

INTRODUCTION

Les moteurs sont dimensionnés correctement s'ils sont actionnés au couple nominal T_n et à la vitesse nominale n_n leur permettant de développer, la puissance nominale P_n et d'absorber l'intensité nominale I_n .

Les charges ou machines entraînées sont des dispositifs mécaniques utilisés pour usiner ou forger des matériaux, par exemple les machines-outils, les presses, les centrifuges, etc., mais également des systèmes de transport comme les grues, les tapis transporteurs, et les mécanismes de roulement. En outre, les pompes et les ventilateurs peuvent être réunis en un seul groupe. La structure détaillée de la machine entraînée n'est pas habituellement prise en compte lors de la conception d'un moteur étant donné qu'on peut se limiter à préciser la courbe caractéristique de couple $T_r = f(n)$ ou $T_r = f(t)$, la vitesse en fonction du temps $n = f(t)$, l'accélération maximum et le moment d'inertie total, ramené à l'arbre d'entraînement.

En principe, les caractéristiques diffèrent énormément entre les fonctionnements à vide et à pleine charge. Donc, il est impératif de connaître le comportement du couple résistant T_r en fonction de la vitesse afin de dimensionner le moteur et de vérifier les cycles de démarrage et de freinage.

Chaque machine entraînée oppose un couple au moteur, qui est normalement fonction de la vitesse. Il agit normalement dans le sens contraire du mouvement à une exception près : le mouvement de descente dans les mécanismes de levage. Lorsque la vitesse change, le couple d'accélération, qui est déterminé par le moment d'inertie, vient s'ajouter à ce couple. La courbe caractéristique du couple de la charge étant connue dans la plupart des cas. On peut alors établir une classification des machines entraînées. Pour avoir un aperçu des différentes conceptions de machines, on doit les classer en fonction de leurs caractéristiques de couple ou de leurs courbes de puissances comme l'indique la figure ci-dessous.

Les caractéristiques d'une machine électrique sont fournies par son constructeur pour une utilisation continue permettant d'atteindre l'équilibre thermique (correspond au service type 1, comme un exemple). On peut établir une classification des machines entraînées suivant leurs couples comme suit:

- Couples résistants en fonction de la vitesse (mécanismes de levage, tapis transporteurs, moteurs d'alimentation, pompes centrifuges,.....).
- Couples résistants en fonction de l'angle (appareils à piston,.....).
- Couples résistants en fonction du parcours (téléphériques,.....).
- Couples résistants en fonction du temps (concasseurs de pierres, broyeurs à boules,....).

III.1 COUPLES DE CHARGE EN FONCTION DE LA VITESSE

D'après les principes physiques d'ingénierie des moteurs, la puissance mécanique P d'un moteur est fonction du couple T et de la vitesse n ou de la vitesse angulaire. Le couple résistant d'une machine entraînée par un moteur électrique peut s'apparenter à l'un des cas suivants :

a) Couple constant

La puissance demandée est directement proportionnelle à la vitesse. C'est le cas des machines-outils.

$$P = T * \Omega$$

$T \approx \text{const.} \Rightarrow P$ proportionnel à n .

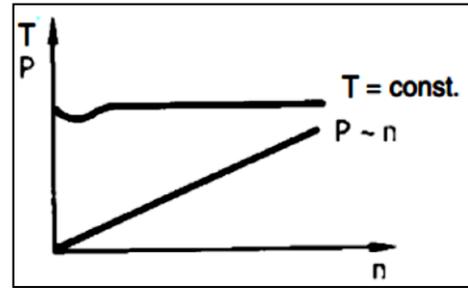


Figure 1.a

Voici des exemples de charges mécaniques à couple constant :

- mécanismes de levage, élévateurs, treuils .
- machines-outils à force de coupe constante .
- tapis transporteurs .
- pompes à pistons et compresseurs à pression constante .
- broyeurs à rouleaux .
- roulements, engrenages .

Le couple résistant moyen T_{rm} de ces applications correspond de façon approximative au couple nominal T_n de la charge. Par conséquent, la puissance P peut être proportionnellement réduite dans ces applications en diminuant la vitesse n . Réduire la vitesse de moitié signifie réduire la puissance de moitié.

b) Couple proportionnel à la vitesse

La puissance demandée est proportionnelle au carré de la vitesse. C'est le cas des machines à grande vitesse de fonctionnement.

