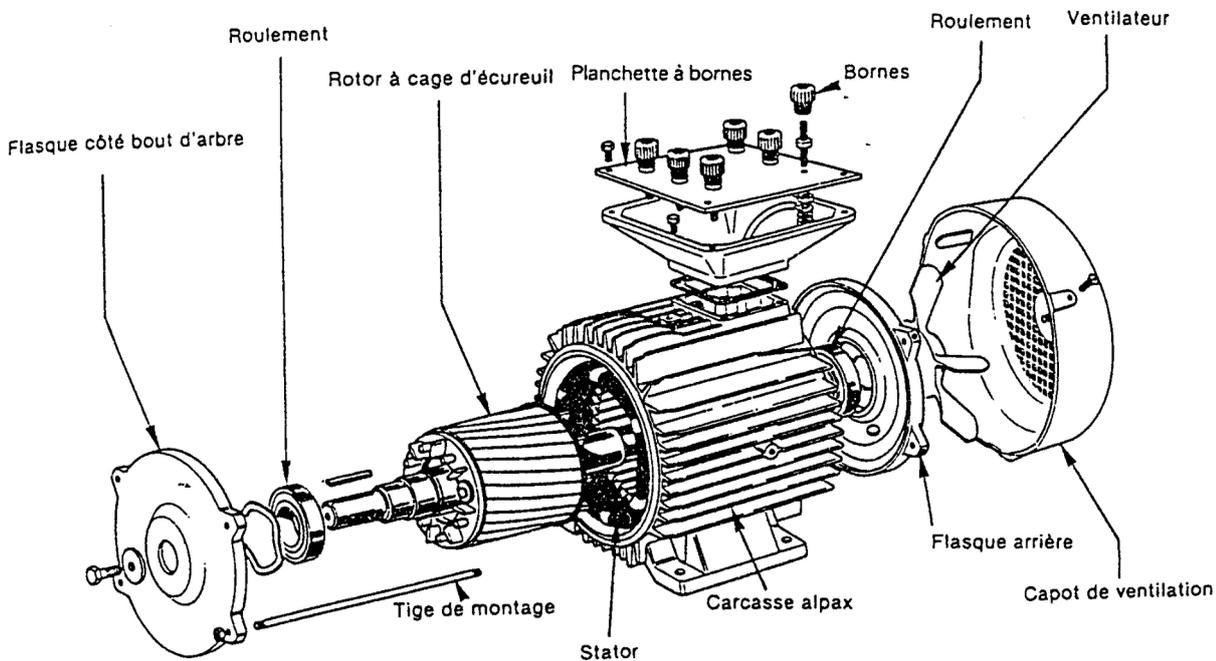


Le moteur asynchrone est depuis longtemps la solution la plus répandue pour les machines qui ne sont pas munies d'une variation de vitesse. Son coût modéré et sa robustesse le rendent incontournable dans ce domaine. Les progrès récents dans les domaines de l'alimentation et de la commande en font maintenant une solution souvent retenue pour les machines à vitesse variable.

Un moteur asynchrone est un moteur à courant alternatif pour lequel la vitesse de rotation de l'arbre est différente de la vitesse de rotation du champ tournant. La machine qui nous intéresse dans ce chapitre est plus précisément un moteur à induction. Il existe en effet théoriquement d'autres types de moteurs asynchrones. Un moteur à induction est un moteur asynchrone dont le circuit magnétique est associé à deux ou plus de deux circuits électriques se déplaçant l'un par rapport à l'autre et dans lequel l'énergie est transférée de la partie fixe à la partie mobile, ou inversement, par induction électromagnétique. Cependant, le seul moteur asynchrone qui ait une importance pratique est le moteur à induction. En français, le langage courant a consacré l'appellation « moteur asynchrone » tandis qu'en anglais, la dénomination plus exacte de « induction motor » a été privilégiée.



