

# **Chapitre 1**

## **Association**

### **Moteur / Charge mécanique**

# ASSOCIATION MOTEUR + CHARGE MECANIQUE

## 1. Type de couple résistant

La caractéristique du couple résistant en fonction de la vitesse définit les besoins de la machine entraînée. Lorsque cette caractéristique n'est pas connue, elle est assimilée à l'une des trois caractéristiques ci-dessous.

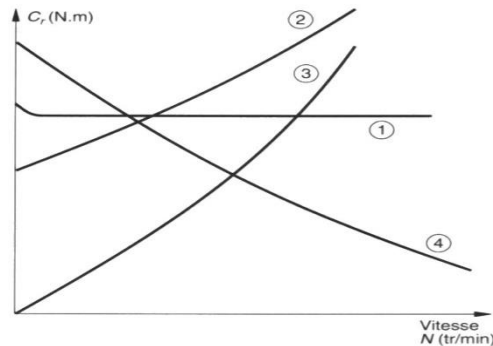


Figure 1. Caractéristique de couple résistant

- **Caractéristique de levage (1) :** Le couple résistant  $C_r$  est plus fort au décollage.

$$C_r = K \text{ (Constant)}$$

Exemples : Bande transporteuse horizontale, compresseurs et pompes à piston, levage et manutention, ...

- **Caractéristique linéaire (2) :** Le couple résistant  $T_r$  est de nature linéaire.

$$C_r = K_1 \cdot \Omega$$

Exemples : presses, machines-outils, ...

- **Caractéristique de ventilation (3) :** Le couple résistant  $T_r$  est assez faible au décollage. Il croît avec la vitesse selon la loi suivante.

$$C_r = K_2 \cdot \Omega^2$$

Exemples : pompe et compresseur centrifuge, ventilateur. ...

- **Caractéristique d'essorage (4) :** Le couple résistant  $T_r$  est important au décollage, il décroît avec la vitesse (la puissance est constante).

$$C_r = \frac{K_3}{\Omega}$$

Exemples : bobineuse, essoreuse, concasseur, ...

### 1.1. Le moment d'inertie

L'inertie caractérise les masses en mouvement (paramètre dynamique). C'est par son inertie qu'un système s'oppose aux changements de vitesse que l'on veut lui imposer. La grandeur physique associée à l'inertie est le moment d'inertie  $J$  en  $\text{kg/m}^2$ .

### 1.2. Etude de la dynamique

- **Equation fondamentale**

$$C_m = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} + f \cdot \Omega + C_r$$

$C_m$  : Couple moteur ;  $C_a$  : Couple accélérateur ;  $C_r$  : Couple résistant opposé par la charge ;

$J$  : Moment d'inertie ;  $f$  : coefficient de frottement (souvent négligé)

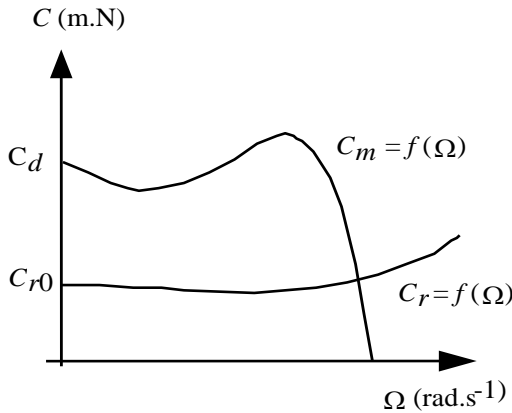
Lorsque le coefficient de frottement est négligé, cette relation peut être réécrite sous la forme suivante :

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

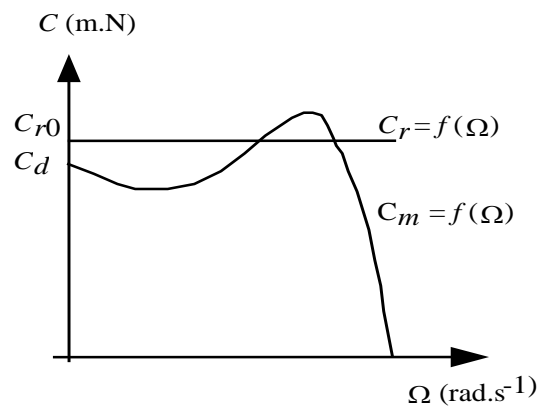
– **Conditions de démarrage**

La machine ne peut démarrer que si le couple de démarrage de la machine est supérieur au couple résistant de la charge.

$$C_m > C_r \Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} > 0$$



Le moteur démarre  $C_d > C_{r0}$



Le moteur ne démarre pas  $C_d < C_{r0}$

Figure 2

– **Temps de démarrage**

$$\int_0^{\Omega_f} \frac{d\Omega_r}{C_m - C_r} = \frac{1}{J} \cdot \int_0^{\Delta t_d} dt = \frac{\Delta t_d}{J}$$

$\Delta t_d$  : durée du démarrage ;  $\Omega_f$  : vitesse angulaire atteinte en fin de démarrage.

