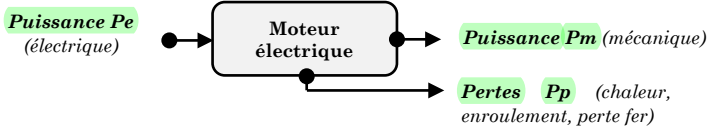


La conversion électromécanique transforme l'énergie électrique en énergie mécanique et vice-versa. Cette technologie est essentielle dans divers appareils comme les moteurs électriques, les générateurs, jouant un rôle crucial dans l'industrialisation, les transports, et les systèmes énergétiques modernes pour améliorer l'efficacité et la fonctionnalité.

Conversion de l'énergie électromécanique

Un convertisseur électromagnétique, aussi appelé "machine tournante", transforme l'énergie électrique en énergie mécanique et inversement. Il peut fonctionner sous deux régimes distincts.

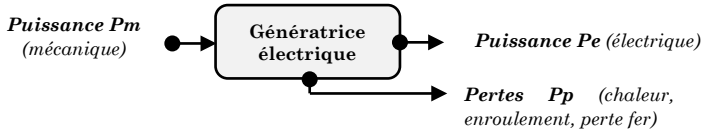
1- Fonctionnement moteur



Loi de conservation de puissance : L'énergie totale reçue par un système est égale à la somme des énergies restituées par ce système

Donc : $P_e = P_m + P_p$

2- Fonctionnement générateur



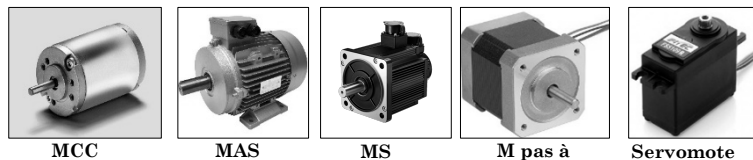
Donc : $P_m = P_e + P_p$

3- Bilan de puissances

- La puissance mécanique P_m : $P_m = C_m \cdot \Omega_m$
- Puissance en continu : $P_e = U \cdot I$
- Puissance en alternatif sinusoïdal (1~) : $P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$
(3~) : $P = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$
- Le rendement : $\eta = \frac{P_m}{P_e}$ (cas moteur)
- Les pertes dans les machines électriques sont généralement dues aux :
 - Pertes ferromagnétiques P_{fer} (hystérésis PH et courant de Foucault PF).
 - Pertes mécaniques P_{mec} : frottement aux contacts, ventilation
 - Pertes cuivre par effet joule P_j dans les bobinages de la machine
 Puissance perdue P_p s'exprime par : $P_p = P_j + P_{fer} + P_{mec}$

4- Réversibilité des machines électriques tournantes

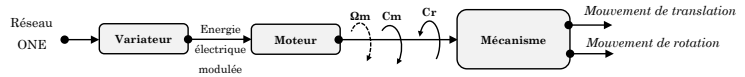
Les machines électriques tournantes sont réversibles, pouvant fonctionner comme moteur ou générateur, on cite :



Machines		Réversibilité
MCC	Machine à courant continu	Réversible
MAS	Machine asynchrone	Réversible
MS	Machine synchrone	Réversible
M pas à pas	Moteur pas à pas	Irréversible
Servomoteur	Servomoteur	Irréversible

Chaîne de conversion d'énergie électromécanique

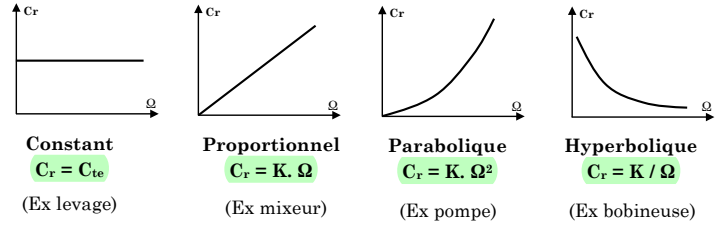
L'énergie électrique, continue ou alternative, alimente un variateur modulant l'énergie transmise au moteur, qui convertit l'électricité en mécanique pour entraîner une charge via un mécanisme de transmission.



1- Type des charges : couple résistant C_r

La charge est la partie entraînée par la machine électrique, générant un couple résistant C_r qui s'oppose au mouvement de la machine.

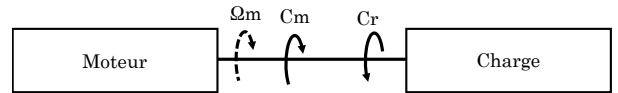
La caractéristique $C_r = f(\Omega)$ définit le type de charge à entraîner :



2- Point de fonctionnement à l'équilibre

❖ Principe fondamental de la dynamique PFD

L'arbre moteur fournit un couple C_m pour entraîner la charge, tandis que la charge oppose un couple résistant C_r .



