

machine asynchrone



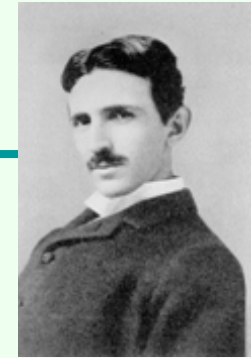
moteur asynchrone
(broche UGV)
très grande vitesse
200 kW – 100 000 tr/mn
(20 N.m)



source : Bohani motors

Histoire

machine asynchrone



1883 Nicolas Tesla (1856-1943)

premier moteur à induction

Nicolas Tesla conçoit son premier moteur à induction biphase
350 W (à Strasbourg)

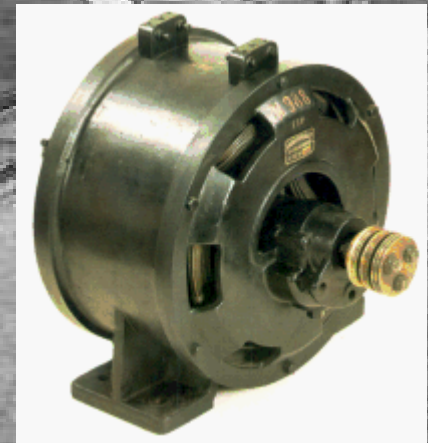


Histoire

machine asynchrone

XXe développement des actionneurs électriques

Par sa simplicité de construction, la machine asynchrone s'impose dans 80 % des applications industrielles dans toutes les gammes de puissance



1995 Traction ferroviaire

La machine asynchrone conquiert le domaine de la traction électrique. L'Eurostar est lancé à partir des années 1995. Ces trains sont équipés de machines asynchrones d'une puissance unitaire de 1 MW. Chaque train « Eurostar » possède 12 moteurs, soit une puissance maximum de 12,2 MW.



machine asynchrone

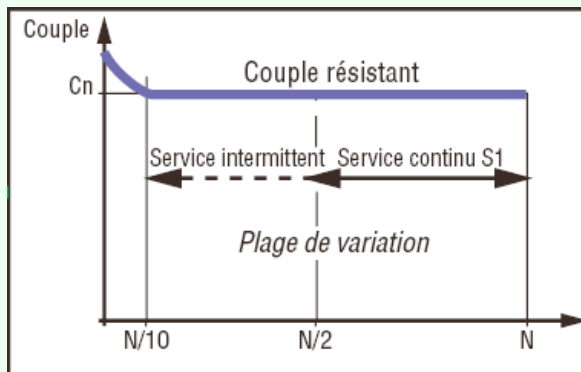
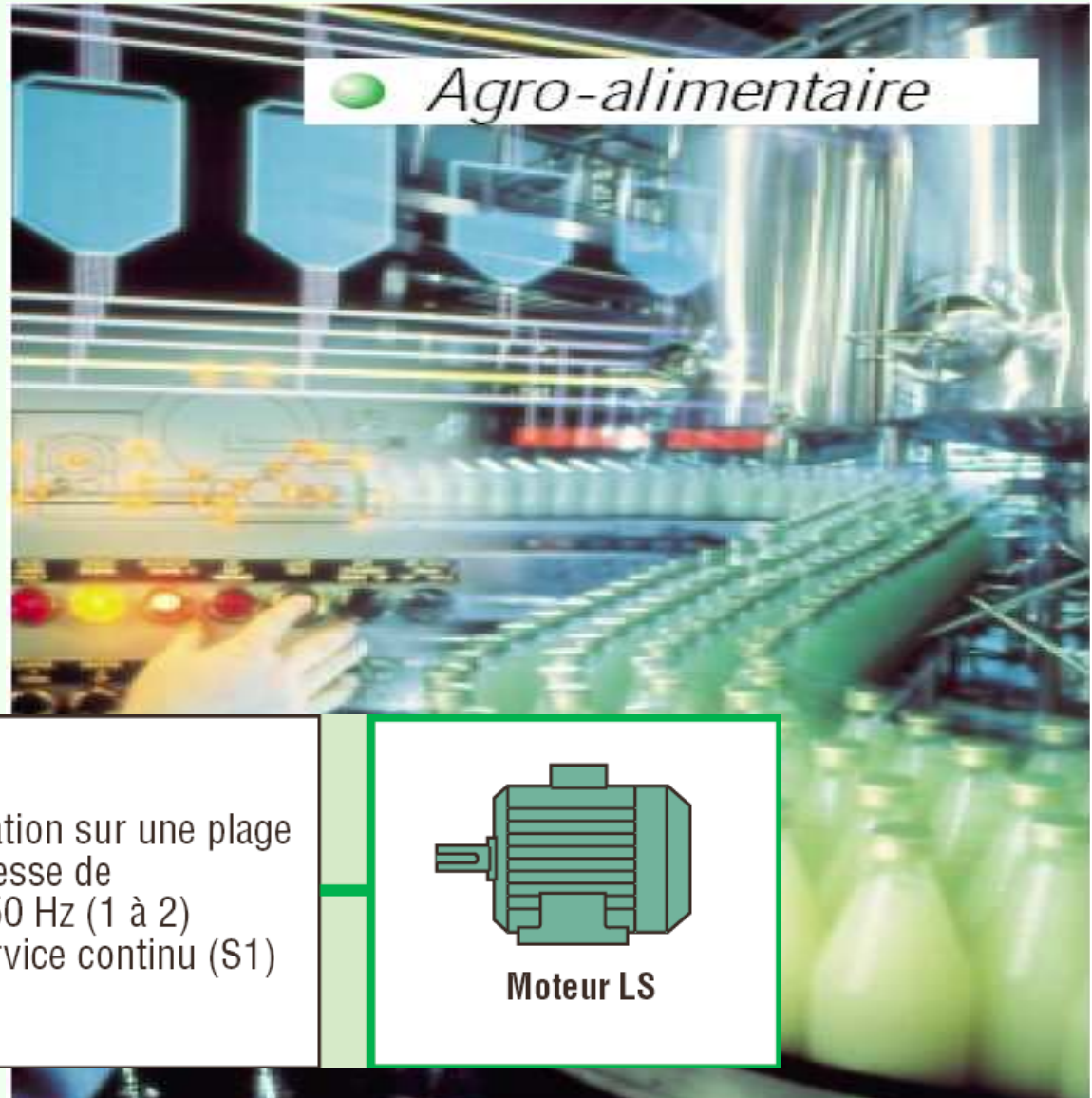
Applications



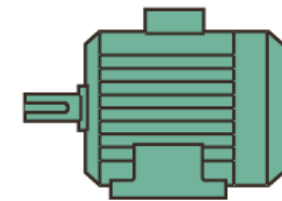
machine asynchrone

les applications

Entraînement de convoyeurs



Utilisation sur une plage de vitesse de 25 à 50 Hz (1 à 2) en service continu (S1)



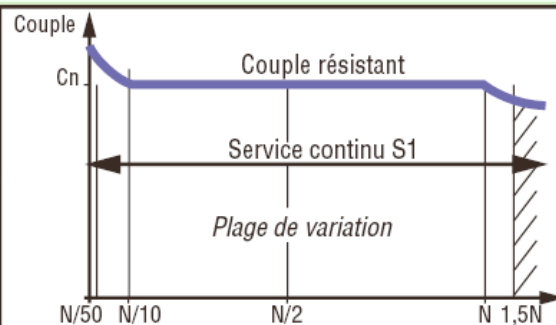
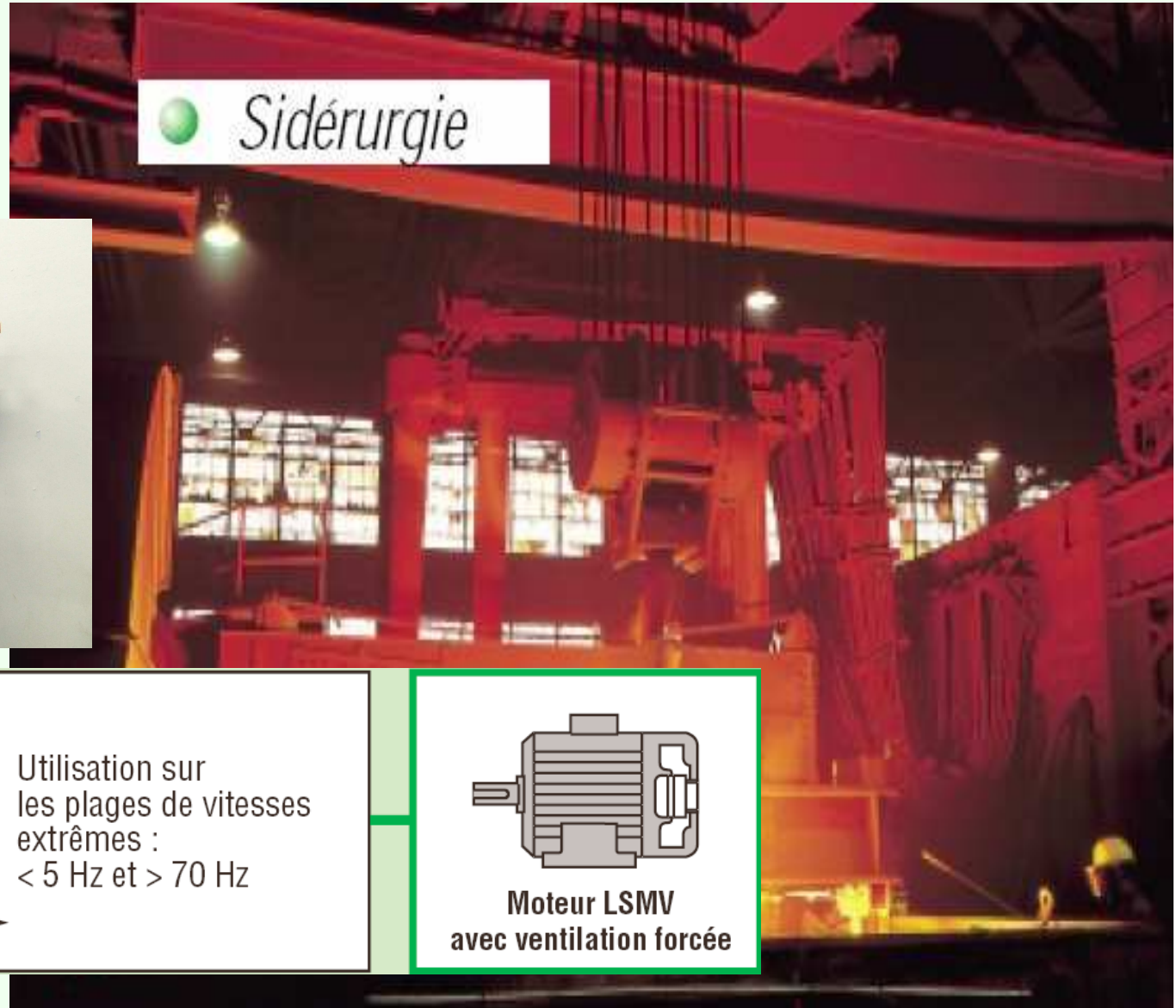
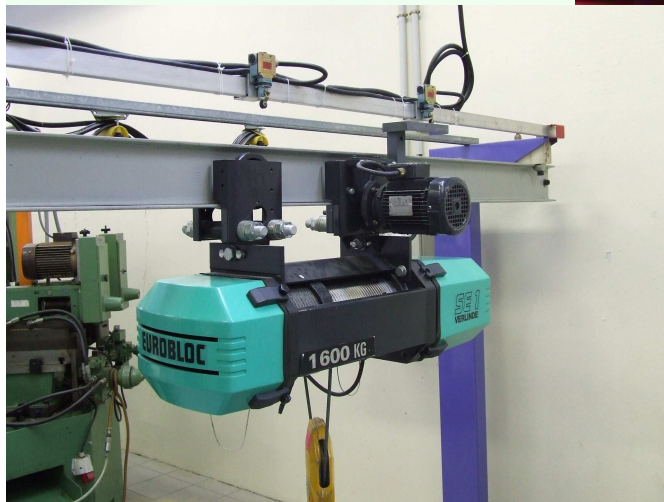
Moteur LS

machine asynchrone

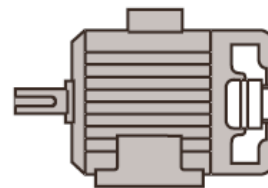
les applications

Levage

 Sidérurgie



Utilisation sur
les plages de vitesses
extrêmes :
< 5 Hz et > 70 Hz

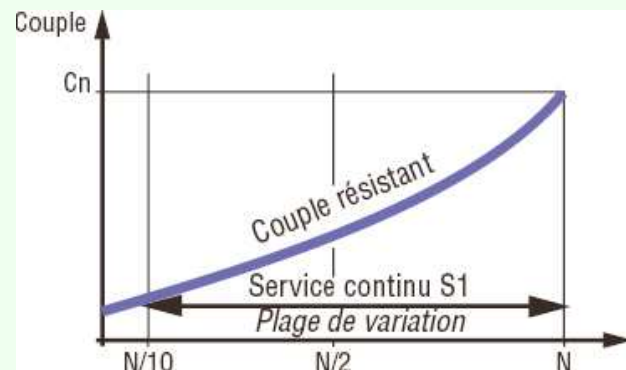
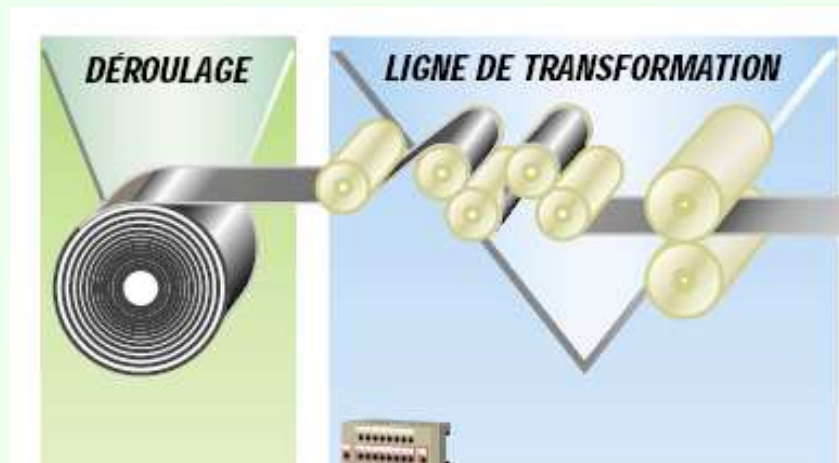