**1.3. Régime établi (point de fonctionnement)**

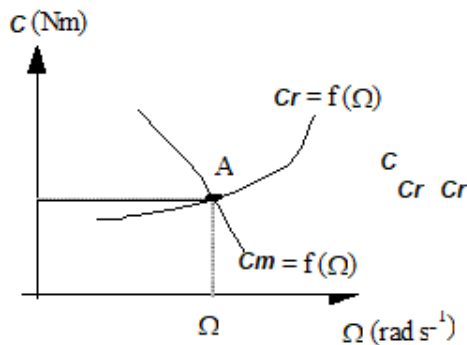
En régime établi la vitesse est constante, donc le couple d'accélération n'existe plus :

$$\Omega = \text{constante} \Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} = 0 \Rightarrow C_m = C_r$$

– **Fonctionnement stable de la machine**

Le point de fonctionnement stable de la machine est le point où les couples moteur et résistant sont égaux.

$$C_m = C_r \Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} = 0$$



- **Remarque :**

Le moteur est généralement choisi afin que le point de fonctionnement A soit le plus proche possible du fonctionnement en régime nominal.

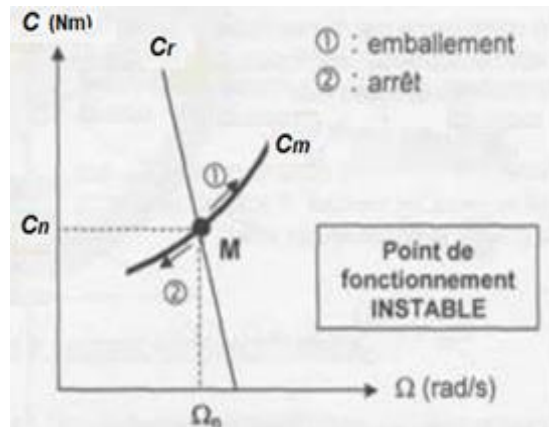
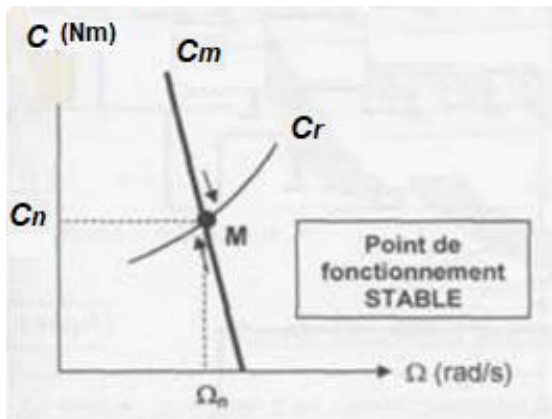
Figure 3.

Une fois la vitesse normale atteinte, elle doit se maintenir, même si de légères modifications de fonctionnement viennent à se produire. L'équilibre doit être stable, si la vitesse tend à croître, il faut que :

$$(C_m - C_r) \text{ soit négatif et inversement.}$$

On dit qu'un point de fonctionnement est stable lorsque toute modification de l'une des variables qui le caractérise entraîne une action correctrice qui tend à rétablir les valeurs initiales des variables.

Supposons par exemple que, pour une cause extérieure, le groupe ralentisse. Il y a deux possibilités selon le type de point de fonctionnement initial :



On a une diminution de  $\Omega$ , donc  $\Omega < \Omega_n$

On a alors  $C_m > C_r$

Donc :  $d\Omega / dt > 0$ , le moteur **accélère**

→ Le groupe revient à sa vitesse initiale  $\Omega_n$

On a une diminution de  $\Omega$ , donc  $\Omega < \Omega_n$

On a alors  $T_m < T_r$

Donc :  $d\Omega / dt < 0$ , le moteur **décélère**

→ Le groupe va finir par s'arrêter

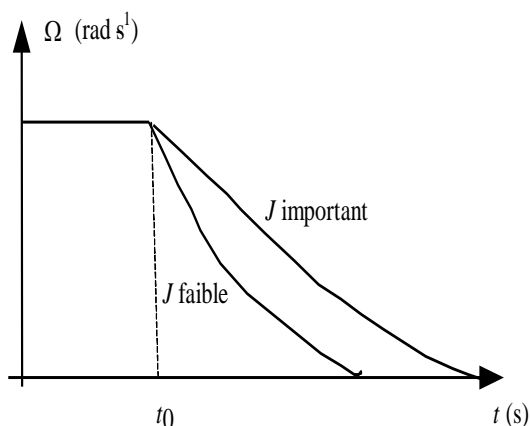
Figure 4.