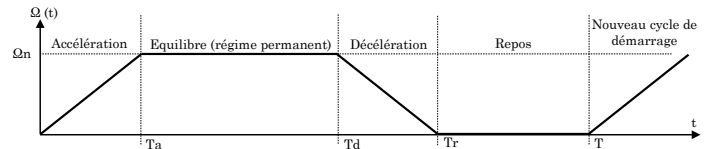
La loi fondamentale de la dynamique ($\sum \vec{F} = m \cdot \vec{\gamma}$) se ramène lors d'un mouvement de rotation autour d'un axe fixe à l'expression :

$$J \frac{d\Omega_m}{dt} = C_m - C_r$$

- J désigne le moment d'inertie de l'ensemble tournant (moteur + charge) et Ω_m la vitesse angulaire à l'arbre moteur.

❖ Profil de vitesse

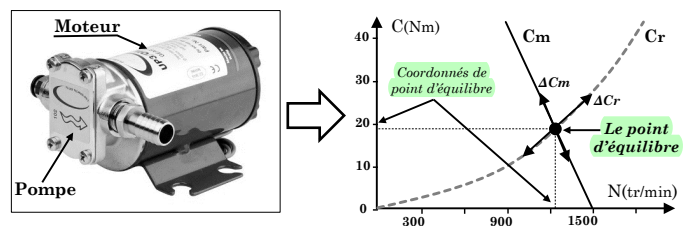
Les profils de vitesse trapézoïdaux assurent des accélérations/décélérations douces, limitent les courants de démarrage, réduisent les chocs mécaniques et optimisent la performance ainsi que la durabilité des moteurs.



- Phase de démarrage : $\frac{d\Omega}{dt} > 0 \Rightarrow C_m - C_r > 0 \Rightarrow$ il faut que : $C_m > C_r$
- Phase d'équilibre : $\frac{d\Omega}{dt} = 0 \Rightarrow C_m - C_r = 0 \Rightarrow C_m = C_r$
- Phase de décélération : $\frac{d\Omega}{dt} < 0 \Rightarrow C_m - C_r < 0 \Rightarrow$ il faut que : $C_m < C_r$

❖ Point d'équilibre (régime établi)

L'équilibre moteur-charge survient lorsque le couple moteur égale le couple résistant, stabilisant la vitesse de rotation.

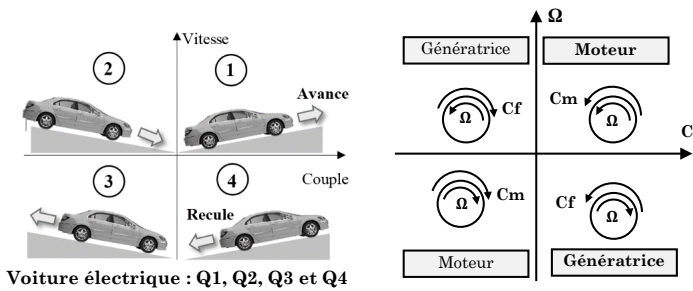


- Le point d'équilibre : P_{eq} (1200 tr/min ; 20 Nm)
- Pour qu'il y a la stabilité de groupe il faut que : $\frac{dC_m}{dN} < \frac{dC_r}{dN}$

❖ Quadrants de fonctionnement

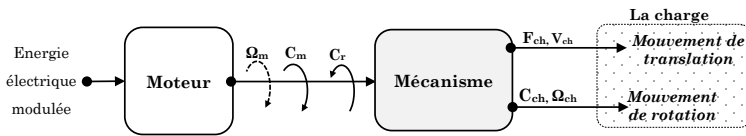
Les quadrants de fonctionnement d'un système moteur-charge définissent quatre modes : motricité positive, freinage régénératif, motricité négative, freinage dissipatif, combinant direction de rotation et couple.

- Si le produit $C \cdot \Omega > 0$: Fonctionnement **moteur**
- Si le produit $C \cdot \Omega < 0$: Fonctionnement **génératrice**



Mécanismes associés aux moteurs

Les mécanismes des moteurs transmettent le mouvement, adaptent le couple, convertissent les mouvements et stabilisent le système, optimisant ainsi l'efficacité et l'adaptabilité des machines industrielles.



1- Réducteur

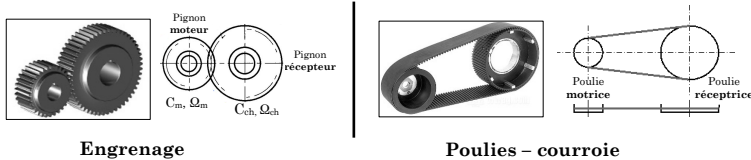
Le réducteur de vitesses diminue la vitesse du moteur tout en augmentant le couple.