Moteur LSMV
avec ventilation forcée

machine asynchrone

les applications

Enrouleur dérouleur



Utilisation sur des couples résistants dépendant de la vitesse pour $f < 50$ Hz

Métallurgie

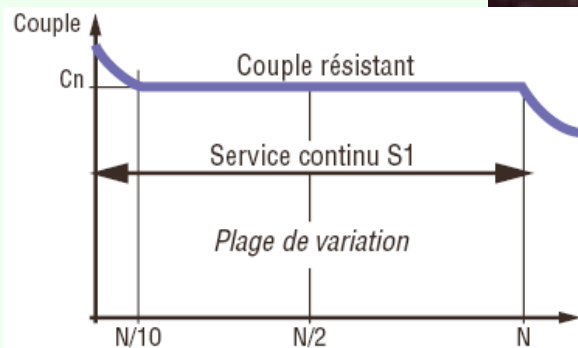
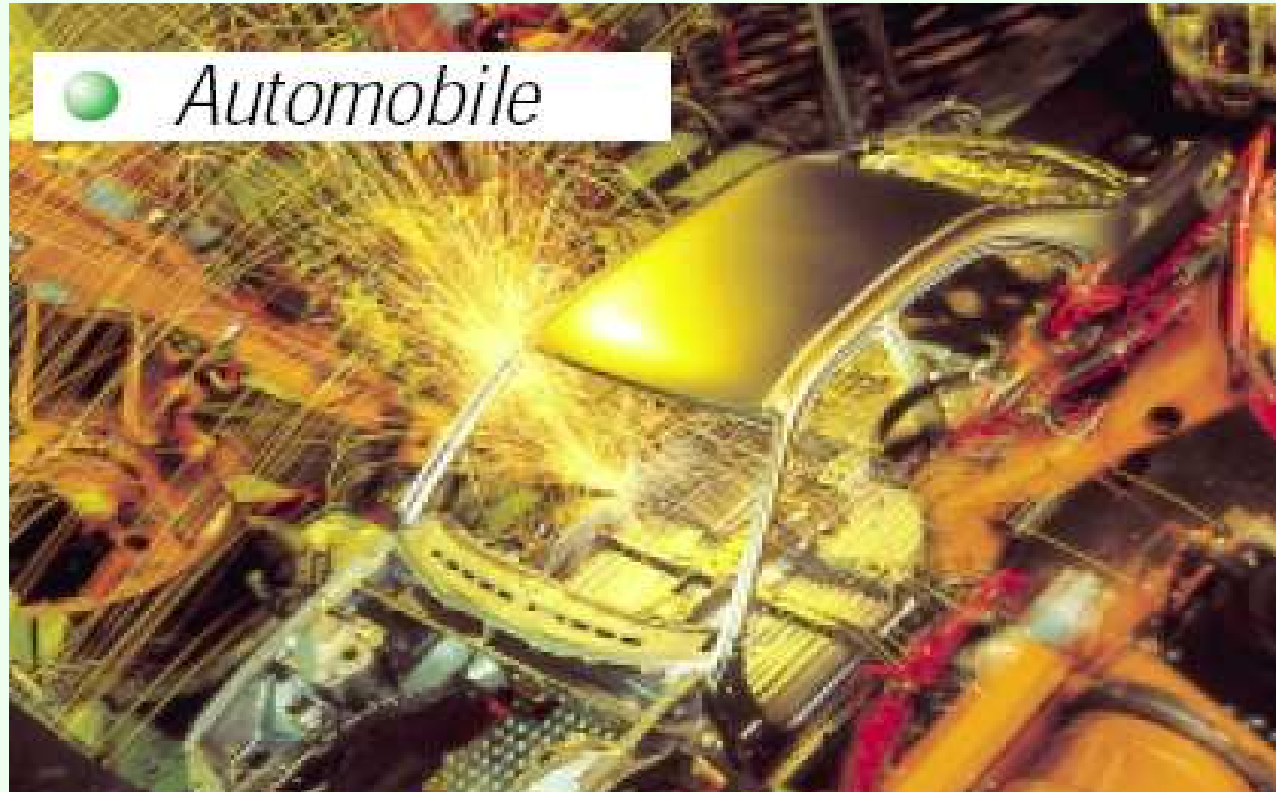
machine asynchrone

les applications

Usinage et Robotique

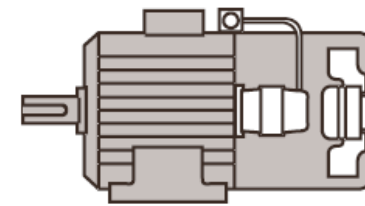


Automobile



Utilisation :

- de 0 à 50 Hz avec une plage de 0 à 5 Hz en service continu
- avec une grande précision de vitesse et de dynamique de couple

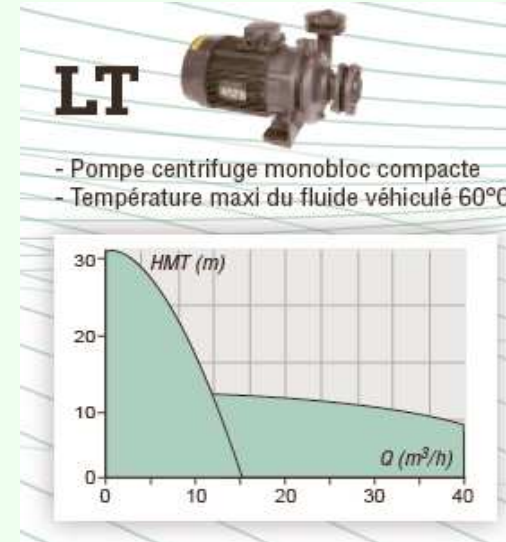


Moteur LSMV avec codeur et ventilation forcée

machine asynchrone

les applications

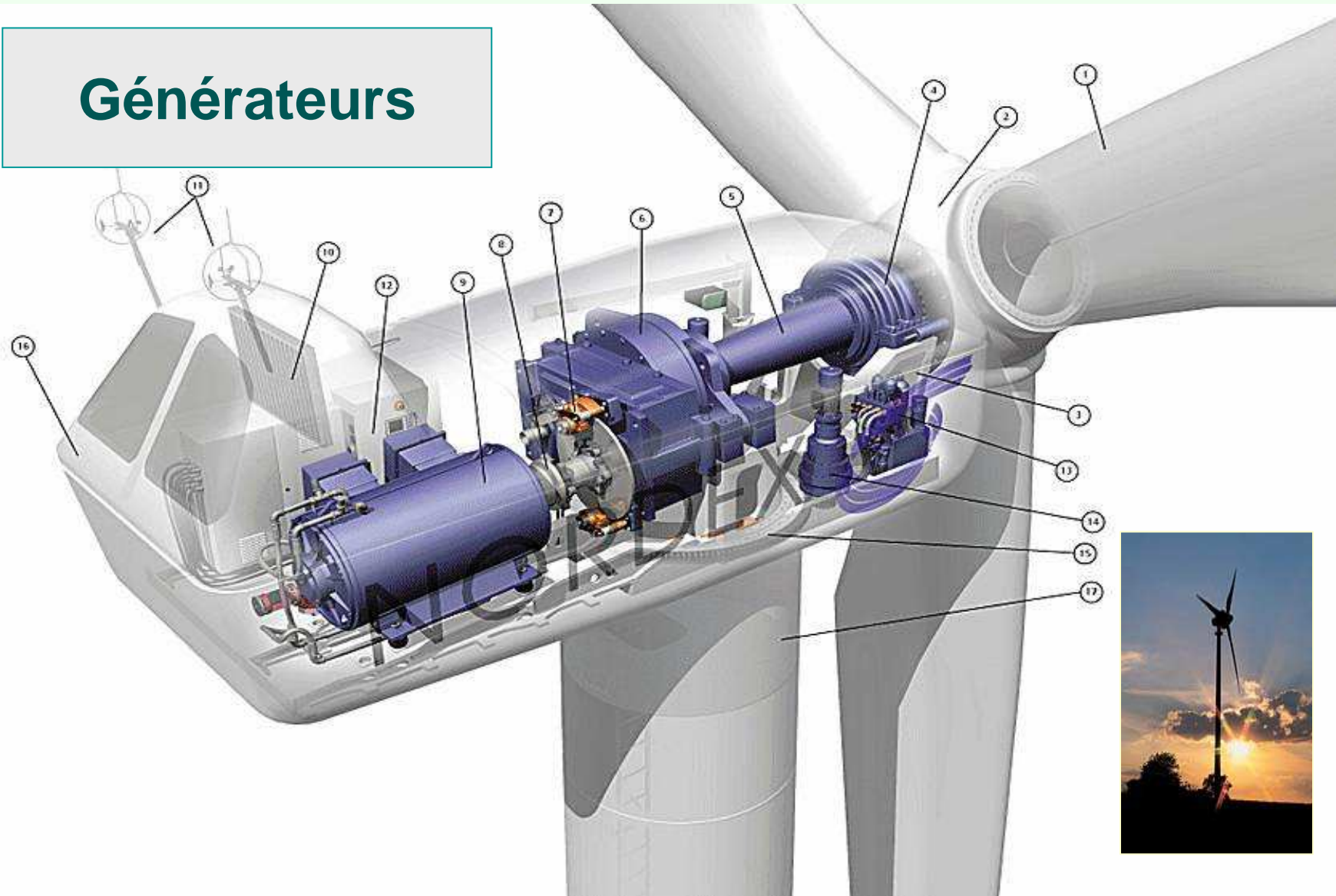
Ventilation et pompage



machine asynchrone

les applications

Générateurs



machine asynchrone

les applications

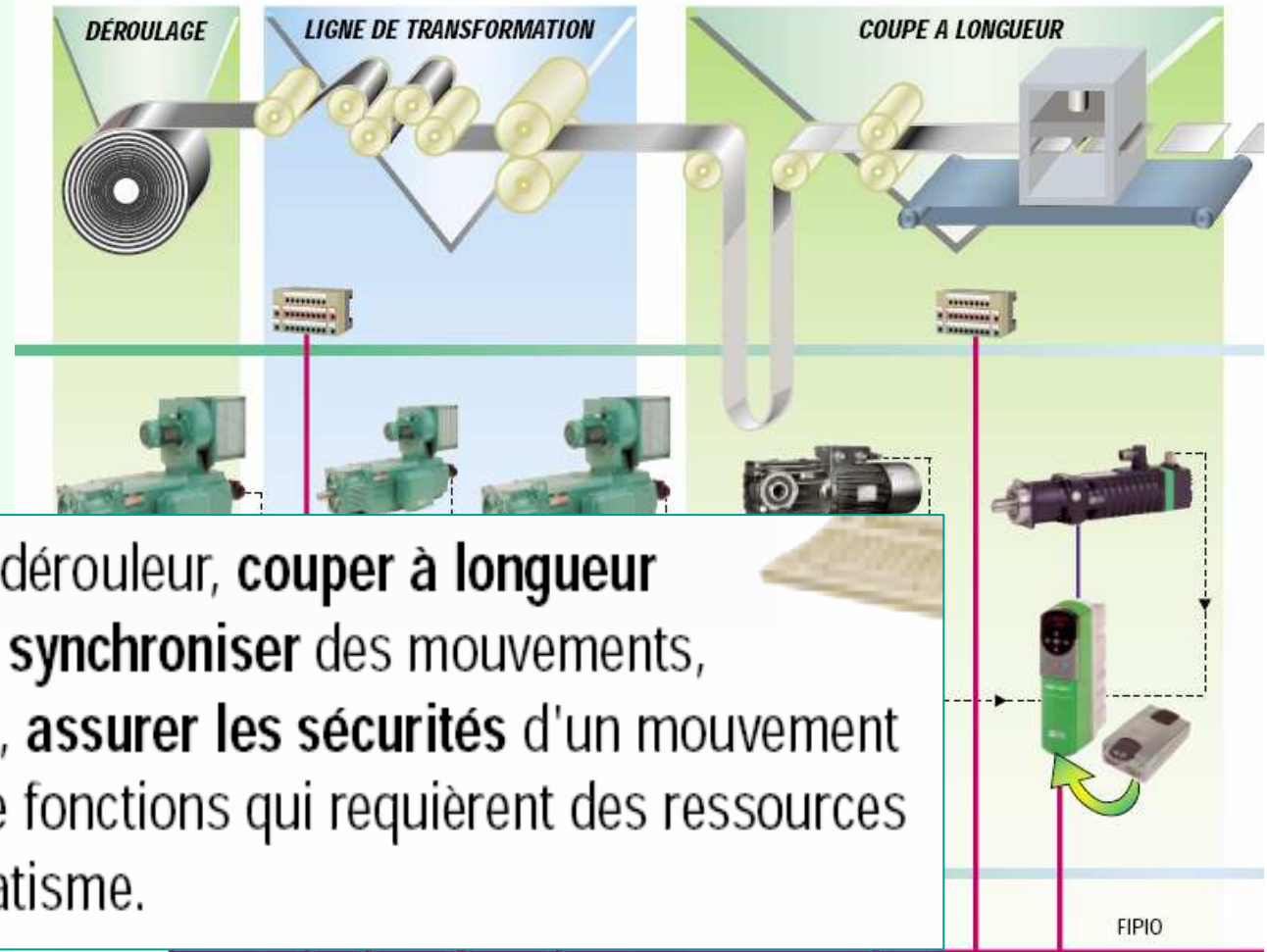
Applications spécifiques



machine asynchrone

les applications

**Automatisme
et dialogue,
bus de terrain**



Réguler la traction d'un dérouleur, **couper à longueur** ou **imprimer** en continu, **synchroniser** des mouvements, **positionner** des mobiles, **assurer les sécurités** d'un mouvement de levage, sont autant de fonctions qui requièrent des ressources conséquentes en automatisme.