Constitution du stator

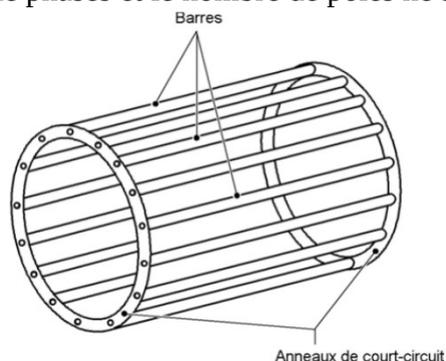
Le stator comporte une carcasse en fonte ou en tôle d'acier dans laquelle est inséré un circuit magnétique formé d'un empilage de tôles. Le stator d'un moteur asynchrone triphasé porte un enroulement triphasé réparti dans des encoches du circuit magnétique. Il est généralement couplé en étoile.

Constitution du rotor

Deux grandes catégories de moteurs asynchrones apparaissent suivant la structure de leur rotor qui peut être bobiné ou à cage. Pour ces deux variantes, le circuit magnétique du rotor est un assemblage de tôles ferromagnétiques muni d'encoches.

→ Rotor bobiné : Dans ce cas, les encoches présentes à la périphérie du rotor contiennent un enroulement similaire à celui du stator. Le bobinage rotorique est toujours couplé en étoile et il est accessible de l'extérieur grâce à un système de bagues et de balais, ce qui permet soit de le court-circuiter soit de le relier à un circuit permettant d'agir sur les caractéristiques du moteur dans certains fonctionnements.

→ Rotor à cage : Dans ce cas, les encoches contiennent des barres reliées aux deux extrémités par des anneaux de court-circuit. L'ensemble forme une cage d'écureuil. Les barres sont en alliage d'aluminium pour les machines de petite et moyenne puissance, en cuivre pour les moteurs de forte puissance. L'enroulement ainsi obtenu n'est pas accessible de l'extérieur. La cage rotorique forme un enroulement dont le nombre de phases et le nombre de pôles ne sont pas fixés par construction.

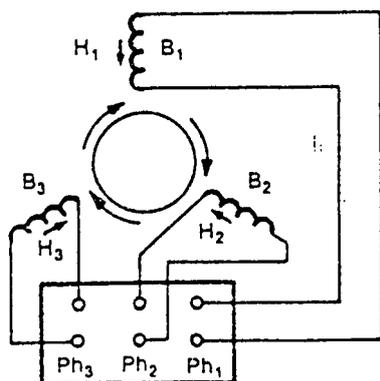


1- Moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit

1. Principe de fonctionnement

Trois champs magnétiques alternatifs produits par trois bobines se composent pour former un champ tournant.

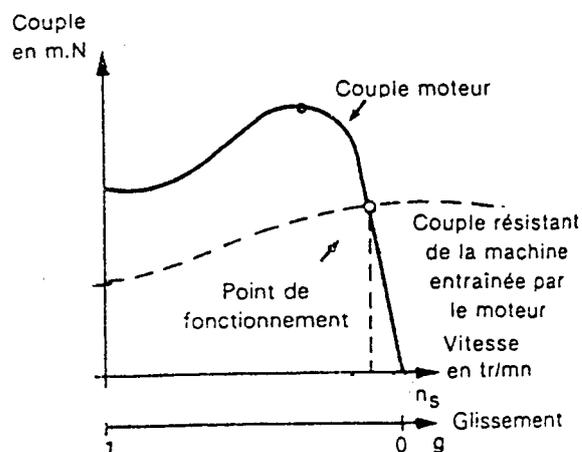
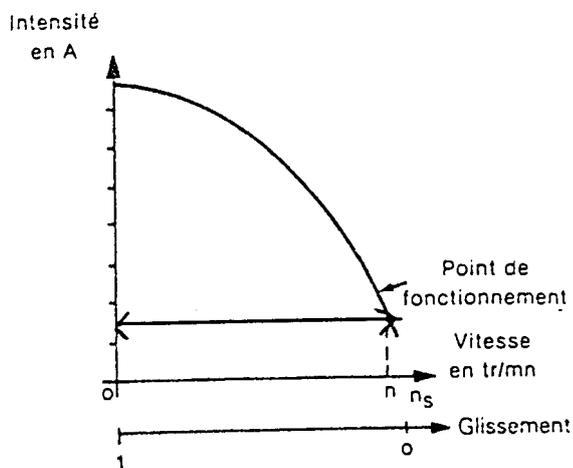
Les barres conductrices constituant la cage d'écureuil sont coupées par le champ tournant produit par le stator, ce qui donne naissance à des courants induits dans les barres. Ces courants réagissent sur le champ tournant en donnant naissance à des forces donc un couple sur le rotor qui entre en rotation.



