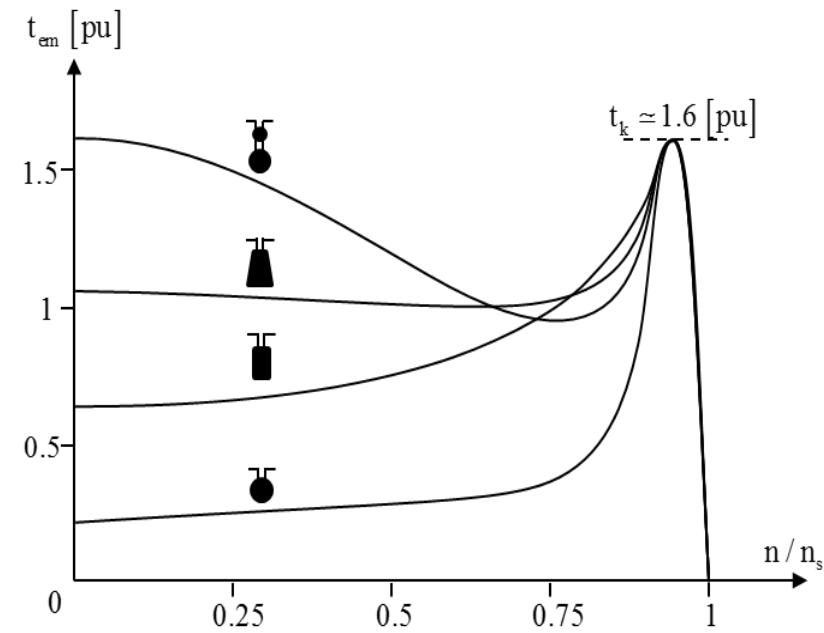
Répartition uniforme si courant continu ou faible fréquence, donc à vide et en charge.

Au démarrage la fréquence est plus élevée, le courant se concentre dans partie supérieure de la barre, la forme de la barre a donc de l'importance.

$$d = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 s f}} \quad \begin{matrix} \leftarrow \\ \text{résistivité du} \\ \text{matériaux} \end{matrix}$$

↑  
profondeur de pénétration

Exemple, barre rectangulaire en cuivre ( $\rho \approx 20 \text{ m}\Omega\text{m}$  à  $50^\circ\text{C}$ ) et fréquence de 50 Hz  $\rightarrow d = 1 \text{ cm}$



# Norme NEMA Classes A-B-C-D

Figure 4.5c. Lamination from typical squirrel-cage induction motor rotors, showing the cross section of the rotor bars.

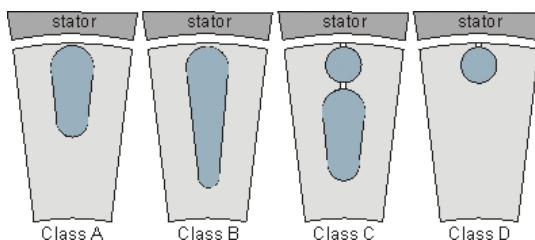
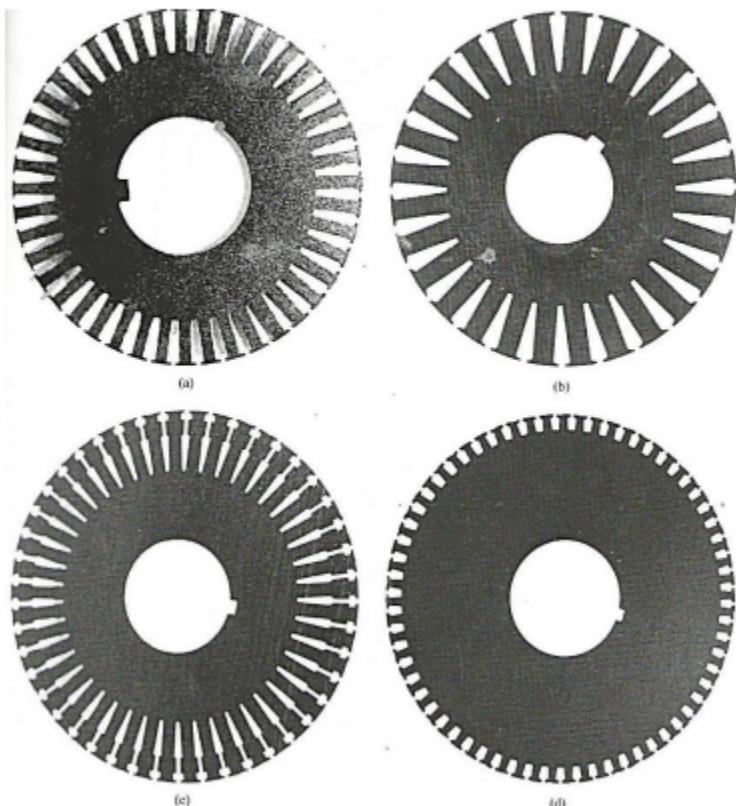
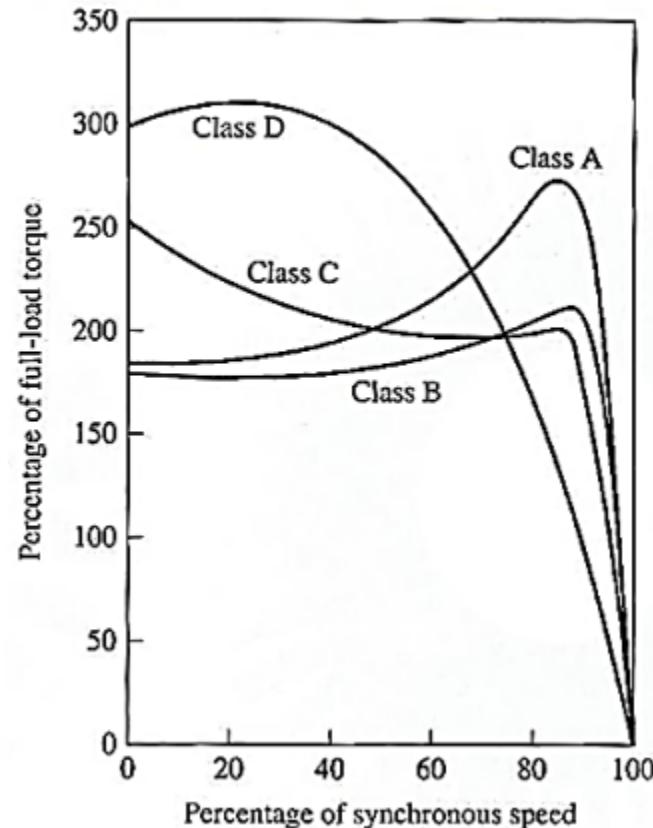