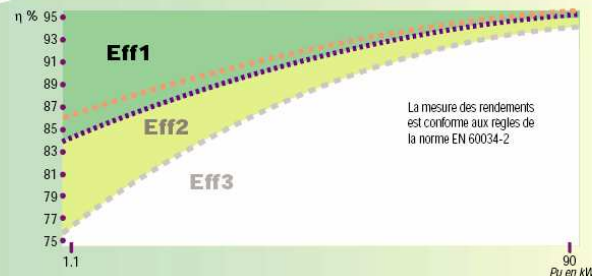
Les moteurs à haut rendement

- **Cas du moteur 45 kW**
(couramment installé dans l'industrie lourde, par exemple)
Moteur classique utilisé:
- Rendement = 91,5%, soit puissance absorbée = 49,2 kW



MOTEURS ASYNCHRONES à HAUT RENDEMENT, conformément à l'**ACCORD EUROPÉEN** signé avec la Commission Européenne de l'Énergie.

VALEURS de RENDEMENTS CONTRACTUELS à 50 Hz



- Rendement = 94,5 %, soit puissance absorbée = 47,6 kW
- **GAIN : 1,6 kW**

- L'allongement du circuit magnétique
- L'utilisation de tôles magnétiques à très faibles pertes
- L'optimisation de la géométrie des bobinages
- La réduction des pertes de la ventilation

Le surcoût "Moteur à économie d'énergie" est amorti en moins de 10 mois.

machine asynchrone

Catalogue

4 Pôles		Réseau 400 V - 50 Hz Couplage du moteur : Y 400 V								
		Puissance nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Couple nominal	Couple maximal	Courant à vide	Intensité nominale	Facteur de puissance	Rendement	Moment d'inertie
Type	P_n kW	N_n min ⁻¹	M_n Nm	M_m Nm	I_o A	$I_n(400V)$ A	$\cos \varphi$	η %	J kg.m ²	IM B3 kg
LSMV 71 L	0,18	1455	1,19	4,8	0,65	0,67	0,57	69	0,000675	6,4
LSMV 71 L	0,25	1450	1,68	5,9	0,85	0,91	0,58	70	0,000675	6,4
LSMV 71 L	0,37	1452	2,44	7,7	0,95	1,3	0,58	71	0,00085	7,3
LSMV 80 L	0,55	1420	3,7	8,2	1,25	1,65	0,71	68	0,0013	8,2
LSMV 80 L	0,75	1435	4,9	15	1,43	2	0,71	77	0,0024	11
LSMV 90 SL	1,1	1445	7,2	17	1,33	2,5	0,82	79	0,0039	17
LSMV 90 L	1,5	1435	9,9	23	1,54	3,2	0,84	80	0,0049	17
LSMV 100 L	2,2	1440	14,6	39,2	2,27	4,7	0,83	81	0,0071	24
LSMV 100 L	3	1430	19,4	56,4	3,1	6,3	0,82	81	0,0071	24
LSMV 112 MG	4	1460	26	84	4,6	8,4	0,8	85	0,015	33,3
LSMV 132 SM	5,5	1460	37	121	4,4	10,4	0,87	86	0,0334	55
LSMV 132 M	7,5	1455	49,4	139	4,7	14	0,89	87	0,035	55
LSMV 132 M	9	1460	58,8	185	6,5	16,8	0,88	88	0,0385	65
LSMV 160 MR	11	1460	71,7	233	6,6	20,2	0,88	89	0,069	100
LSMV 160 LU	15	1465	97,8	371	11,7	28,3	0,85	90,7	0,096	109
LSMV 180 M	18,5	1468	120	360	14,1	34,4	0,84	92,4	0,123	136
LSMV 180 LU	22	1468	143	459	16,9	40,7	0,84	92,8	0,145	155
LSMV 200 L	30	1476	194	591	22,9	55,8	0,83	93	0,24	200
LSMV 225 SR	37	1475	240	704	28,9	68,9	0,82	93,9	0,29	235
LSMV 225 MG	45	1483	290	937	34,9	82,9	0,83	94,2	0,63	320
LSMV 250 ME	55	1481	354	1020	38,5	100	0,84	94,4	0,73	340
LSMV 280 SD	75	1482	483	1562	55,1	137,1	0,83	94,9	0,96	430
LSMV 280 MK	90	1488	577	1912	68,2	165	0,83	94,9	2,32	655
LSMV 315 SP	110	1489	706	2563	81,7	200	0,83	94,9	2,79	750
LSMV 315 MR	132	1488	847	2771	77	230	0,88	94,3	3,27	860

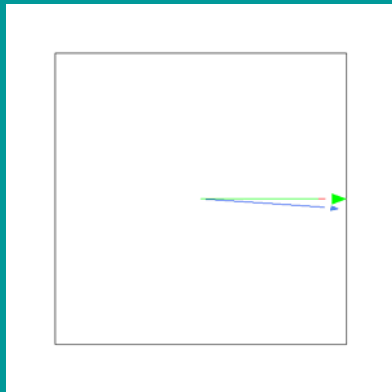
machine asynchrone

Principe

Interaction de deux champs

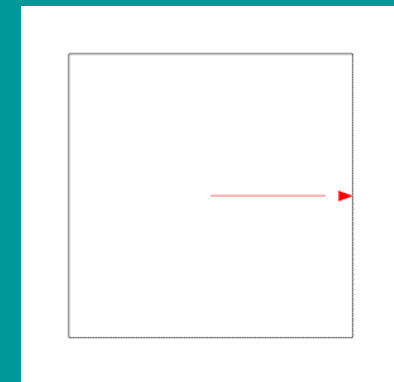
Machine monophasée

Champ pulsant



Nécessité de créer une
machine biphasée

(spire de Frager, condensateur...)