Remarque : Si le rotor tournait à la même vitesse que le champ, il n'y aurait plus de courants induits donc de couple.

La vitesse du rotor est inférieure à celle du champ tournant, ce type de moteur est dit asynchrone.

1.2 Caractéristiques "directes"



1.3 Couplage du moteur

2 couplages possibles (selon le réseau et le moteur)

Il n'est pas toujours possible de brancher un moteur asynchrone en étoile ou en triangle.

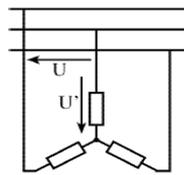
Exemple :

- sur une plaque signalétique d'un moteur on lit : Δ 380 / \star 220

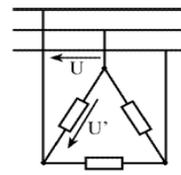
- le réseau est en 220 / 380 V

De la plaque signalétique on déduit que la tension nominale d'une phase du moteur est de 220 V.

Si on branche ce moteur en triangle, la tension au borne d'une phase sera de 380 V ce qui est trop élevé.



$U = 380 \text{ V}$
 $U' = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ V}$
 Ce montage est possible



$U = 380 \text{ V}$
 $U' = U = 380 \text{ V}$
 Ce montage n'est pas possible

Conclusion : ce moteur peut être brancher uniquement en étoile sur le réseau 220 / 380 V

Remarque : il s'agit en fait d'un vieux moteur. Actuellement tous les moteurs supportent 380V par phase. Ils supportent même souvent 400 V et 415 V, car le réseau EDF évolue progressivement vers ces tensions.

- Positions des barrettes sur la plaque à bornes du moteur :



- **Exercice :**

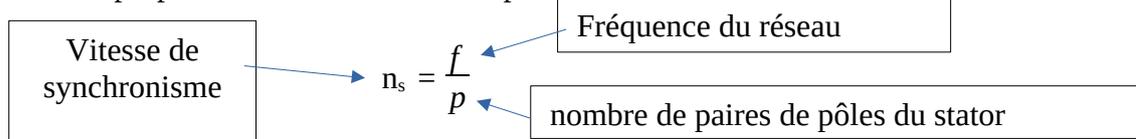
Moteurs	130/230	230/400	400/700
Réseaux			
3 x 230			
3 x 400			
3 x 700			

2. Le stator

Il est constitué par les enroulements statoriques (bobines au nombre de trois minimum)

Le stator, alimenté par des tensions triphasées de fréquence f, produit un champ tournant, à la fréquence de rotation :

La vitesse du champ tournant est proportionnelle à la puissance du réseau d'alimentation et inversement proportionnelle au nombre de pôles constituant le stator.



Exemple : $n_s = 3000 \text{ tr/mn}$ avec 3 bobines donc 1 paire de pôles

soit à la vitesse angulaire de : $\Omega_s = \frac{\omega_s}{p}$ avec $\omega_s = 2.\pi.f$

Les enroulements statoriques sont prévus pour être couplés en étoile ou en triangle.

Sur certains moteurs, les deux couplages sont réalisables et donneront au moteur la possibilité de fonctionner sur deux réseaux différents.

3. Fréquences et vitesses

3.1. Rotor

Notons n' sa fréquence de rotation et Ω sa vitesse angulaire, nous aurons :

$$n < n_s \text{ et } \Omega < \Omega_s$$

Un observateur entraîné par le champ tournant verrait le rotor tourner à l'envers à vitesse très faible.

On dit que *le rotor "glisse" par rapport au champ*.

La vitesse angulaire relative du champ, par rapport au rotor, est la vitesse angulaire de glissement.

Elle est égale à la différence des deux vitesses statorique et rotorique, soit :

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

De même la fréquence rotation de glissement sera : $g(n) = n_s - n$

3.2. Le glissement

On appelle glissement d'un moteur asynchrone le rapport de la fréquence (ou de la vitesse) de glissement par rapport à la fréquence de synchronisme. Elle s'exprime en valeur relative, soit :

$$g = g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad \text{où : } g \text{ est exprimé en \%}$$

Remarque : *Les fréquences (ou vitesses) de rotation sont en pratique exprimée en tours par minute (tr/mn) alors que dans les formules il faut les exprimer en tours par seconde (tr/s).*

4. Mesure du glissement

4.1. Au compte-tours

Si $n' = 1430$ tr/mn, le compte-tours ayant une précision de 1%, on mesurera n' à 1% près soit à 14 tr/mn près et le glissement qui correspond à 70 trs ne sera déterminé qu'à 14/70 près, soit une erreur possible de 20 %.

