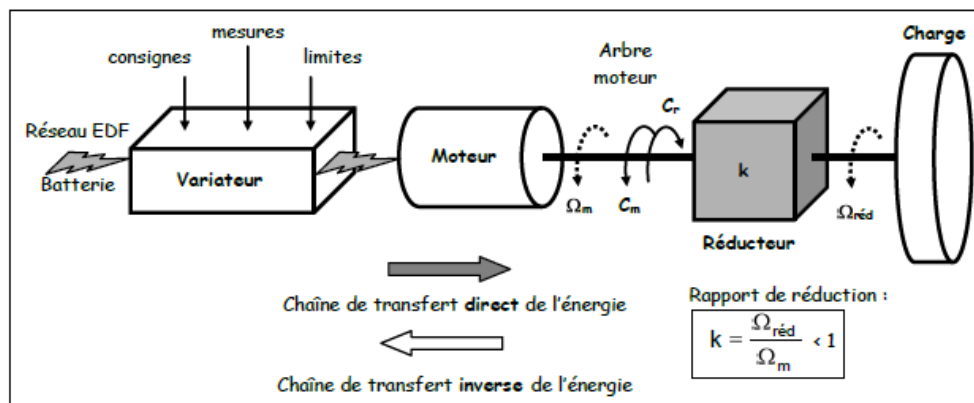


Cours	Cours C 2	TS11 (Période 2)
	Loi de commande des machines à courant continu	1h
	Cycle 6 : Convertir	2 semaines

- MODELISER** Modéliser un convertisseur électromécanique en régime permanent.
- MODELISER** Modéliser la commande d'un ensemble asservi constitué du modulateur d'énergie, de la machine électrique et de sa charge.
- CONCEVOIR** Choisir la technologie des composants de la chaîne de puissance.
- RESOUDRE** Déterminer la loi de mouvement dans le cas où les efforts extérieurs sont connus.

Les besoins actuels de mobilité basée sur l'énergie électrique nécessitent l'utilisation massive d'ensemble machine-alimentation-commande qui optimise les performances statiques et dynamiques des machines électriques utilisées en actionneur.

1 Chaîne de transfert de l'énergie

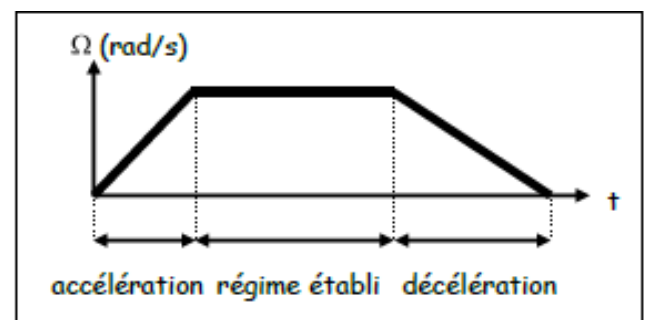


- **Chaîne de transfert directe** de l'énergie, lorsque la charge est résistante.
Exemple : engin de levage en montée car la pesanteur s'oppose au déplacement.
- **Chaîne de transfert inverse** de l'énergie lorsque la charge est entraînée.
Exemple : engin de levage en descente car la pesanteur agit dans le sens du déplacement

2 Différentes phases du mouvement d'une machine

La loi de commande usuelle est la loi en trapèze de vitesse :

- phase d'**accélération** constante au démarrage
- phase de **régime établi** ou permanent (vitesse stabilisée)
- phase de **décélération** constante lors du ralentissement avant l'arrêt.



On distingue ainsi deux régimes de fonctionnement :

- **régime permanent** ou établi (vitesse uniforme)
- **régime transitoire** : accélération ou décélération (accélération uniforme).

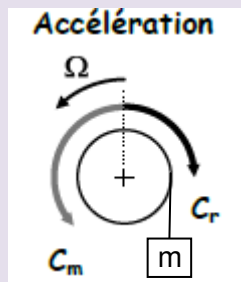
Rappel : le théorème du moment dynamique appliqué à un arbre moteur est $C_m - C_r = J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$

Hypothèse : on suppose C_r constant et toujours opposé à la vitesse (toujours résistant)

Accélération : $\frac{d\Omega}{dt} > 0$

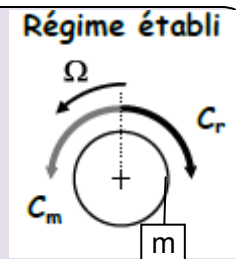
Pour démarrer, il faut donc $C_m > C_r$

On appelle $C_{acc} = J \frac{d\Omega}{dt}$ le couple accélérateur nécessaire pour vaincre l'inertie s'opposant à la variation positive de vitesse.