Machine triphasée

Théorème de Ferraris à l'ordre 3

machine asynchrone

Construction



source : Bohari motors

machine asynchrone

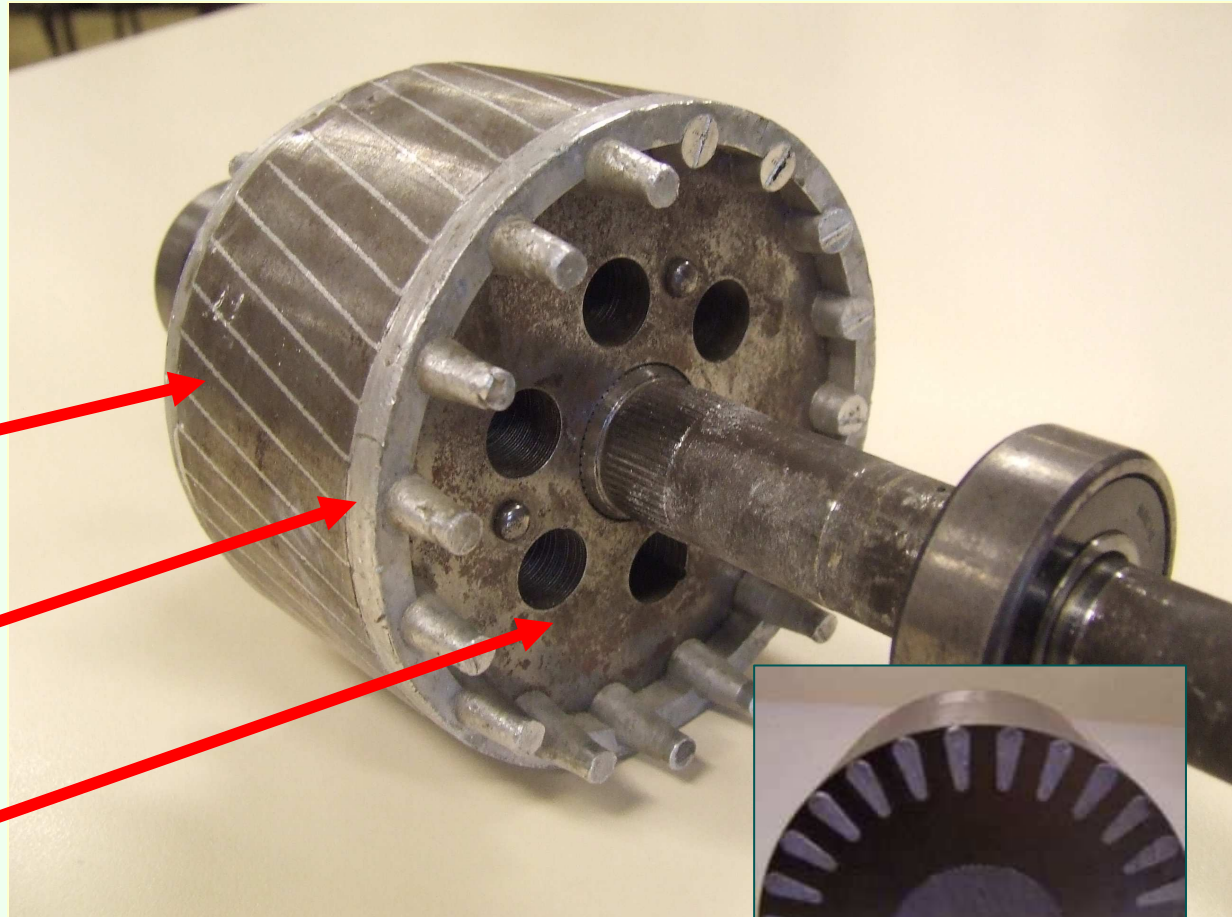
Construction

Rotor à cage d'écureuil

Barreaux en
Aluminium
coulé

Anneaux
de court circuit

Tôle empilées
Circuit
Magnétique
feuilleté



machine asynchrone

Construction

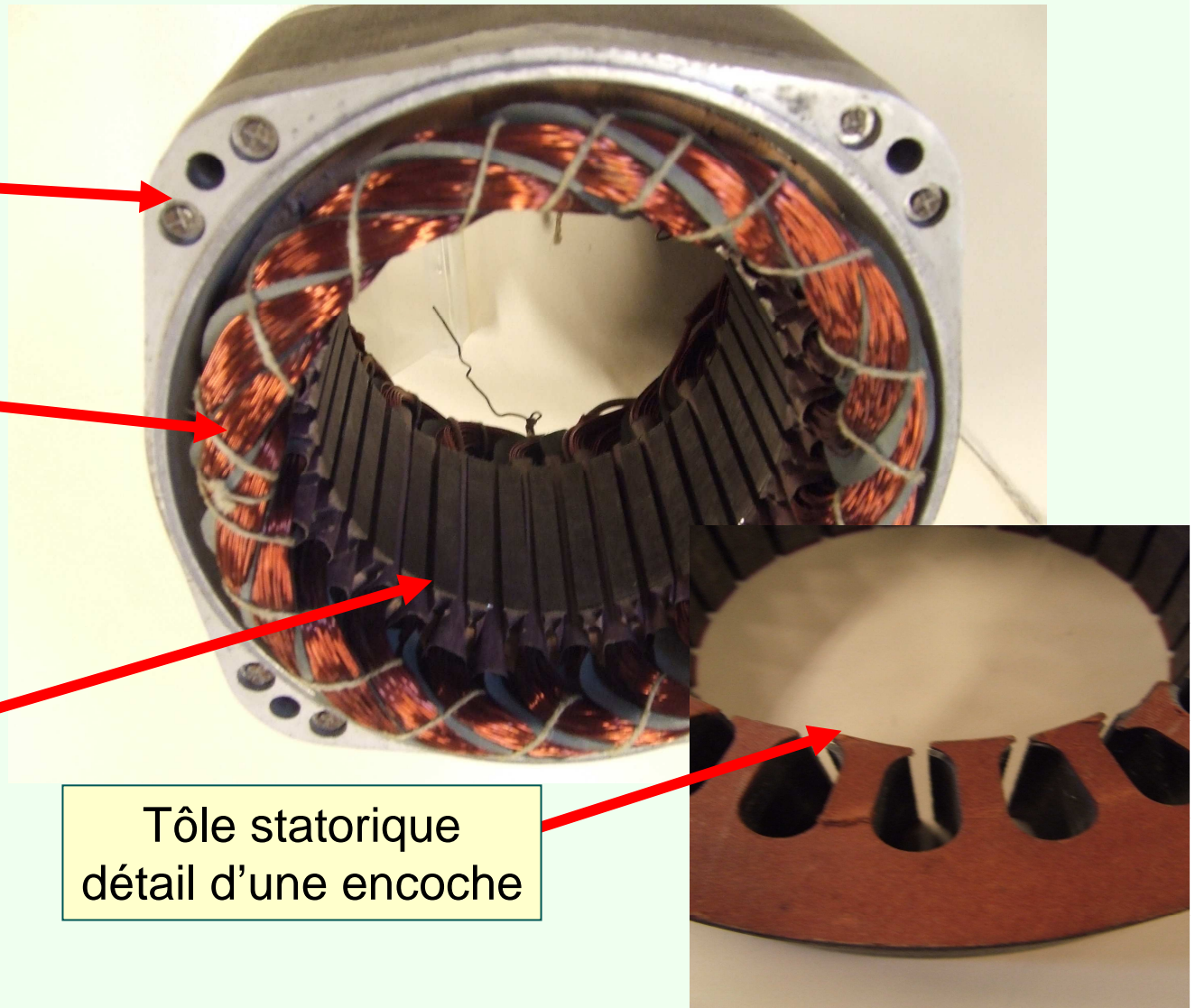
Stator

Culasse
Statorique moulée

Bobinage réparti
des 3 phases

Encoches du
Circuit magnétique
feuilleté
logement des brins
du bobinage

Tôle statorique
détail d'une encoche



machine asynchrone

Construction

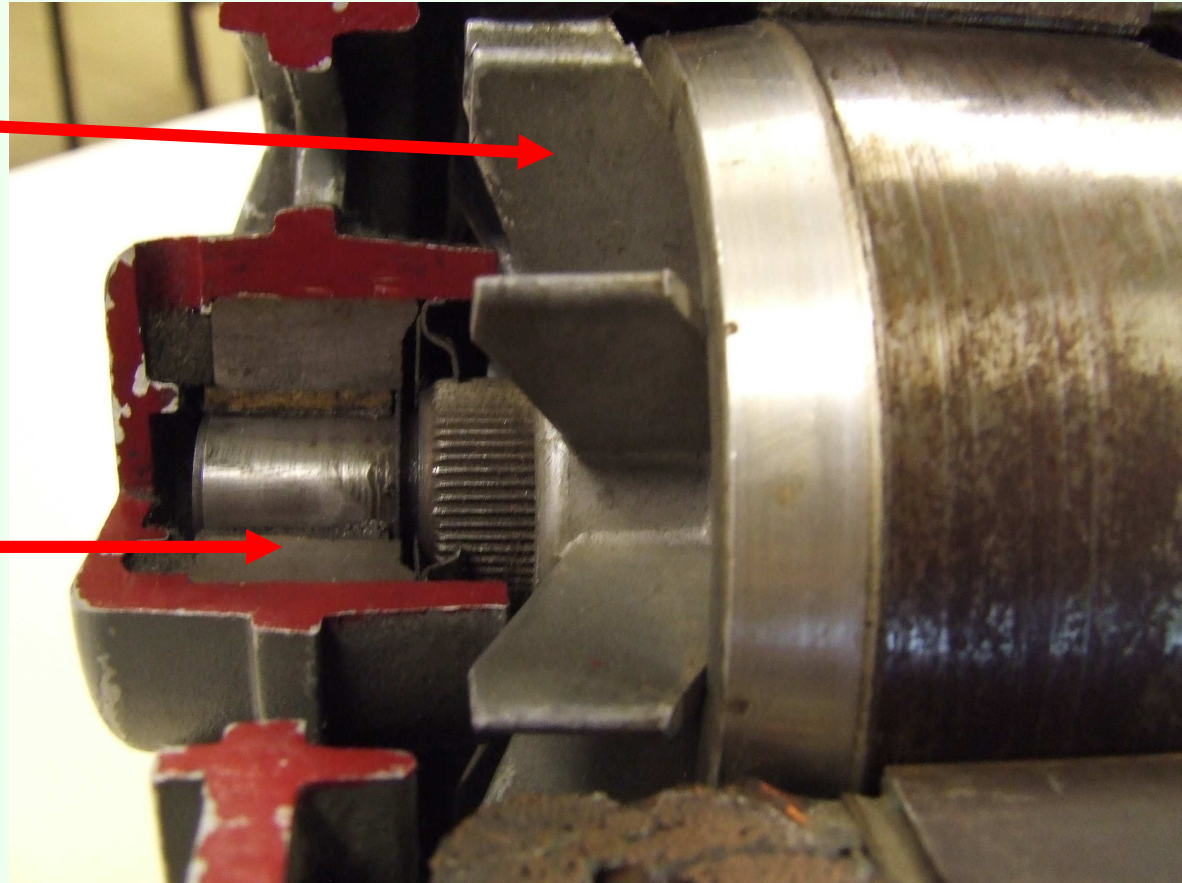


machine asynchrone

Construction

Hélice d'auto
ventilation

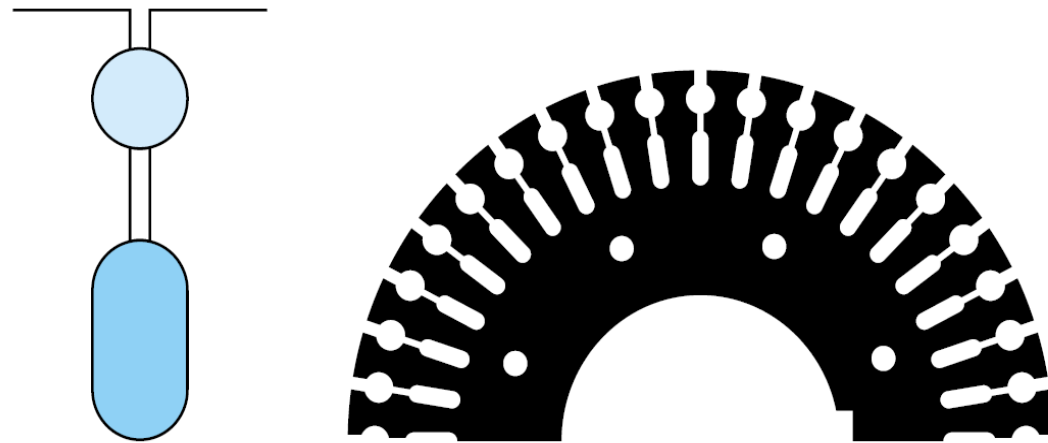
Palier à
roulement



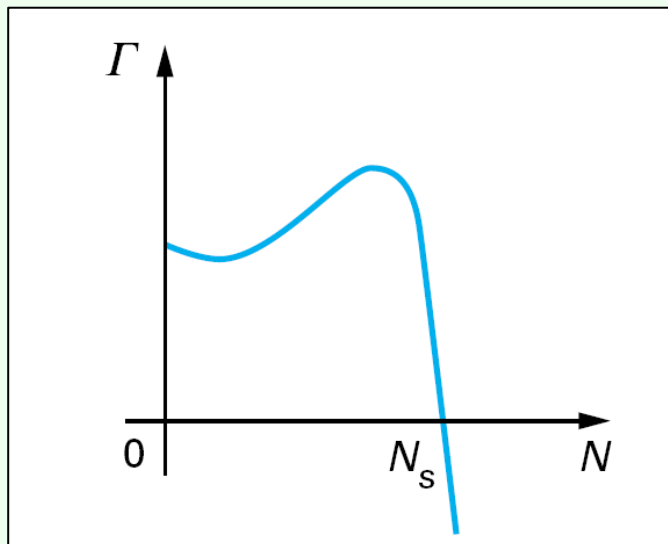
machine asynchrone

Construction

encoches rotor



(a) et (b) moteur à double cage



La forme des encoches et leur profondeur, permet de modifier la caractéristique couple (vitesse) du moteur par effet pelliculaire ou Kelvin. [effet de peau (skin effect)]

machine asynchrone

plaque

Savoir interpréter les indications

Vitesse en charge nominale

Puissance utile mécanique

Couplage

DM 1502

LERROY SOMER MOT. 3 ~ LS 100 L
N° 8945/79 22 kg

Code : T

IP 55	I cl. F	40°C	S1	%	c/h
	Hz	min	kW	cos φ	A
Δ 380	50	1415	3	0,83	7,1
Δ 400	50	1420	3	0,78	7,2
Δ 415	50	1430	3	0,74	7,3

MADE IN FRANCE

DE NDE

MOTEURS LEROY-SOMER

I.E.C. 34-1 (87)

Annotations: Arrows point from 'Vitesse en charge nominale' to the 'min' column, from 'Puissance utile mécanique' to the 'kW' column, and from 'Couplage' to the 'Δ' symbol in the first row.

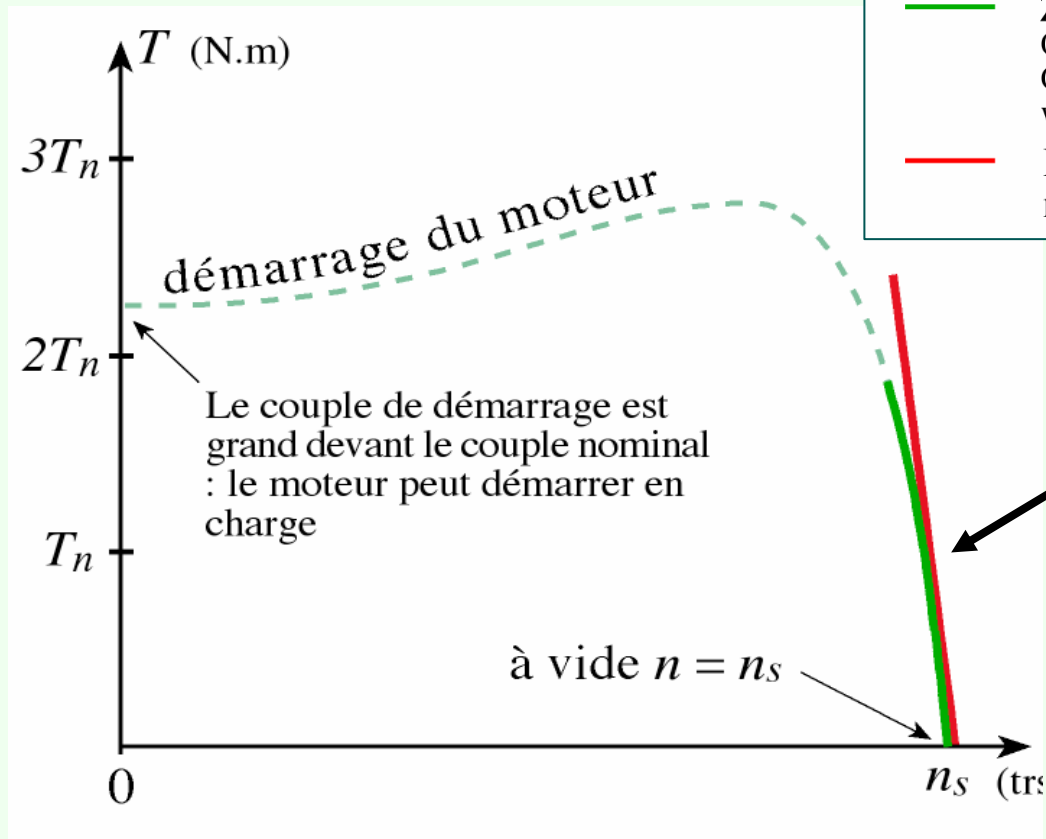
machine asynchrone

caractéristiques

Comportement mécanique



Caractéristiques Couple-vitesse



Légende

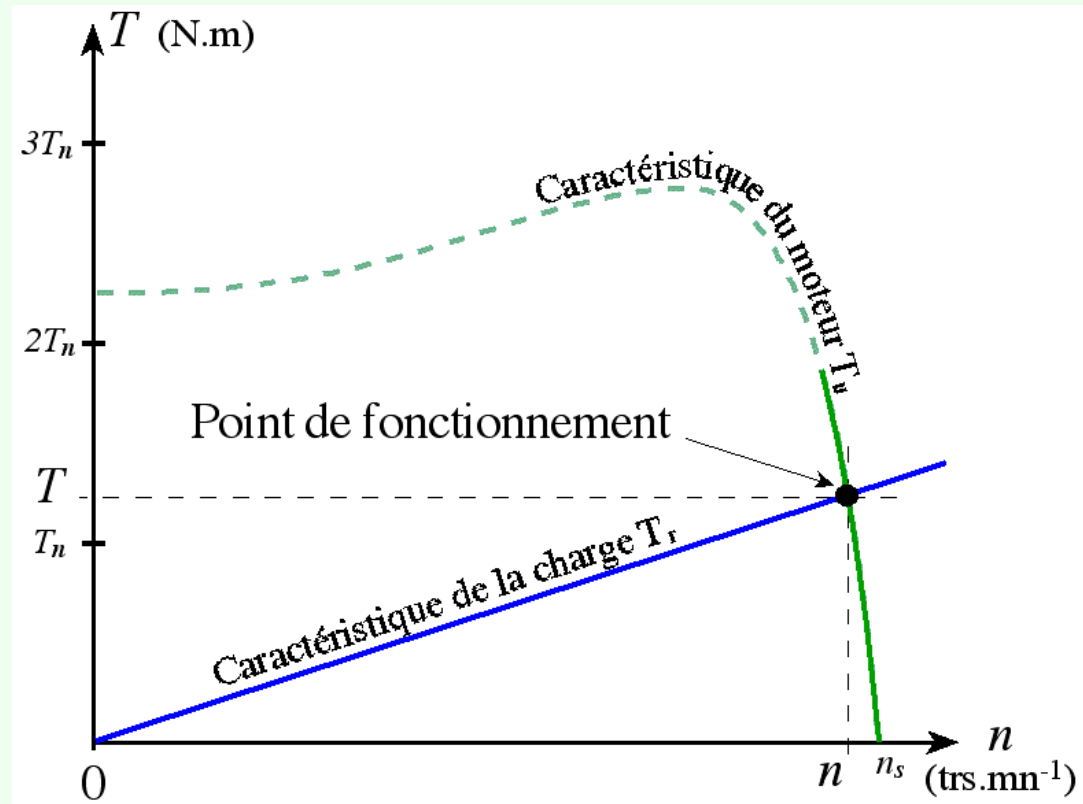
- T_n Couple nominal
- Couple de démarrage du moteur.
On constate que ce couple est fort : la machine peut démarrer en charge.
- Zone de fonctionnement du moteur.
On constate qu'elle est presque linéaire.
Cette partie de la courbe est très verticale : la vitesse varie peu avec la charge.
- La zone de fonctionnement peut être modélisée par une droite