Figure 4.5d. Typical torque-speed curves for different rotor designs.



NEMA class A – large bars near the surface  
NEMA class B – large, deep rotor bars  
NEMA class C – double cage rotor design  
NEMA class D – small bars near the surface

# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- **Moteur asynchrone monophasé**

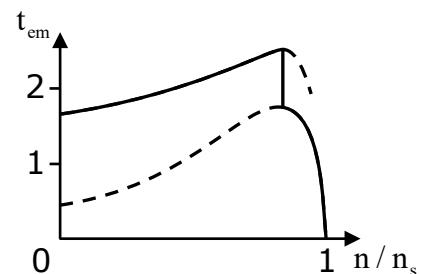
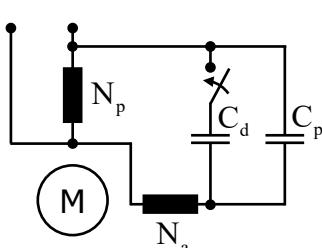
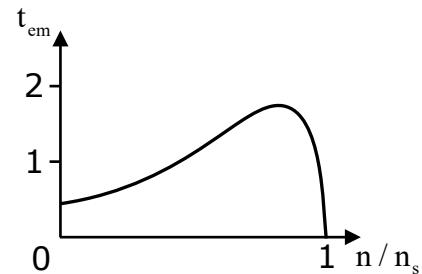
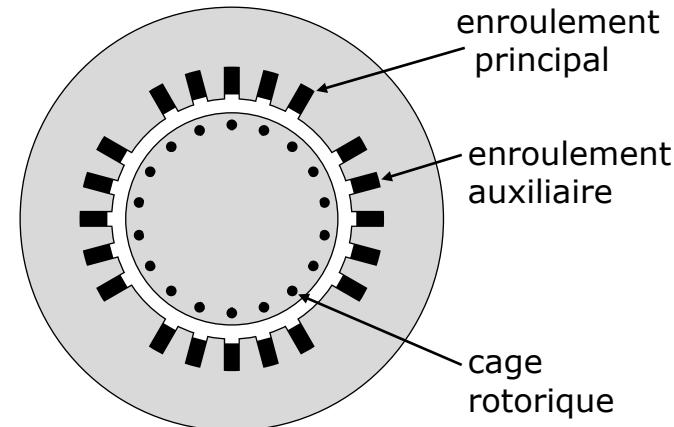
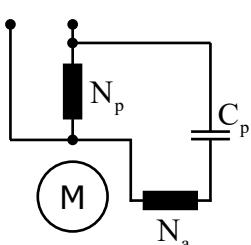
# Moteur asynchrone monophasé

## Types de réalisations

Capacité connectée en permanence



Capacité en permanence et capacité de démarrage déconnectée par relai centrifuge



Sources:

<https://valelectric.ch>

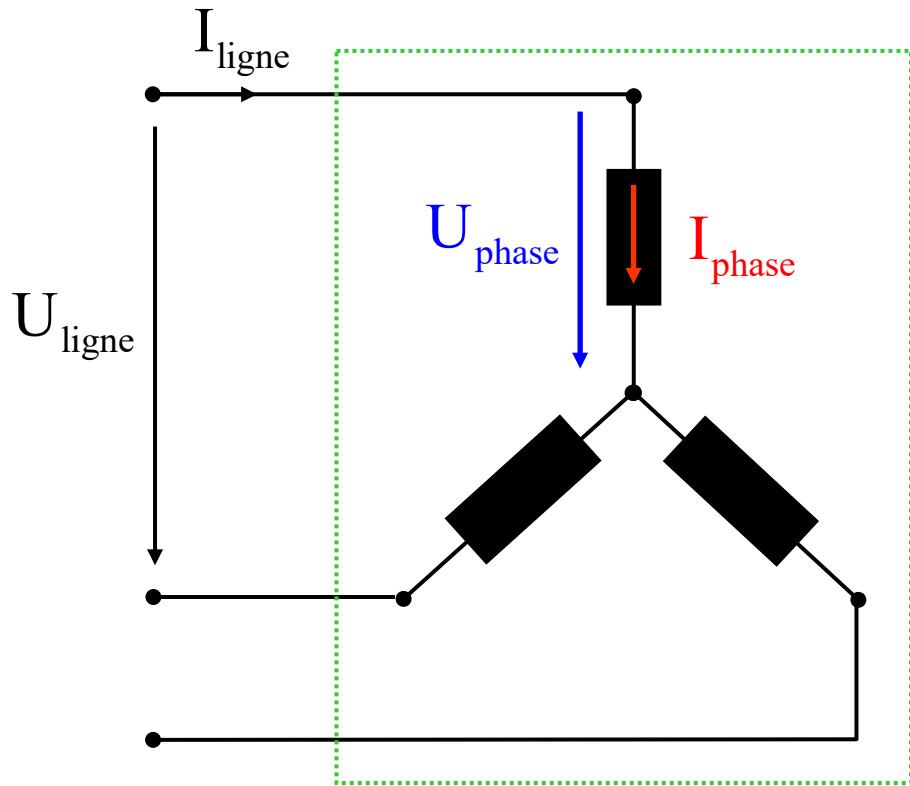
<https://tzmotai.com>

<https://www.branche-technologie.com/electronique/condensateur-de-demarrage.html>

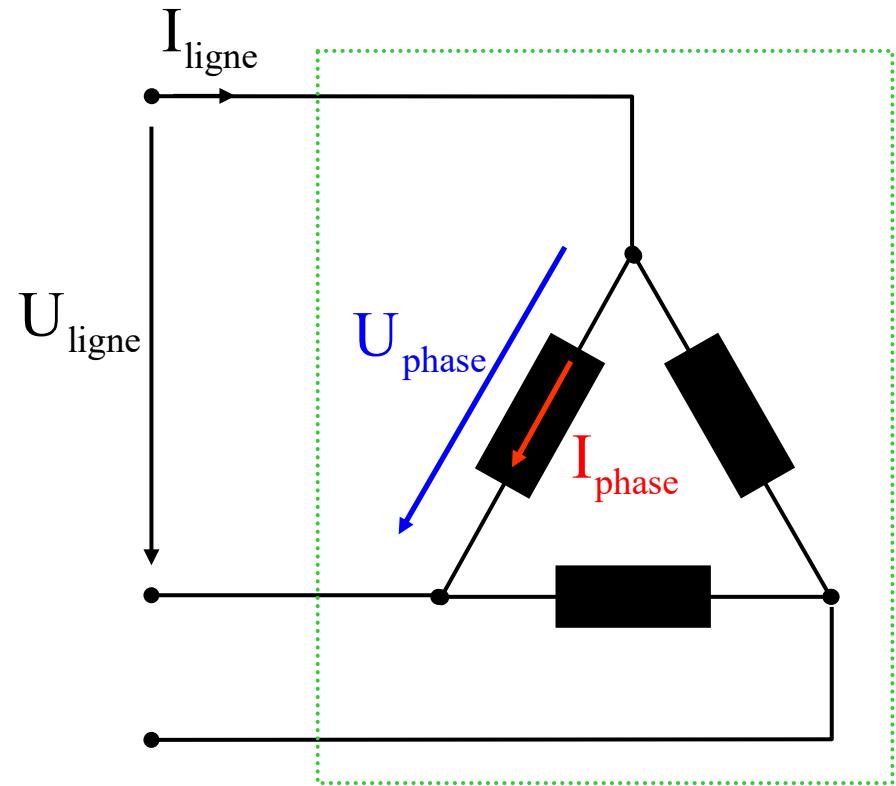
# Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage
  - Moteur à cage
  - Moteur à rotor bobiné – Rhéostat de démarrage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Moteur à cage à effet pelliculaire
- Moteur asynchrone monophasé
- Complément sur le montage étoile et triangle