Il est donc préférable de mesurer directement le glissement ou, ce qui revient au même, la fréquence du glissement.

4.2. Au stroboscope

(principe pour un moteur bipolaire)

Le trait tourne à n' (tr/s) alors que le synchronique est n .

Si nous éclairons le disque avec une source donnant un éclair toutes les $1/n$ seconde nous verrons le disque tourner à l'envers à la vitesse de : $n_s g = n_s - n$

6. Puissances

6.1. Bilan des puissances

a) Puissance absorbée :

$$P_a = UI \cos \varphi$$

b) Pertes :

➤ par effet Joule dans le stator P_{js} :

* si r est la résistance de l'enroulement d'une phase,

en étoile

$$P_{js} = 3rI^2$$

en triangle

$$P_{js} = rI^2$$

* si R est la résistance mesurée entre 2 bornes, quelque soit le couplage :

$$P_{js} = RI^2$$

$$P_{fs} \approx \text{constantes}$$

➤ dans le fer du stator P_{fs} :

Elles sont pratiquement indépendantes de la charge.

➤ par effet Joule dans le rotor P_{jr} :

$$P_{jr} = g \cdot T_{em}$$

➤ constantes P_c :

$$P_c = P_{fs} + P_m$$

➤ mécaniques P_m :

$$P_m \approx P_{fs} \approx \text{si } P_{j_{sv}} \text{ négligées}$$

Elles sont pratiquement indépendante de la charge.

c) Puissance utile P_u :

$$P_u = UI \cos \varphi - \text{pertes.}$$

6.2. Puissance transmise au rotor P_{tr} :

C'est la puissance absorbée diminuée des pertes du stator.

$$P_{tr} = P_a - P_{js} - P_{fs}$$

P_{tr} : puissance transmise au rotor.

Cette puissance est transmise au rotor par le couple électromagnétique développé grâce au champ tournant, on a donc :

$$T_{em} =$$

Soit

$$P_{tr} = T_{em} s$$

Ce couple est aussi celui du rotor, mais ce dernier tourne à Ω' et la puissance restante est :

$$P' = T_{em} \Omega'$$

De même

La différence entre P_u et P' est perdue par effet Joule dans le rotor à cause du glissement g soit :

$$P_{jr} = P_{tr} - P' = T_{ems} - T_{em} = T_{em} - g_s$$

Nous obtenons donc ,

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

6.3. Rendement

$$\eta = =$$

Soit :

6.4 Résumé du bilan des puissances :

PUISSANCE ABSORBÉE

$$P_a = UI \cos \varphi$$

Pertes joules
statoriques (quelque
soit le couplage)

$$P_{js} = RI^2$$

Pertes fer
(magnétiques)