Très important

machine asynchrone

caractéristiques

Point de fonctionnement

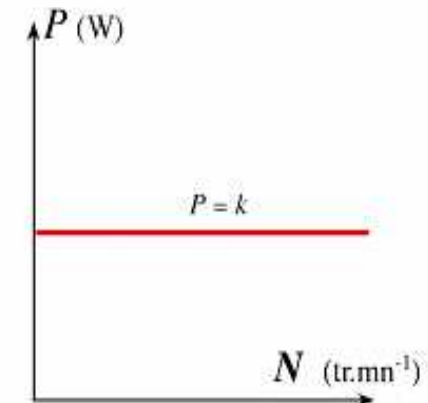
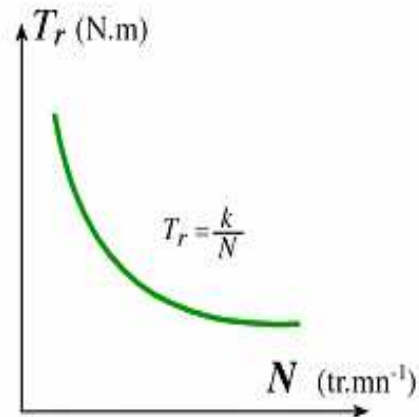


machine asynchrone

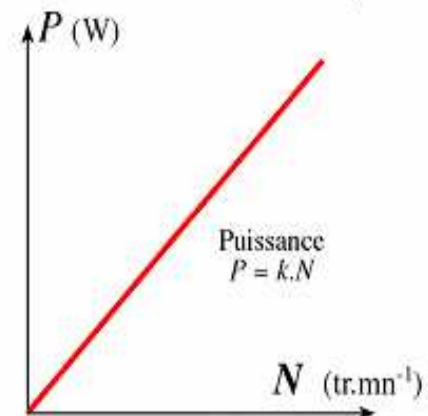
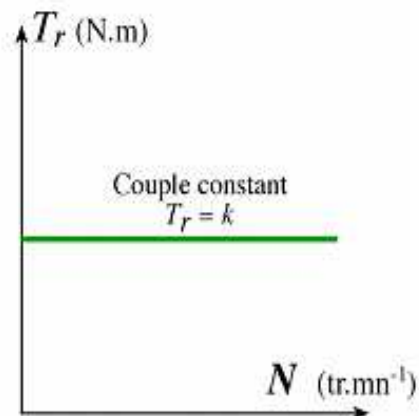
caractéristiques

Charges type

Machine à puissance constante (enrouleuse, compresseur, essoreuse)



Machine à couple constant (levage, pompe)

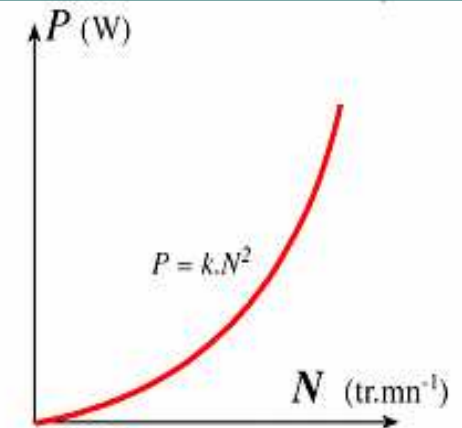
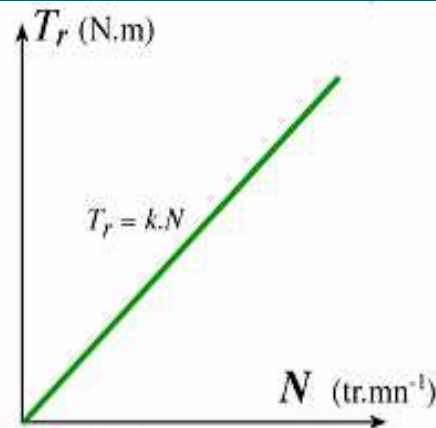


machine asynchrone

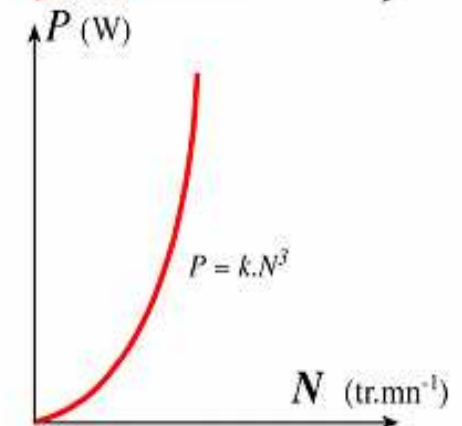
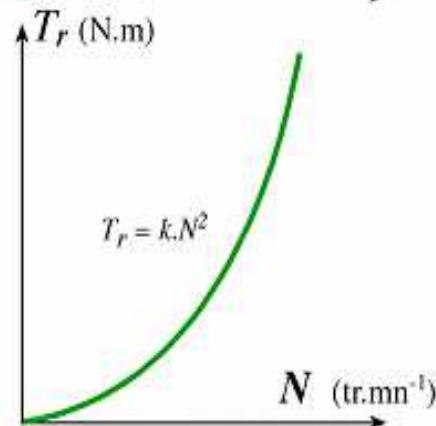
caractéristiques

Charges type

Machine à couple proportionnel à la vitesse (pompe volumétrique, mélangeur)



Machine à couple proportionnel au carré de la vitesse (ventilateur)



Vitesse de synchronisme

$$n_s = \frac{f}{p} \text{ ou } \Omega_s = \frac{\omega}{p}$$

Avec n_s en tr/s et Ω_s en rd/s et p nombre de paires de pôles

Le nombre de pôles ($2p$) étant fixé dès la construction il en résulte des vitesses de synchronisme figées en fonction de la fréquence :

- **Réseau 50 Hz** : 2 pôles $N_s = 3000$ tr/min; 4 pôles $N_s = 1500$ tr/min...
12 pôles $N_s = 500$ tr /min...
- **Réseau 60 Hz** : 2 pôles $N_s = 3600$ tr/min; 4 pôles $N_s = 1800$ tr/min...
12 pôles $N_s = 600$ tr /min...

Glissement et vitesse rotorique

$$g = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s}$$

$$n_r = n_s (1 - g)$$

Le glissement est fondamental dans le principe du moteur asynchrone, **mais il est analogue au patinage d'un embrayage mécanique** donc générateur de pertes élevées au rotor.

C'est pourquoi un MAS doit avoir un glissement très faible lors de son régime établi.

Toute action sur g pour avoir une variation de vitesse ne doit pas se prolonger à moins de surdimensionner le moteur...

machine asynchrone

Variation de vitesse

Réglage de vitesse

Action sur le glissement

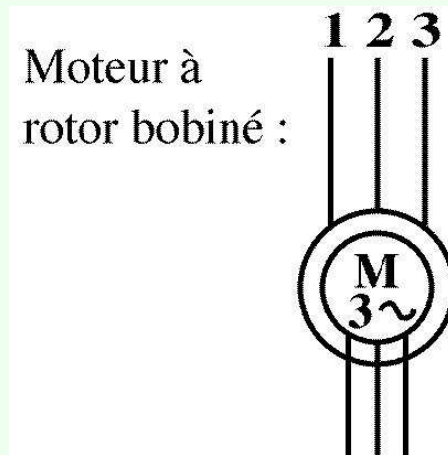
Couplage des pôles

Contrôle U/f (commande scalaire)

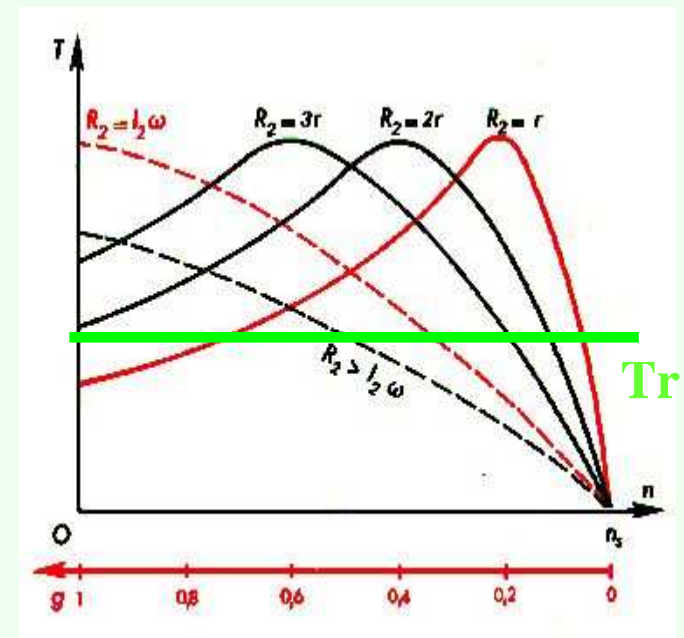
Contrôle vectoriel de flux

Structure interne d'un variateur MLI

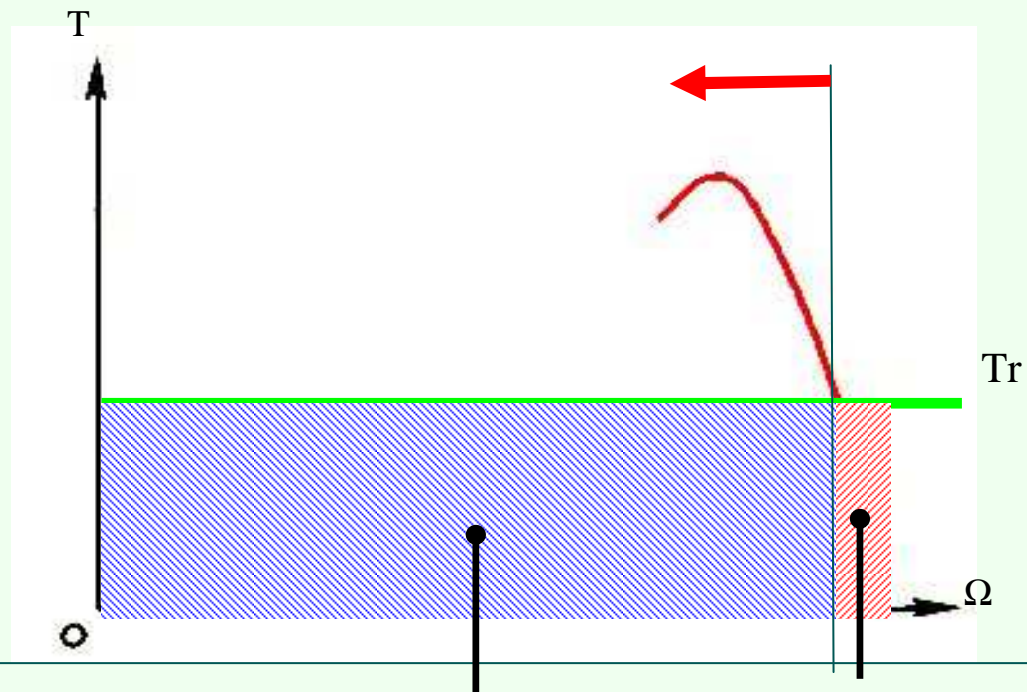
Réglage par action sur le glissement



En modifiant la résistance rotorique (sur les machines à rotor bobiné), on agit sur le glissement tout en conservant un couple maximal constant.



Réglage par action sur le glissement

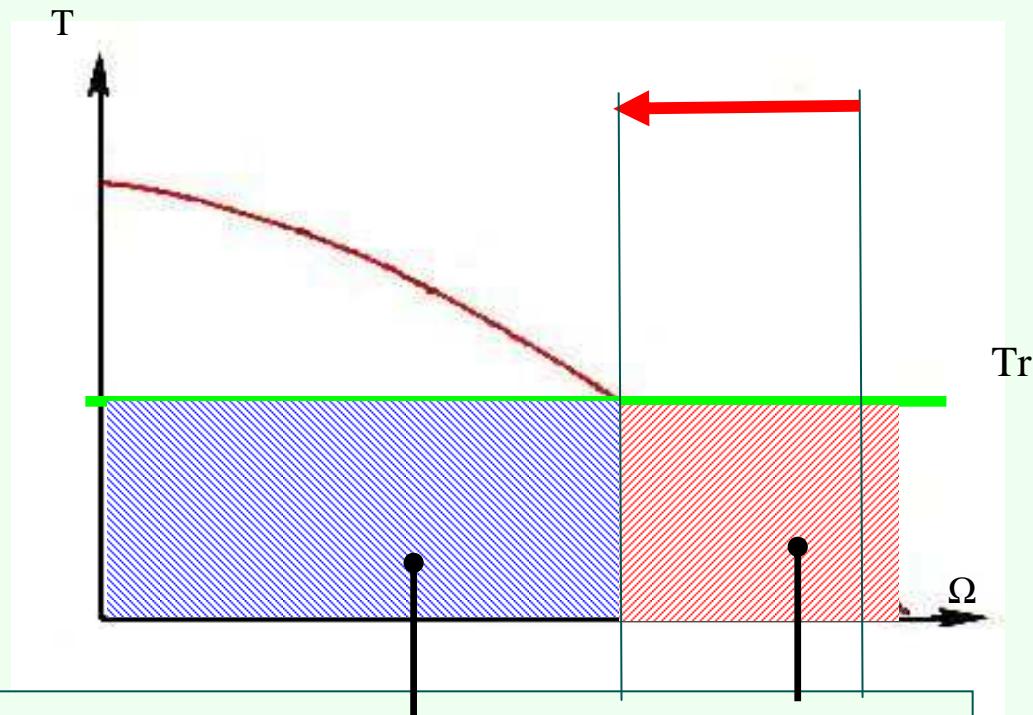


$$\text{Puissance absorbée} = \text{Puissance utile} + \text{pertes}$$
$$T_e \times \Omega_s \qquad T_e \times \Omega_r$$

machine asynchrone

Variation de vitesse

Réglage par action sur le glissement



$$\text{Puissance absorbée} = \text{Puissance utile} + \text{pertes}$$
$$T_e \times \Omega_s = T_e \times \Omega_r + \text{pertes}$$

machine asynchrone

Variation de vitesse

Réglage par action sur le glissement

Utilisable pour le démarrage des moteurs asynchrones car les pertes importantes ne sont que transitoires.

On utilise d'autres méthodes :

- par action sur le nombre de paires de pôles p .
(moteur part winding ou Dalhander)
- par action sur la fréquence f . (variateur électronique)

Réglage par couplage de pôles

P est un nombre entier.

Les différentes vitesses seront des multiples.