Pour qu'il y ait stabilité d'un point de fonctionnement, il faut qu'au voisinage de ce point, la pente de  $C_m$  (couple moteur) soit inférieure à la pente de  $C_r$  (couple résistant de la charge).

Si le système est instable, deux cas peuvent se présenter, soit un emballement du moteur (moteur série) soit, lorsqu'on augmente le couple résistant jusqu'à une valeur où les deux courbes n'ont plus d'intersection, calage et l'ensemble moteur + charge ralentit jusqu'à l'arrêt complet.

### - Ralentissement naturel de la machine

Le ralentissement naturel de la machine est obtenu par arrêt à la coupure de l'alimentation à l'instant  $t_0$ .



$$\text{à } t = t_0 : \quad C_m = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{d\Omega}{dt} = -\frac{C_r}{J}$$

L'accélération est négative d'où ralentissement de la machine.

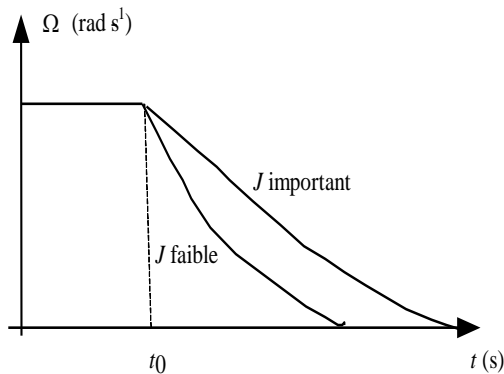
- Remarque :

L'arrêt de la machine est d'autant plus court que le moment d'inertie est faible.

Figure 5. Ralentissement naturel

## - Freinage du moteur

Pour réaliser un freinage, on coupe l'alimentation du moteur et on ajoute à  $t_0$  un couple de freinage  $C_f$ .



à  $t = t_0$  :

$$C_m = 0 \Rightarrow 0 - (C_r + C_f) = J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} = - \frac{(C_r + C_f)}{J}$$

L'accélération est négative d'où ralentissement de la machine.

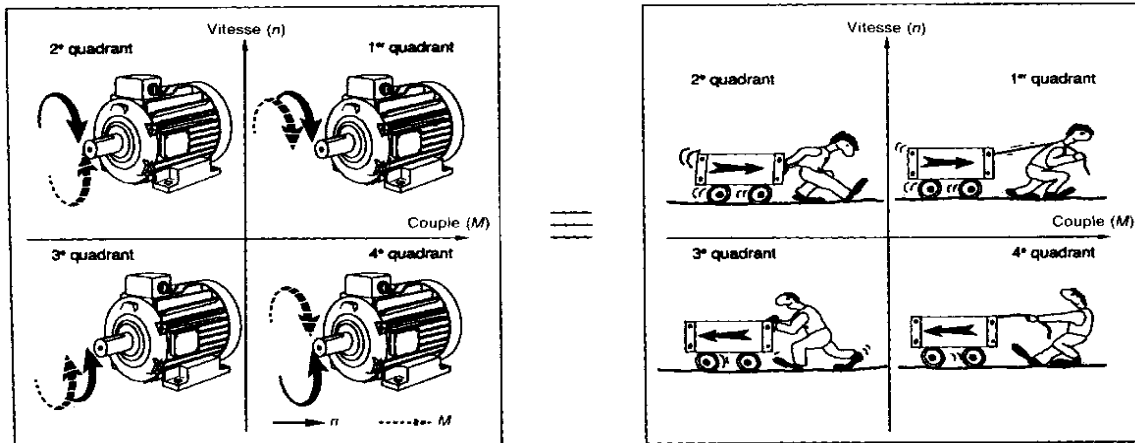
Figure 6. Freinage d'un moteur

Le couple de freinage peut être produit par :

- un élément mécanique,
- un système électrique extérieur (frein à poudre, frein à courant de Foucault),
- le moteur lui-même,
- injection de courant continu (Exemple pour le moteur asynchrone),
- un fonctionnement en génératrice ...

En cas de coupure réseau, seul le frein mécanique assure l'immobilisation de la charge.

## II. Quadrants de fonctionnement d'une machine



### • Analyse de fonctionnement

Sens de rotation	Vitesse	Couple	Puissance $P = T\Omega$	Quadrant	Travail machine électrique	Charge
sens 1	+	+	+	1	moteur	résistante
	+	-	-	2	génératrice	entraînante
sens 2	-	-	+	3	moteur	résistante
	-	+	-	4	génératrice	entraînante

Figure 7. Quadrants de fonctionnement d'une machine électrique