$$P_{fs}$$

PUISSANCE TRANSMISE AU ROTOR

$$P_{TR} = P_a - P_{js} - P_{fs}$$

Pertes joules
rotoriques

$$P_{JR} = P_{TR} \times g$$

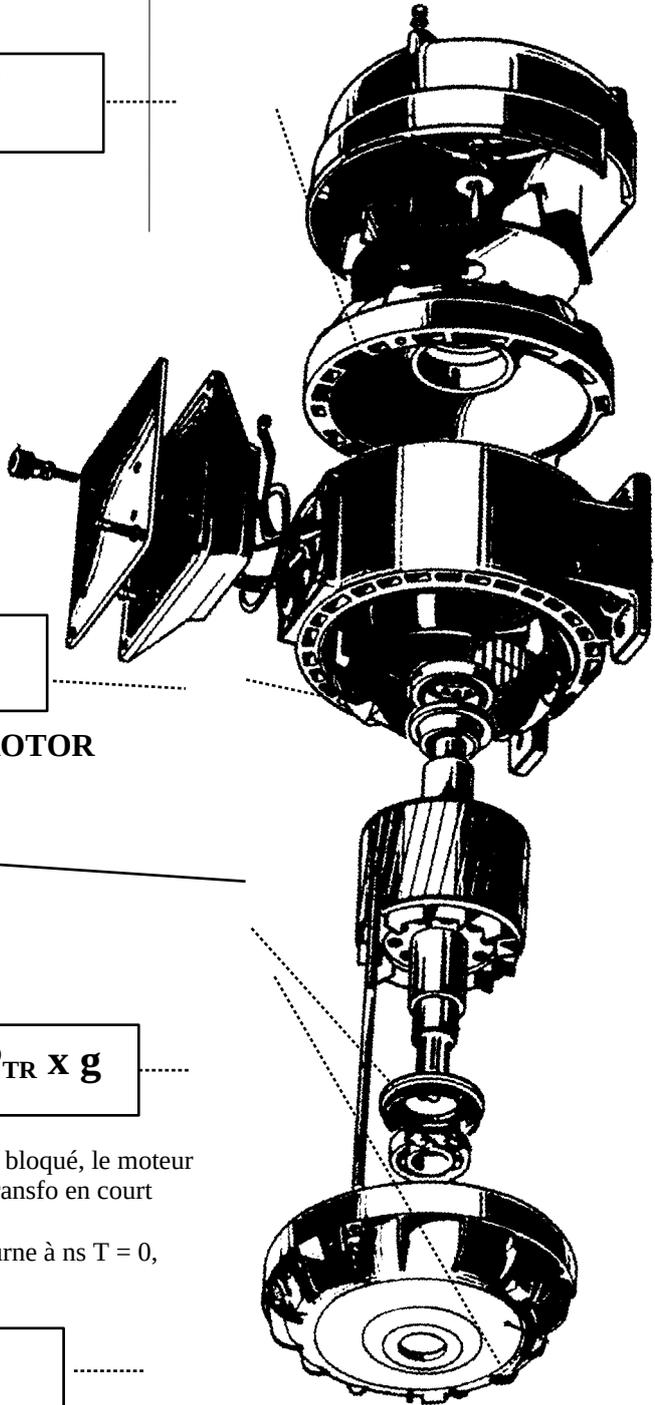
- Si $g = 1$ le rotor est bloqué, le moteur est équivalent à un transfo en court circuit $P_{JR} = P_{TR}$
- Si $g = 0$ le rotor tourne à n_s $T = 0$, $P_{JR} = 0$

Pertes
mécaniques

$$P_m$$

PUISSANCE UTILE

$$P_u = T_u \omega = P_{TR} - P_{JR} - P_{méca}$$



7. Exemple d'une plaque signalétique de moteur :

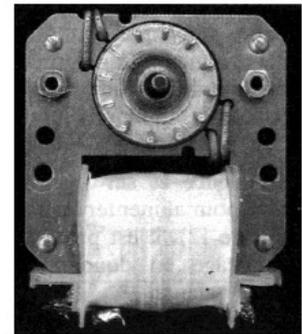
Exemple d'une plaque signalétique d'un moteur asynchrone :

		MOT. 3 ~ LS 100 L				
		N° 894579	22 kg			
Code :		T				
IP 55	I cl. F	40°C	S1	%	c/h	
	Hz	min ⁻¹	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		g		
NDE		h		I.E.C. 34-1 (87)		
MOTEURS LEROY-SOMER						

8. Moteur asynchrone monophasé

En monophasé le moteur peut tourner dans un sens ou l'autre. De ce fait il a également du mal à démarrer tout seul. Il faut prévoir un dispositif supplémentaire qui lui permettra de démarrer tout seul dans un sens déterminé. Il s'agit souvent d'un enroulement ou de spires auxiliaires.

Exemple : moteur à spires de Frager.



9. Utilisation du moteur asynchrone

Le moteur asynchrone triphasé, dont la puissance varie de quelques centaines de watts à plusieurs mégawatts est le plus utilisé de tous les moteurs électriques. Son rapport coût/puissance est le plus faible.

Associés à des onduleurs de tension, les moteurs asynchrones de forte puissance peuvent fonctionner à vitesse variable dans un large domaine (les derniers TGV, le Tram de Strasbourg, ...).