Dans la pratique on limite la variation à deux vitesses (PV et GV)

$$n = \frac{f(1-g)}{p}$$

2 technologies sont utilisées suivant le rapport $\frac{GV}{PV}$

- rapport quelconque : stator à enroulements séparés
- rapport = 2 : stator composé de 6 demi-bobines

Exemple : Machine à laver ancienne génération avec $p = 1$ et 6. $N_s = 3000$ et 500 tr / min, essorage et lavage...avec réducteur à poulies et courroie

machine asynchrone **Contrôle Commande**

**Les solutions modernes
de Contrôle commande
(couple - vitesse)**

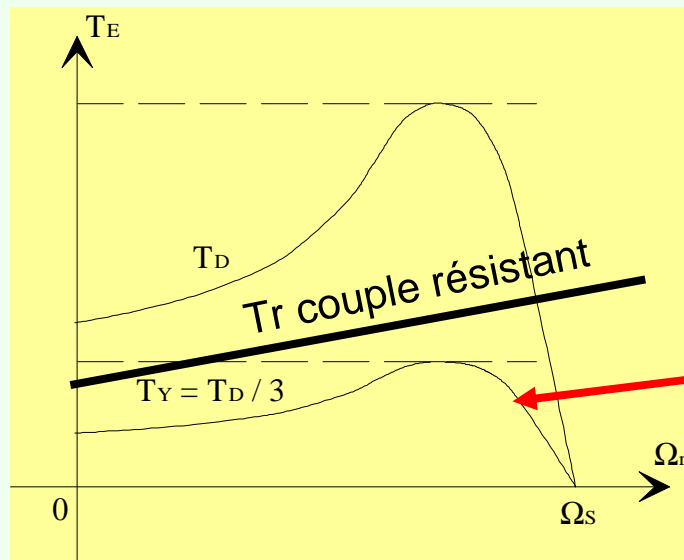


machine asynchrone **Contrôle Commande**

Relation Couple-Vitesse

$$T_e = K.U^2$$

pour f constante



L'action sur la tension efficace U aux bornes d'un moteur a de lourdes conséquences si le moteur est en charge.

Sur le graphe ci-contre le démarrage est impossible si la tension est réduite d'un coefficient $\sqrt{3}$

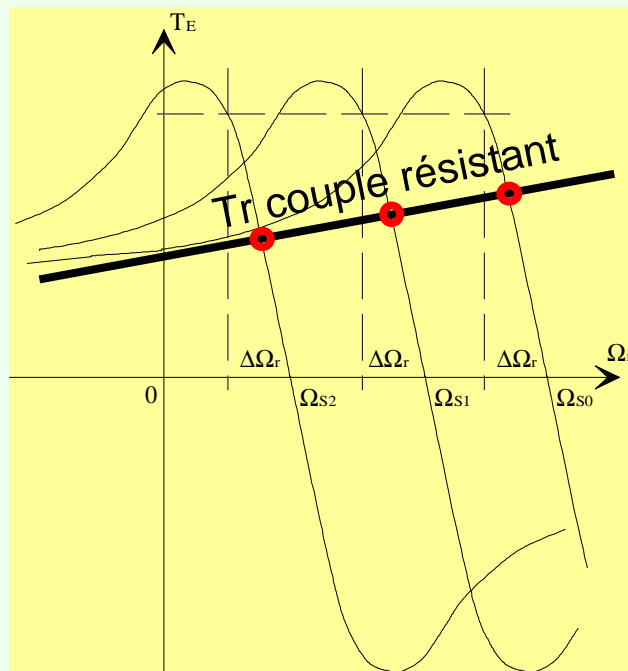
Les chutes de tension dans de longs câbles peuvent avoir le même effet...

machine asynchrone **Contrôle Commande**

Relation Couple-Vitesse

$$T_e = K \cdot \left(\frac{U}{f} \right)^2$$

pour f variable

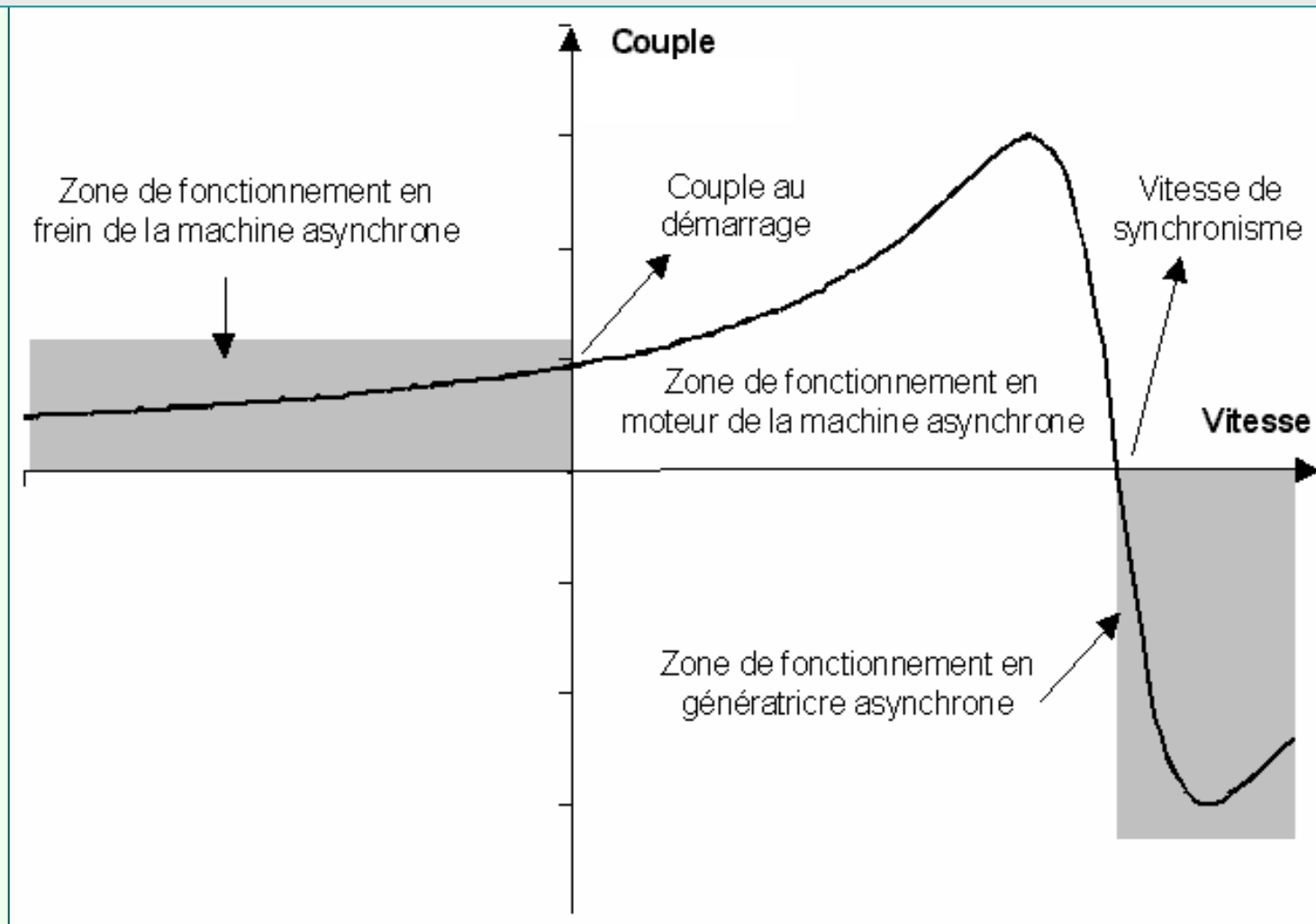


Pour le réglage de la vitesse, l'action simultanée sur la tension efficace U et la fréquence f en gardant U/f constant est d'un grand intérêt.

Le démarrage est possible, le point stabilisé en vitesse peut être choisi et modifié avec un faible glissement pour le moteur.

machine asynchrone **Contrôle Commande**

Relation Couple-Vitesse moteur/générateur



machine asynchrone **Contrôle Commande**

**On distingue
2 techniques**

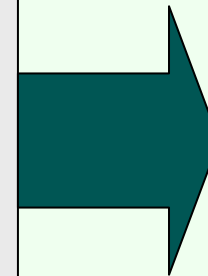
Contrôle U/f ou E/f

Contrôle scalaire

Contrôle vectoriel de tension

Vector Voltage Control

Vector Pulse Modulation



**Contrôle
en
tension**

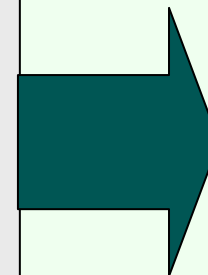
Contrôle vectoriel de flux

avec ou sans capteur

Field Oriented Control

Moteur asynchrone auto piloté

Flux Vector Control



**Contrôle
en
courant**

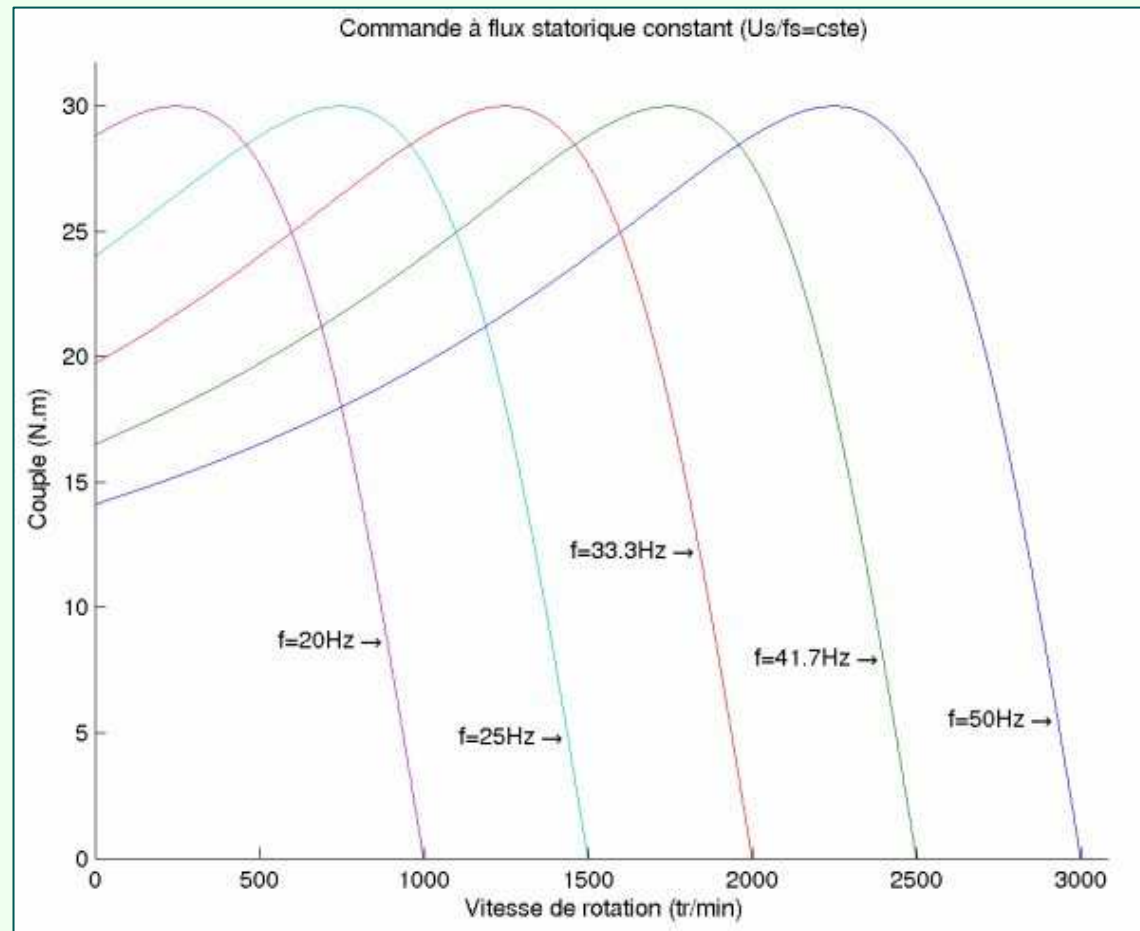
Tous les contrôles sont MLI (ou PWM sinus) et agissent sur f et U

machine asynchrone **Contrôle Commande**

Contrôle U/f ou Contrôle scalaire

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

Agir sur la fréquence, modifie la vitesse de synchronisme ainsi que le point de fonctionnement



Remarque:

Les pertes sont constantes

machine asynchrone **Contrôle Commande**

Contrôle U/f ou Contrôle scalaire

Pour une bonne maîtrise de l'équipement, on cherche à conserver un couple moteur maximal constant.