# Rappel sur les couplages étoile-triangle

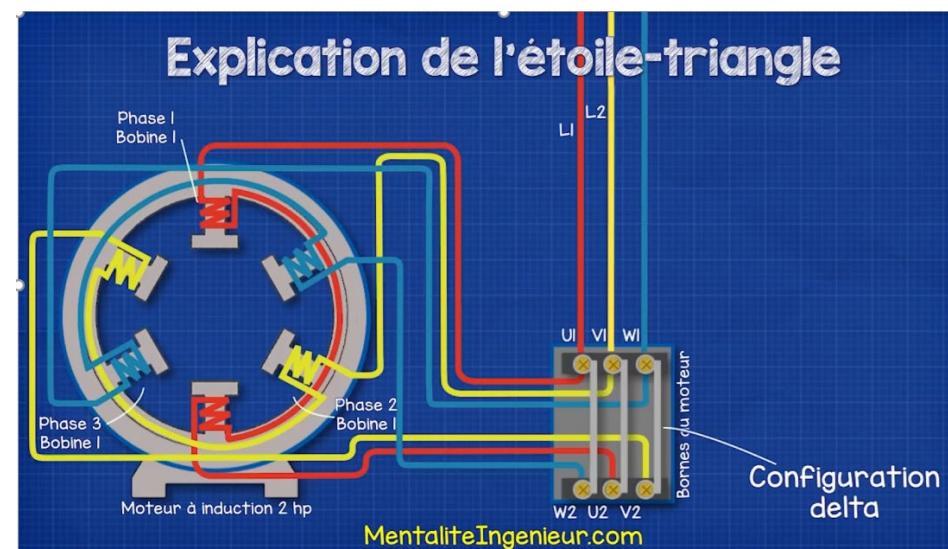
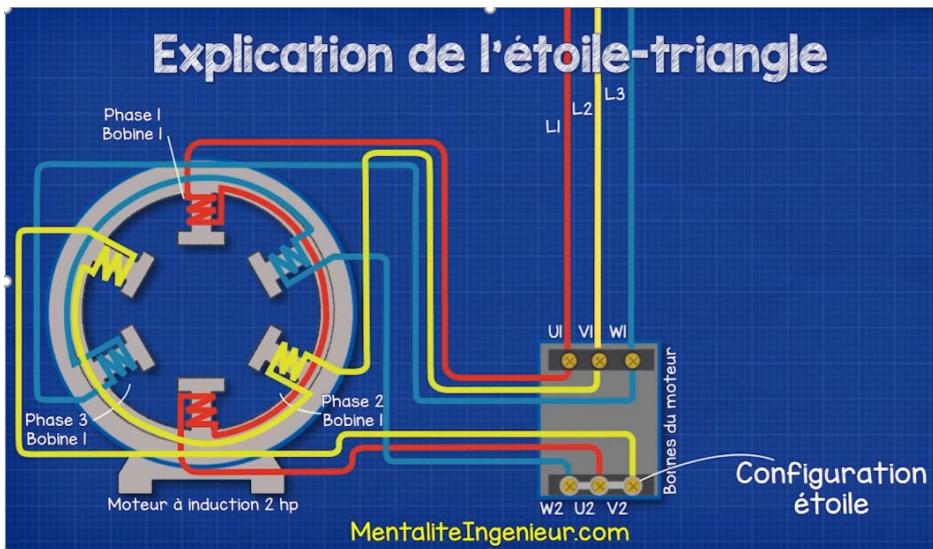


$$\begin{cases} U_{\text{phase}} = U_{\text{ligne}} / \sqrt{3} \\ I_{\text{phase}} = I_{\text{ligne}} \end{cases}$$



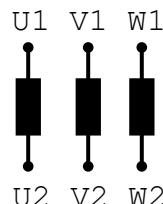
$$\begin{cases} U_{\text{phase}} = U_{\text{ligne}} \\ I_{\text{phase}} = I_{\text{ligne}} / \sqrt{3} \end{cases}$$

# Complément sur les couplages étoile-triangle

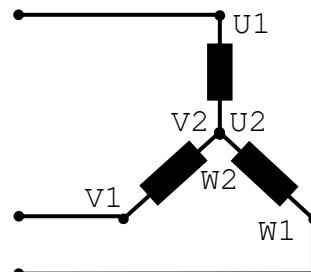


<https://www.youtube.com/watch?v=LX9KomXWYCs> (Français)

<https://www.youtube.com/watch?v=h89TTwlNnpY> (English)



Etoile



Triangle