Toutefois l'emploi de ce type de moteur est évité en très forte puissance ($P > 10$ MW) car la consommation de puissance réactive est alors un handicap.

Remarques : en électroménager (exemple : lave-linge) la vitesse des moteurs asynchrones n'est pas réglée par un onduleur, mais ces moteurs possèdent plusieurs bobinages. Il est alors possible de changer le nombre de paires de pôles et donc la vitesse.

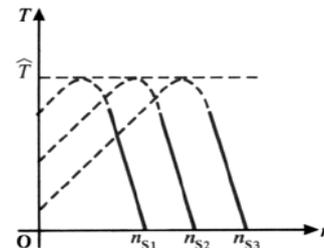
10. Réglage de la vitesse d'un moteur asynchrone

La vitesse de synchronisme n_s dépend de la fréquence f_s des courants statoriques. Et comme la vitesse n reste très proche de la vitesse de synchronisme, pour varier la vitesse du moteur il faut en fait varier la fréquence f_s .

En réalité pour faire varier la vitesse sans modifier le couple utile il faut garder le rapport $\frac{V_s}{f_s}$ constant (V_s est la tension d'alimentation d'un enroulement).

Si on augmente la vitesse, il faut augmenter la fréquence et la tension d'alimentation dans les limites du bon fonctionnement de la machine.

On obtient le réseau de caractéristiques. La zone utile est l'ensemble des segments de droites parallèles. Sur le plan technique, cela permet un très bon réglage de la vitesse.



Un moteur asynchrone pouvant fonctionner sous 220V / 50Hz n'est pas sous-alimenté si, à l'aide d'un onduleur, on ne lui applique qu'une tension de 110V à 25Hz. Il peut ainsi développer, à vitesse réduite, le même couple maximal que celui qu'il peut fournir à vitesse élevée.

11. Réversibilité

Toutes les machines tournantes sont réversibles. Dans le cas de la machine asynchrone, étant donné que son rotor n'est pas excité, elle ne peut être autonome. Mais elle est réversible dans le sens où elle peut fournir de la puissance au réseau en fonctionnant en charge.

12. Vocabulaire

asynchrone
champ tournant
synchrone
cage d'écureuil
rotor bobiné

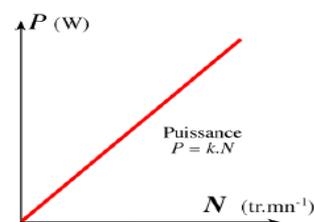
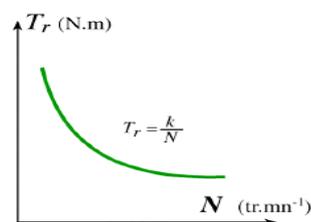
courants induits
glissement
courant réactif ou magnétisant
démarrage étoile - triangle
démarrage statorique

démarrage rotorique
puissance transmise
puissance mécanique totale
pertes constantes

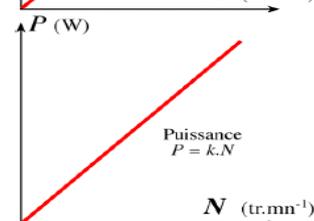
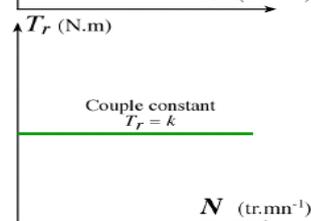
13. Complément : caractéristiques $T=f(n)$ de quelques charges

Le démarrage d'un système (charge) par un moteur ne peut avoir lieu que si à chaque instant le couple moteur est supérieur au couple résistant plus l'inertie du système.

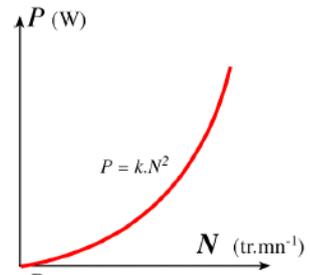
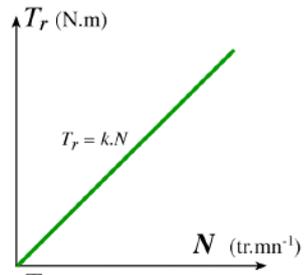
Machine à puissance constante (enrouleuse, compresseur, essoreuse)



Machine à couple constant (levage, pompe)



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



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