- ↳ Puissance d'entrée : $P_e = C_m \cdot \Omega_m$
- ↳ Puissance de sortie : $P_s = C_{ch} \cdot \Omega_{ch}$
- ↳ Le rapport de réduction : $K = \frac{\Omega_{ch}}{\Omega_m} < 1$



Le rendement est défini par : $\eta = \frac{P_s}{P_e} \Rightarrow \frac{C_{ch}}{C_m} = \frac{\eta}{K} \Rightarrow C_{ch} = \frac{\eta}{K} C_m$

De nombreux types de réducteurs sont proposés par les constructeurs. On rencontre souvent :



2- moment d'inertie J

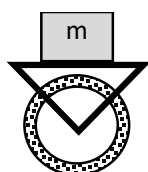
Le moment d'inertie J (Kg.m²) est essentiel pour dimensionner un moteur, car il prédit la résistance au changement de vitesse, garantissant démarrage et arrêt efficaces.

On donne ci-dessus, les Pièces les plus courantes :

Cylindre plein (Ex le tambour)	Cylindre creux
$J = m \frac{R^2}{2}$	$J = m \frac{R_{ex}^2 + R_{in}^2}{2}$
m : la masse du cylindre (Kg) , R : le rayon du cylindre (m) , R _{ex} : le rayon extérieur (m) et R _{in} : le rayon intérieur (en m)	

Conversion de la Masse en Translation au Moment d'Inertie :

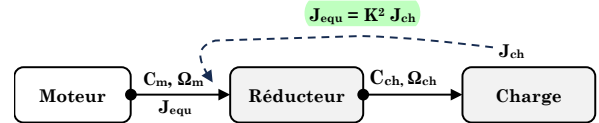
Si une masse m se déplace linéairement à une vitesse v sur une surface, roulant sur une roue de rayon R, le moment d'inertie équivalent J_{eq} par rapport à l'axe de rotation est : $J_{eq} = m \cdot R^2$



3- Moment d'inertie ramené sur l'arbre moteur

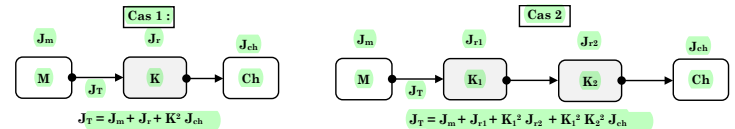
Le moment d'inertie total ramené à l'arbre principal simplifie l'analyse dynamique, facilite le dimensionnement moteur, améliore la stabilité, optimise la réponse du système et ses performances énergétiques.

D'après le théorème d'énergie cinétique :



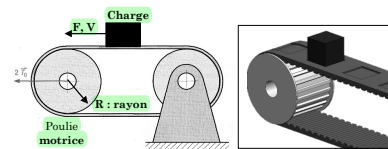
- Si le cas de rapport de réduction ($K = \frac{\Omega_{ch}}{\Omega_m}$) : $J_{equ} = K^2 J_{ch}$
- Si le cas de rapport de transmission ($r = \frac{1}{K} > 1$) : $J_{equ} = \frac{J_{ch}}{r^2}$

Le moment d'inertie totale J_T ramené à l'arbre moteur dans les deux cas suivants :



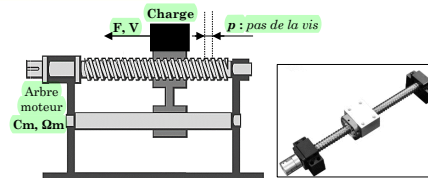
4- Conversion d'un mouvement de rotation en mouvement de translation

↳ Système de Poulies - courroie



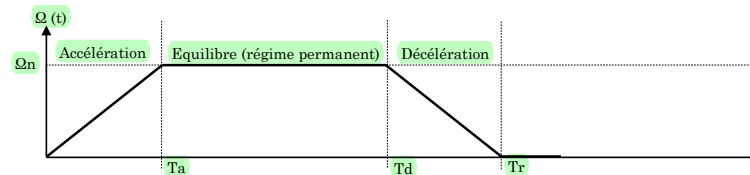
- ↳ Déplacement de distance X de la charge en fonction de l'angle de rotation θ de l'arbre de poulie : $X = R \cdot \theta$
- ↳ La vitesse linéaire de la charge : $V = R \cdot \Omega_m$
- ↳ L'effort transmissible à la charge F s'exprime par : $F = \eta \cdot \frac{C_m}{R}$

↳ Système Vis - écrou



- ↳ Déplacement de distance X de la charge en fonction de l'angle de rotation θ de l'arbre de poulie : $x = \frac{p}{2\pi} \cdot \theta_m$
- ↳ La vitesse linéaire de la charge : $V = \frac{p}{2\pi} \cdot \Omega_m$
- ↳ L'effort transmissible à la charge F s'exprime par : $F = \eta \cdot \frac{p}{2\pi} \cdot C_m$

Relations supplémentaires



- ↳ Accélération linéaire : $a_c = \frac{dv(t)}{dt}$ (en m/s²)
- ↳ Accélération angulaire : $a_c = \frac{d\Omega(t)}{dt}$ (en rad/s²)
- ↳ Energie cinétique : $E_c = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} J \Omega^2$ (en J)

- ↳ La puissance mécanique : $P_m = C \cdot \Omega$ ou $P_m = F \cdot V$
- ↳ Le couple moteur : $C = F \cdot R$
- ↳ La vitesse linéaire/angularaire : $V = R \cdot \Omega$