Régime établi : $\frac{d\Omega}{dt} = 0$

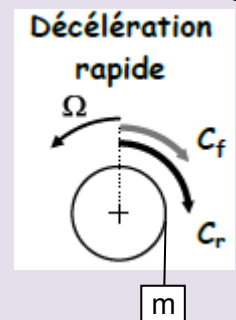
On est à l'équilibre : $C_m = C_r$



Décélération : $\frac{d\Omega}{dt} < 0$

Le couple de décélération est ainsi $C_{dec} = J \frac{d\Omega}{dt} < 0$

- freinage **naturel** par le frottement si C_r est suffisant (frottement par exemple)
- freinage **modéré** par $C_m > 0$ si C_r est trop grand (freinage naturel trop brusque)
- freinage **rapide** avec $C_m < 0$.

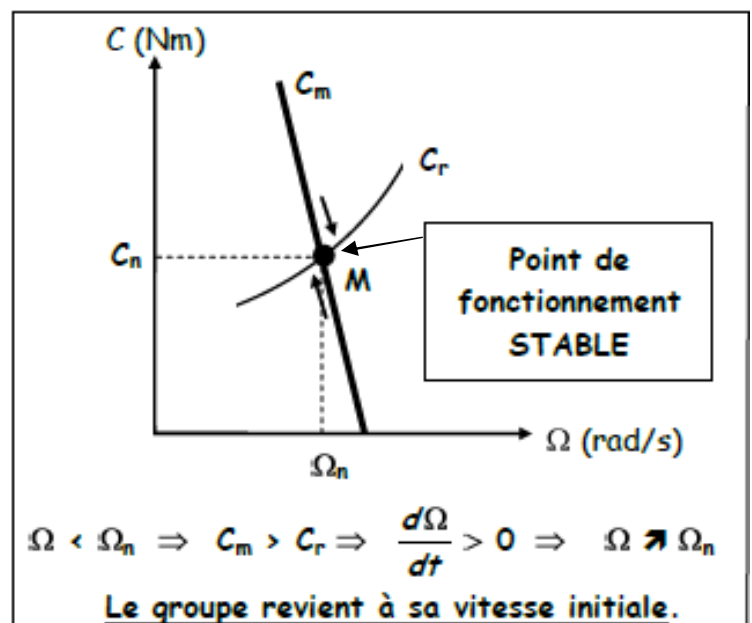


3 Association moteur - charge

Le point de fonctionnement M en régime établi du groupe "moteur + charge entraînée" s'obtient par le tracé de :

- la caractéristique du moteur $C_m(\Omega)$
- la caractéristique de la charge entraînée $C_r(\Omega)$.

Le point de fonctionnement M est stable lorsque toute modification d'une des variables qui fixent son régime entraîne une action correctrice qui tend à rétablir le régime initial.



3.1 Quadrants de fonctionnement

Fonctionnement dans un sens direct

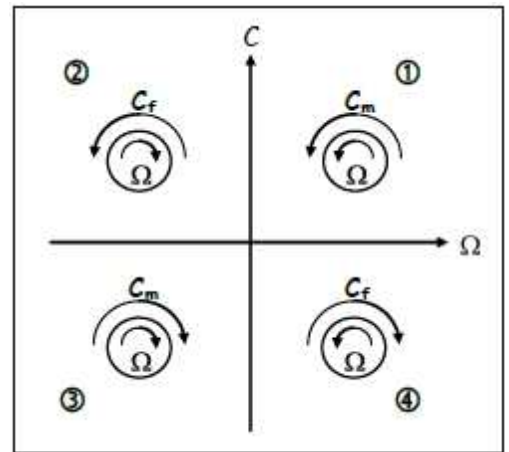
Le quadrant ① : phase d'accélération.

Le quadrant ④ : phase de décélération dans le cas d'un freinage rapide ($C_m < 0$).

Fonctionnement en sens inverse

Le quadrant ③ : phase d'accélération en sens inverse.

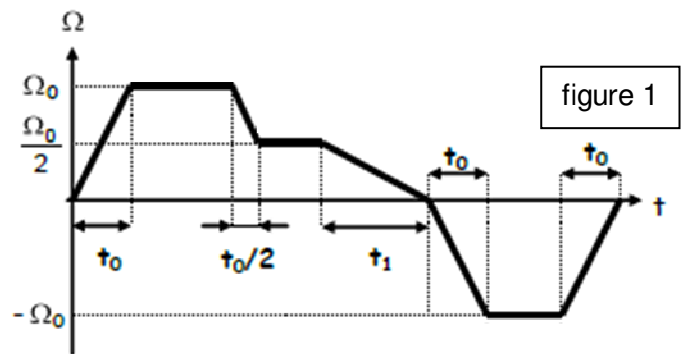
Le quadrant ② : phase de décélération en freinage rapide (plus rapide que le freinage naturel obtenu grâce à C_r à $C_m = 0$)