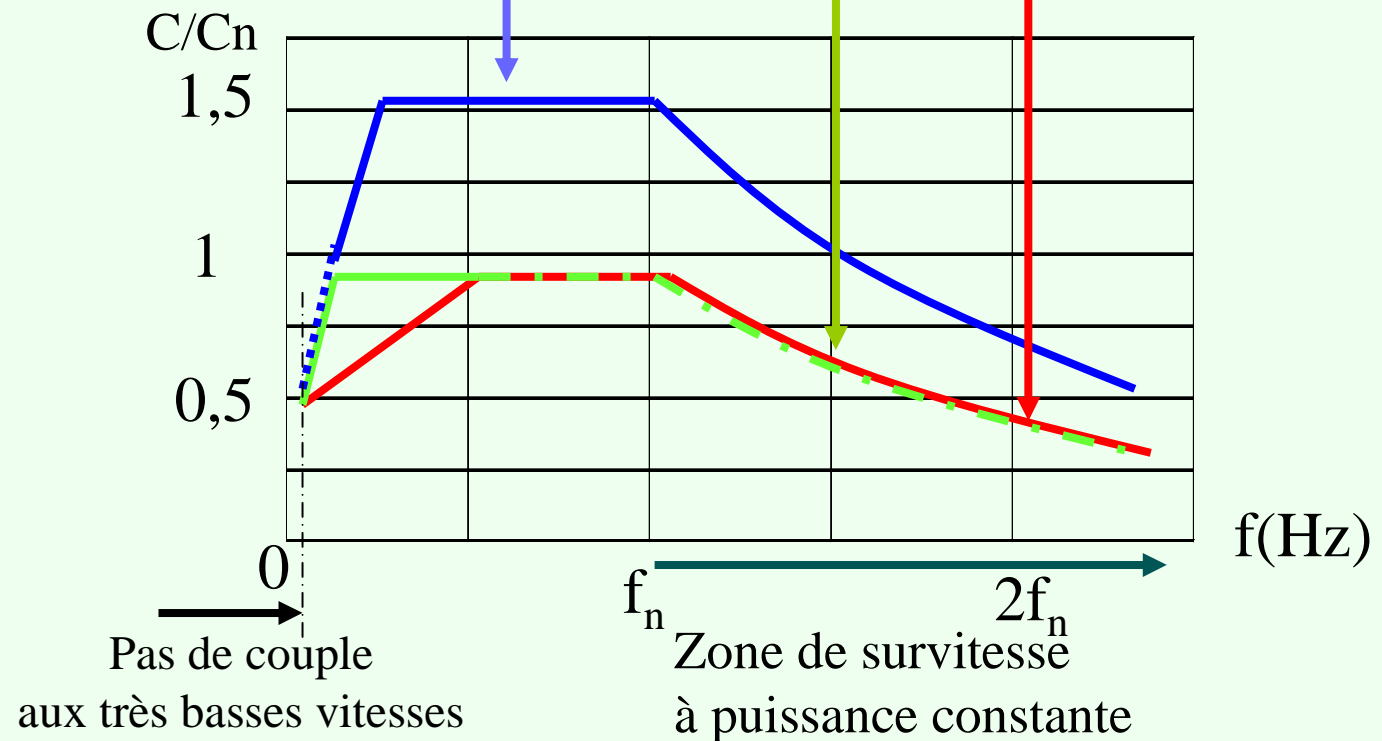
$$C_{\max} = K \cdot \left(\frac{V_1}{f} \right)^2$$

f varie
on veut C_{\max} } Il faut que V_1 varie pour que $\frac{V_1}{f} = \text{constant}$

machine asynchrone **Contrôle Commande**

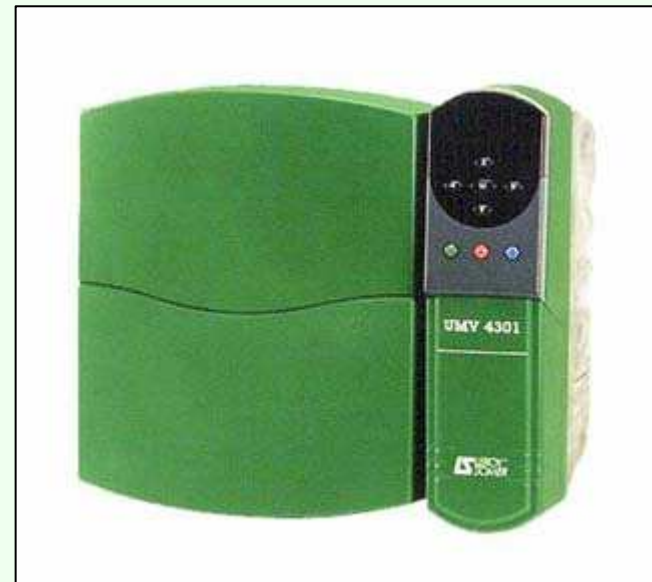
Contrôle U/f ou Contrôle scalaire

- Moteur auto ventilé couple utile permanent
- Moteur moto ventilé couple utile permanent
- Surcouple transitoire



machine asynchrone **Contrôle Commande**

variateurs de vitesse



Structure des variateurs de vitesse

Les variateurs intègrent :

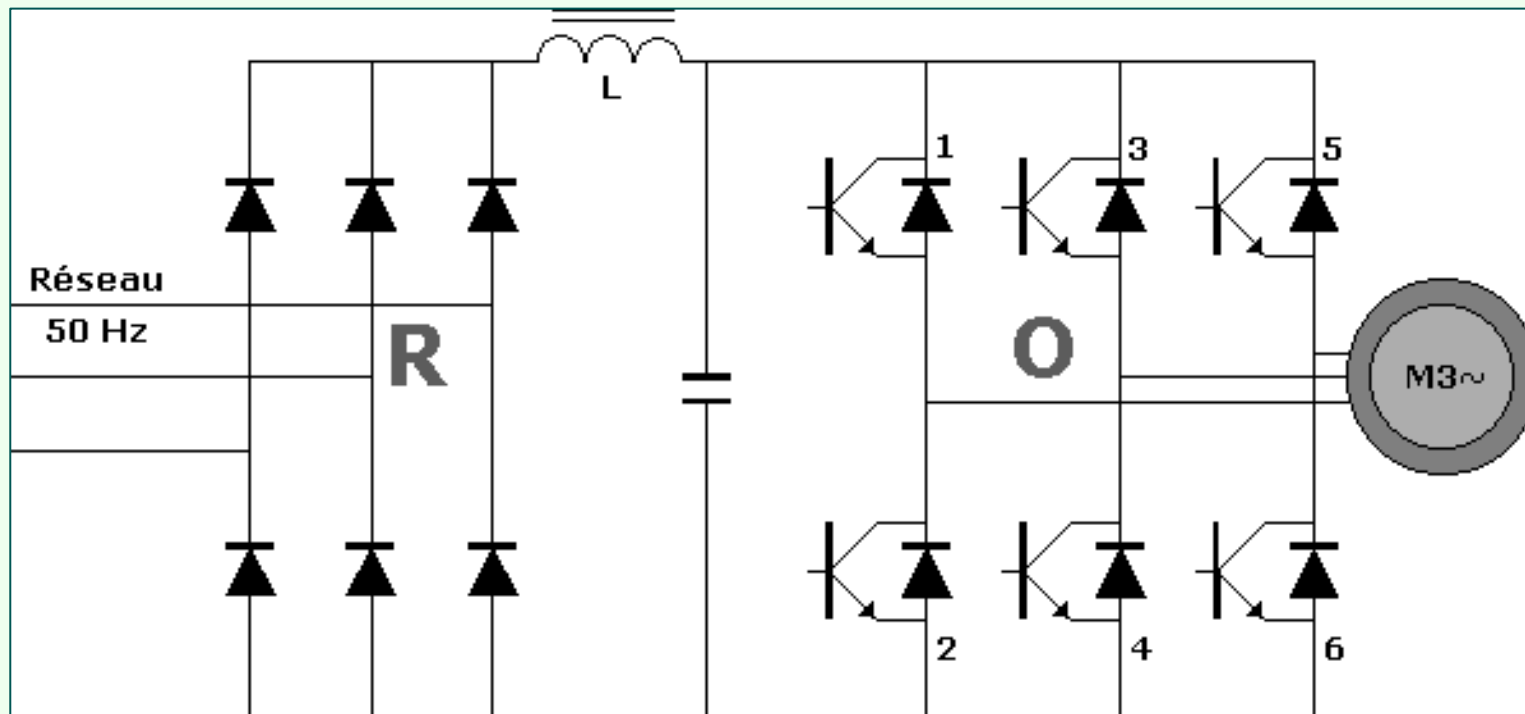
- ✓ un microprocesseur
- ✓ de la mémoire
- ✓ un calculateur
- ✓

Cela permet :

- ✓ d'adapter le variateur à l'application (rampes, etc....)
- ✓ de réguler ou d'asservir
- ✓ de programmer différents cycles
- ✓ de protéger l'ensemble moteur - variateur

machine asynchrone **Contrôle Commande**

Structure des variateurs de vitesse



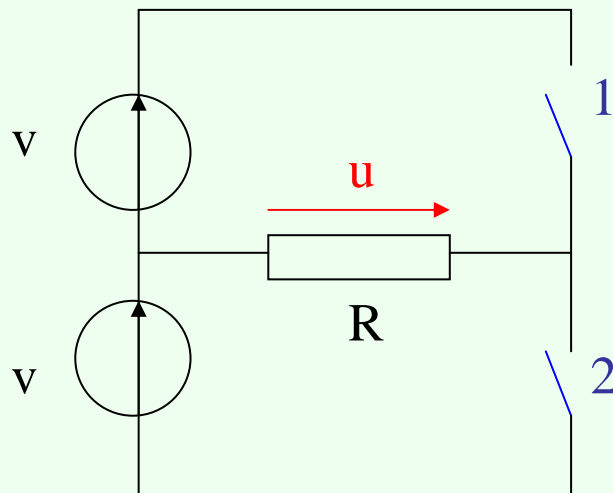
Redresseur triphasé + filtre L C
constituant une source de
tension continue.

Onduleur de tension triphasé
utilisant la modulation de largeur
d'impulsion (MLI).

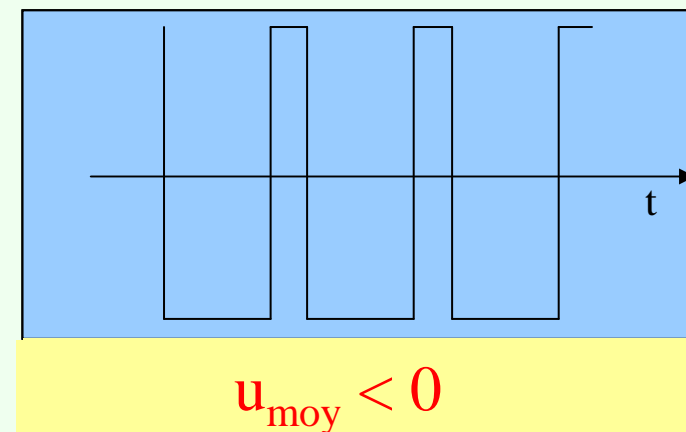
machine asynchrone **Contrôle Commande**

Principe de la commande MLI

MLI : Modulation de Largeur d 'Impulsions
PWM : Pulse Width Modulation



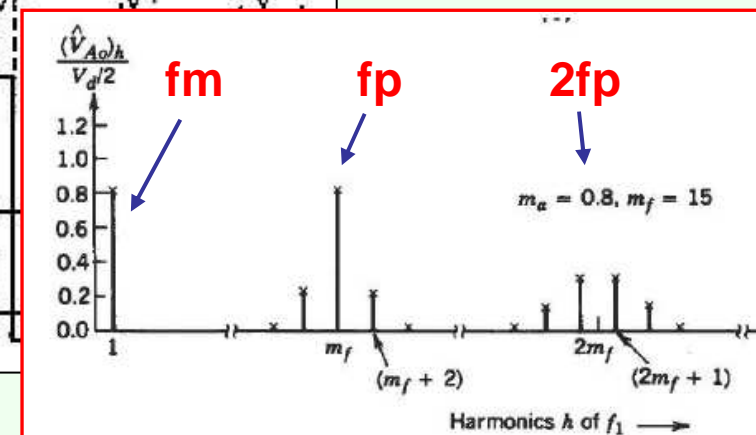
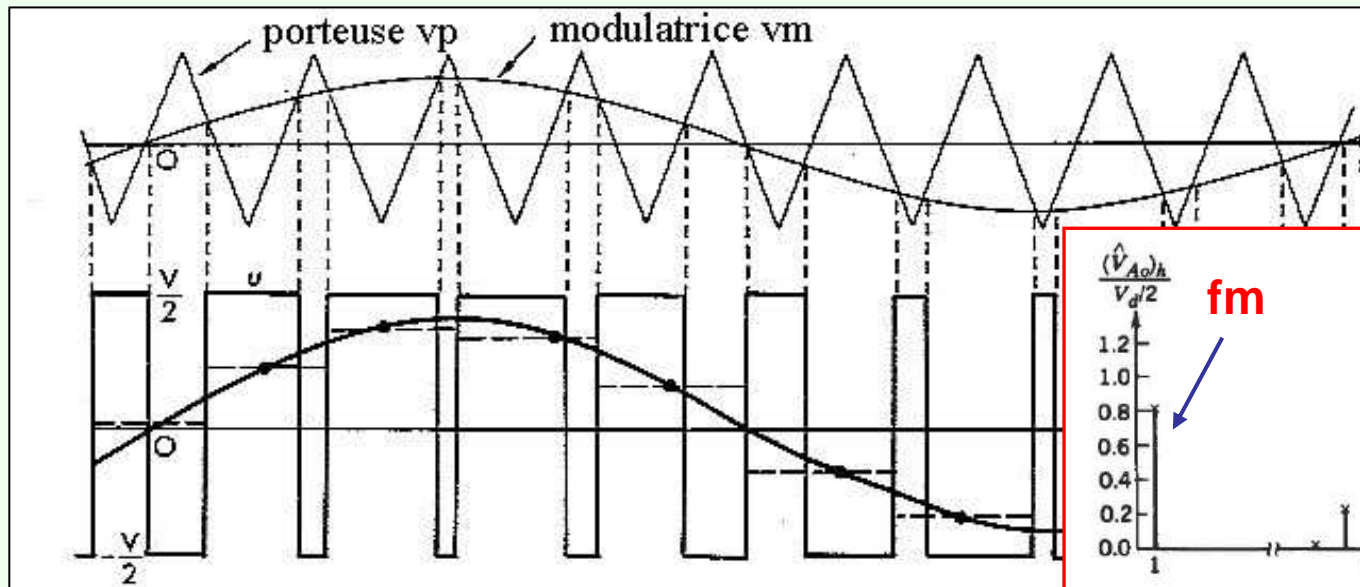
La commande des interrupteurs
1 et 2 sont complémentaires



machine asynchrone **Contrôle Commande**

MLI analogique

Une tension sinusoïdale V_m ou **modulatrice de fréquence f** est comparée à une tension triangulaire V_p ou **porteuse de fréquence f_p** ,
avec **$f_p = m f$** **$m = \text{entier} \gg 1$**