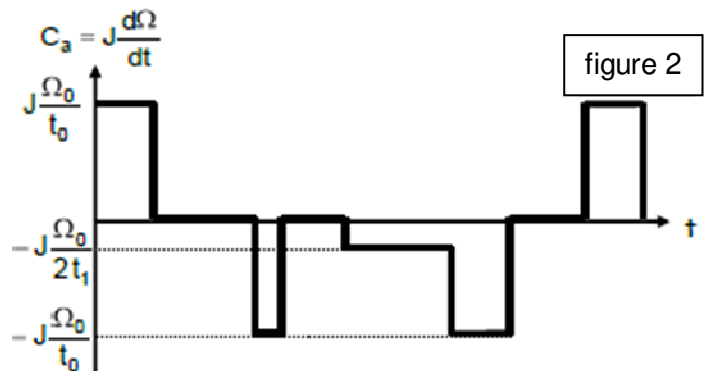
3.2 Exemples de fonctionnement

Mouvement horizontal d'une charge entraînée par un moteur à courant continu :

- Couple résistant C_r constant mais s'opposant au mouvement :
 - $C_r(t) = C_{r0}$ si $\Omega > 0$
 - $C_r(t) = -C_{r0}$ si $\Omega < 0$
- Profil de vitesse $\Omega(t)$ donné à la figure 1.

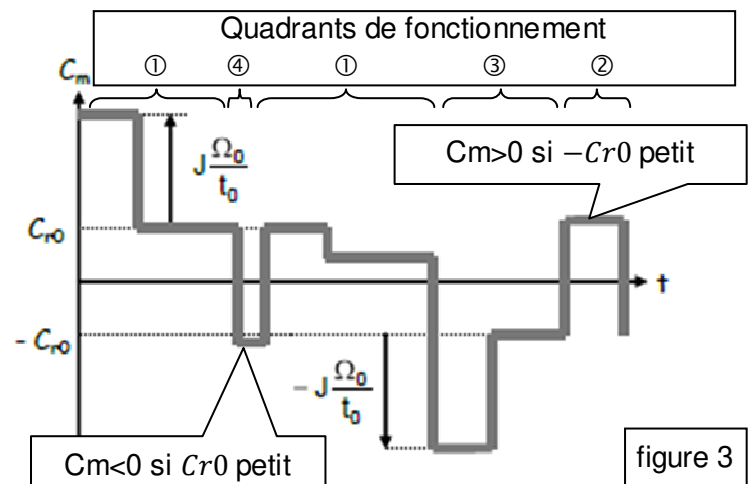


On en déduit l'allure du couple d'accélération $C_a(t)$ en fonction du temps (figure 2).



Le couple moteur $C_m(t)$ (figure 3) s'obtient par le théorème du moment dynamique :

$$C_m(t) = J \frac{d\Omega(t)}{dt} + C_r = C_a(t) + C_r$$



4 Procédés de pilotage d'un moteur à courant continu

Les moteurs à courant continu sont pilotés par leurs tensions d'alimentation (tension d'induit et éventuellement tension d'inducteur) grâce à des hacheurs appelés dans ce cas "**variateurs de vitesse**".

4.1 Expression de la vitesse

L'expression de la vitesse est obtenue à partir de :

- la relation donnant sa fem $E = K \cdot \Omega \cdot \phi$
- de la loi des mailles en convention récepteur en régime permanent $U = E + RI$

$$\Omega = \frac{U - R \cdot I}{K \cdot \phi}$$

Les paramètres agissant sur la vitesse du moteur sont donc :

- La tension d'alimentation de l'induit U ,
- Le flux d'excitation de la machine Φ (tension U_e).

Le terme $R \cdot I$ étant souvent petit devant U donc le courant I a une influence limitée sur la vitesse (léger ralentissement de Ω sous charge car $C_{em} = K \cdot \phi \cdot I$).

4.2 Réglage par la tension d'induit

La tension U n'affecte pas le couple électromagnétique $C_{em} = K \cdot \phi \cdot I$ et si on néglige l'influence du terme $R \cdot I$ devant U , on constate que la vitesse Ω est proportionnelle à la tension d'alimentation U de l'induit (vrai surtout lorsque le moteur est peu sollicité).

Le mode de réglage de la vitesse par la tension U est à COUPLE CONSTANT.

4.3 Réglage par le flux (défluxage)

Pour augmenter la vitesse Ω , il faut baisser le flux inducteur Φ en diminuant la tension U_e (moteur à excitation séparée).

L'expression du couple ($C_{em} = K \cdot \phi \cdot I$) montre qu'il baisse alors dans les mêmes proportions.

Le mode de réglage de la vitesse par la tension U_e est à PUISSANCE CONSTANTE.

4.4 Réglage du couple

La machine à courant continu reste commandée par la tension d'induit U (parfois U_e) mais la stratégie de pilotage est déterminée par le courant I (lorsque la charge est connue cela peut-être fait sans asservissement à l'aide d'une loi en trapèze de vitesse avec des accélérations adaptées).

Exemple : couple constant sur une charge variable

On mesure le courant de l'induit I . La commande élabore la valeur de la tension d'induit U nécessaire pour conserver I constant malgré la variation éventuelle de la vitesse Ω ou de sa consigne V_{ref} .

Structure d'un asservissement de vitesse d'un moteur à courant continu avec contrôle du courant :