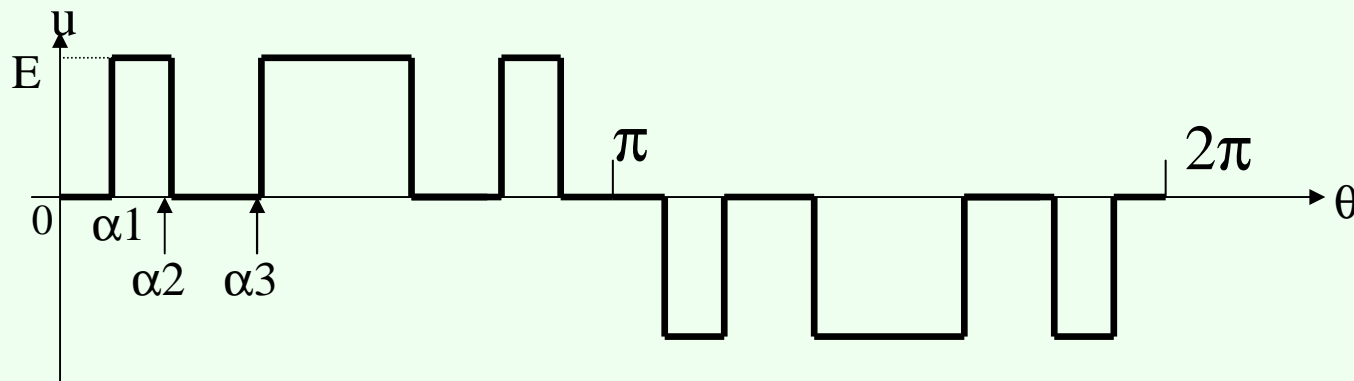


On a une maîtrise incomplète des harmoniques de tension

machine asynchrone **Contrôle Commande**

MLI numérique

Les instants de commutation des interrupteurs sont calculés pour réduire (ou supprimer) des harmoniques



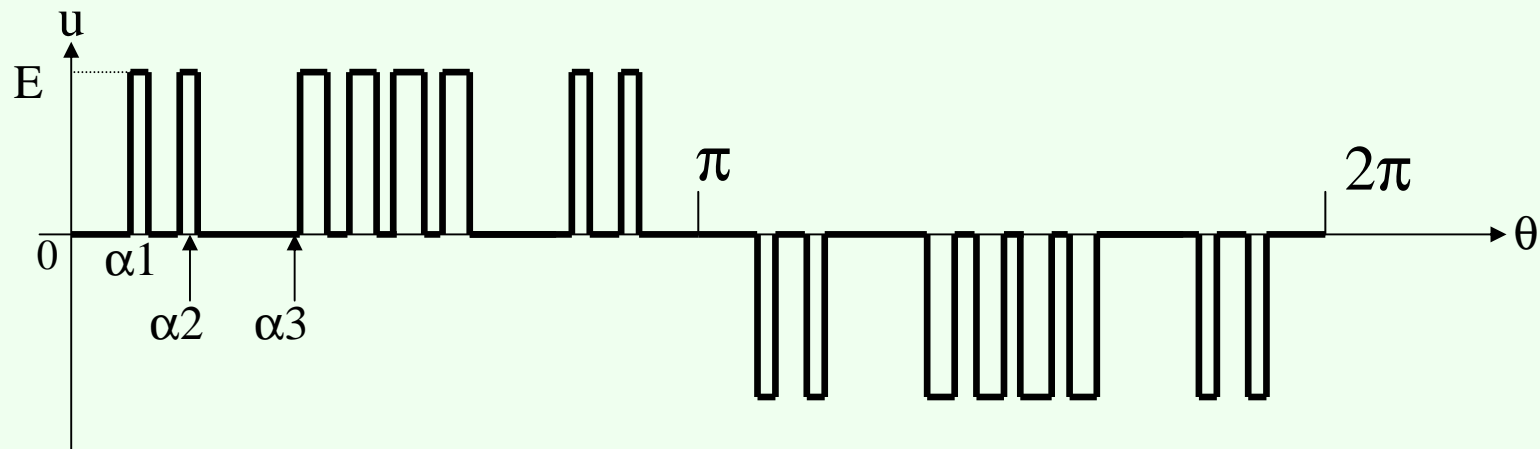
Pour 3 angles calculés, on peut supprimer les harmoniques de rangs 3 et 5

On agit sur la fréquence par contre il faut contrôler U

machine asynchrone **Contrôle Commande**

MLI numérique

On superpose aux motifs précédents, une modulation à haute fréquence; c'est la **surmodulation**

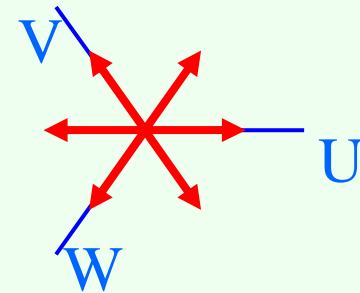
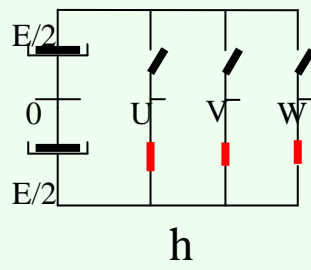
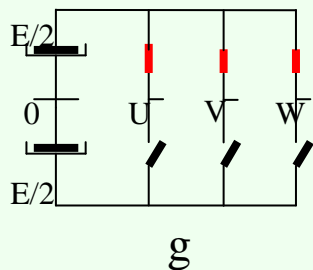
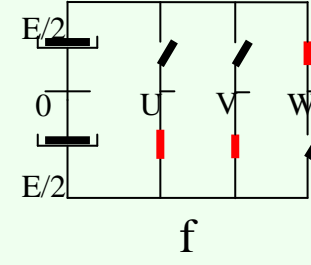
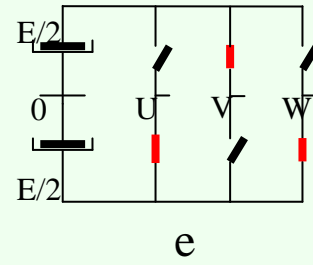
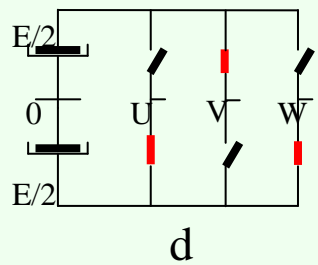
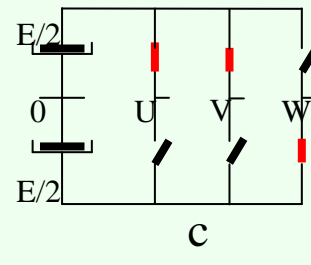
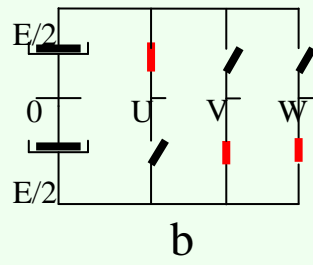
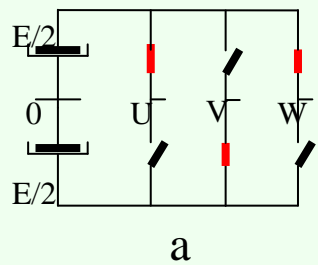


Hachage à fréquence fixe à rapport cyclique variable.
Cela permet de moduler la valeur efficace du fondamental

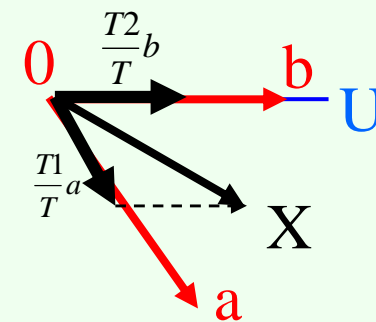
machine asynchrone **Contrôle Commande**

MLI Vectorielle

MLI numérique 2e génération



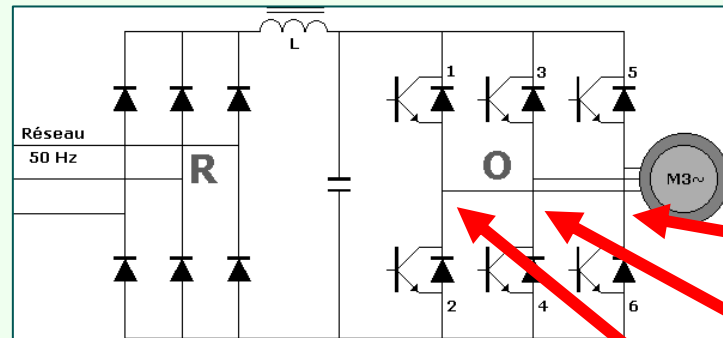
À partir des 8 combinaisons des interrupteurs on peut avoir 8 positions du vecteur tension



machine asynchrone

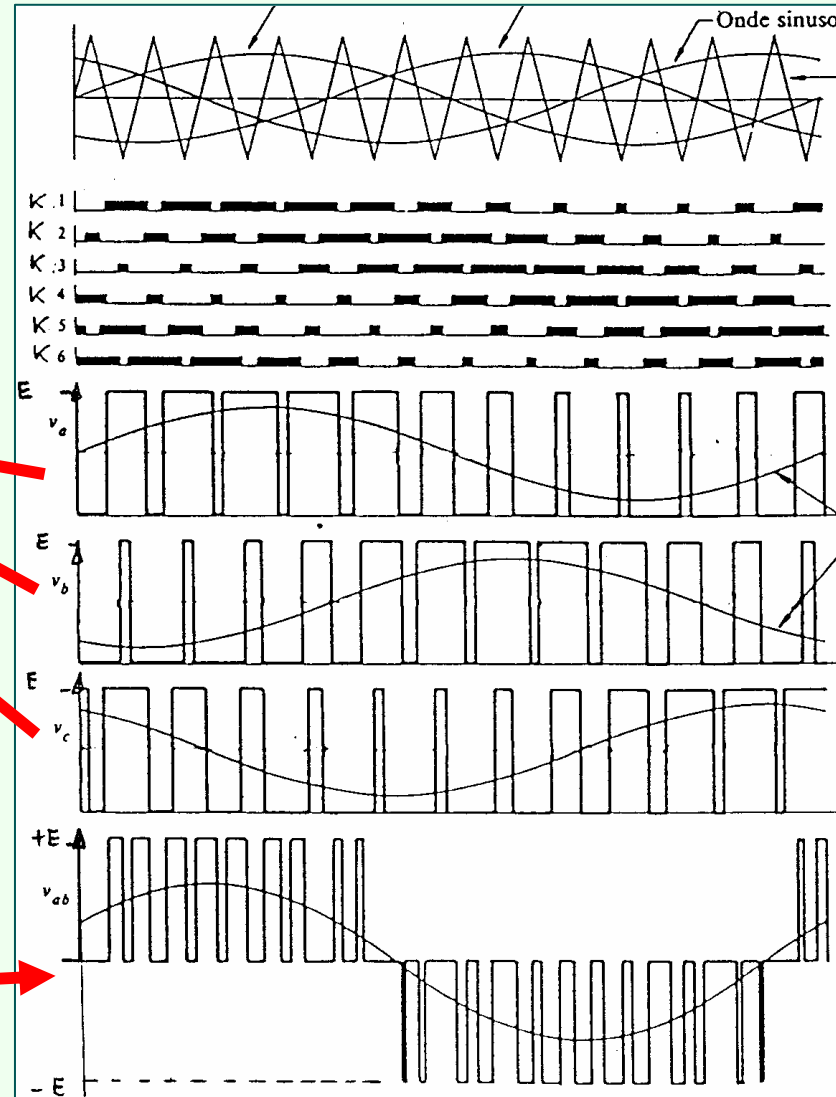
Contrôle Commande

Onde MLI



Potentiers aux 3 bornes de sortie de l'onduleur modulés MLI.

Tension composée aux bornes d'un enroulement moteur.



machine asynchrone

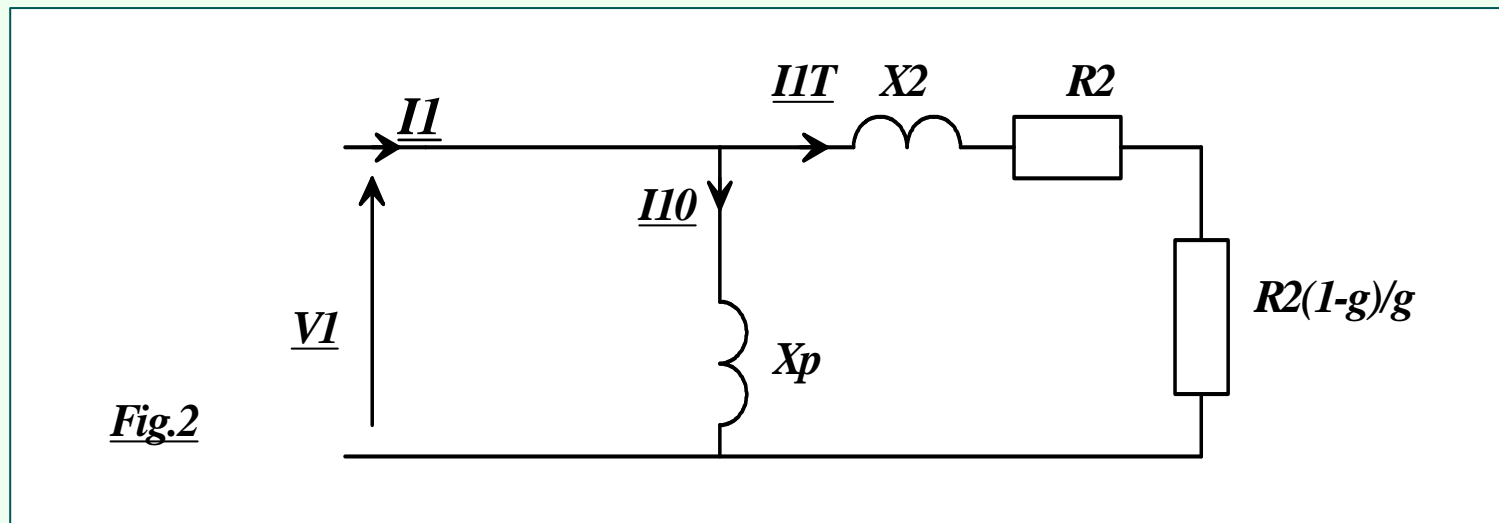
caractéristiques

Comportement électrique



Modèle électrique

Modèle simplifié d'une phase rapportée au stator



Il s'agit d'un modèle énergétique dont toutes les valeurs de puissance doivent être multipliées par 3 pour un moteur triphasé

Arbre des puissances