$T \approx$ proportionnel à n , $\Rightarrow P$ proportionnel à n^2

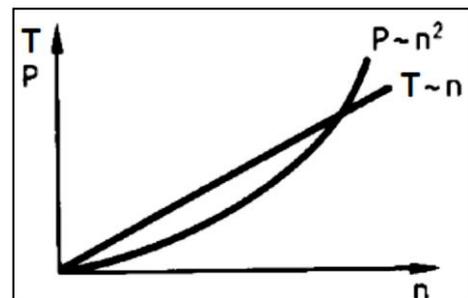


Figure 1.b

Exemples :

- extrudeuses
- satinage du papier
- freins à courant de Foucault

Le couple résistant moyen T_{rm} de ces applications correspond de façon approximative au couple nominal $T_n/2$. En réduisant la vitesse n , la puissance P diminue du carré de sa valeur. Si la vitesse n est réduite de moitié, la puissance P n'est égale qu'à un quart de sa valeur.

c) Couple parabolique

La puissance est proportionnelle au cube de la vitesse. C'est le cas des ventilateurs et des pompes centrifuges.

$T \approx$ proportionnel à $n^2 \Rightarrow P$ proportionnel à n^3

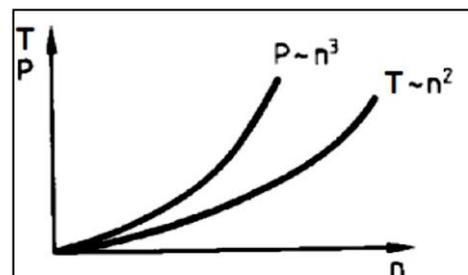


Figure 1.c

Voici quelques exemples :

- souffleries et ventilateurs de tous les types .
- machines à pistons avec refoulement dans un circuit de tubes ouvert .
- pompes centrifuges .
- agitateurs centrifuges .
- véhicules .

Le couple résistant moyen T_{rm} correspond approximativement à un tiers du couple nominal: $M_n/3$. Etant donné que le couple T augmente en raison du carré de la vitesse n , la puissance P est fonction du cube de la vitesse. La réduction de la vitesse de moitié, nécessite un huitième de la puissance.

Ce rapport est important, par exemple, dans les moteurs des pompes et des ventilateurs pour le chauffage et la ventilation. Au lieu de réduire le débit de refoulement avec un robinet-vanne ou un robinet à papillon, il vaut mieux régler la vitesse du moteur d'entraînement.

d) Couple hyperbolique

La puissance demandée par le récepteur est constante. C'est le cas des machines à enrouler, ou à dérouler, et des machines de bobinages.

$T \approx$ proportionnel à $1/n \Rightarrow P \approx \text{const.}$

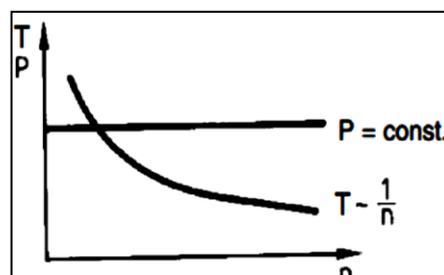


Figure 1.d

Le couple diminue à mesure que la vitesse augmente. Voici quelques exemples :

- décortiqueuses rotatives .
- bobineuse .
- enrouleuses .

Le couple résistant moyen T_{rm} ne peut être déterminé que sur un graphique.

Courbe caractéristique de couple ou de puissance pour les charges typiques en fonction de la vitesse

Le couple résistant moyen T_{rm} est important dans plusieurs cas. Il est possible de le déterminer en fonction du couple T_n , une fois l'accélération terminée.

III.1.1 Fonctionnement à quatre quadrants

Les deux paramètres définissent le fonctionnement des moteurs sont le couple et la vitesse. Le couple dépend de la charge qui peut être entraînée ou entraînant. Le signe de la vitesse dépend du sens de rotation du moteur. Lorsque le moteur entraîne une charge mécanique, il reçoit de l'énergie et la transforme en travail mécanique.

Lorsque l'application le permet, la charge peut restituer de l'énergie mécanique. Souvent l'énergie récupérée correspond à l'inertie des masses en mouvement. Lors de cette phase l'énergie est renvoyée au réseau électrique ou dissipée en chaleur dans un système de freinage rhéostatique par exemple, Figure (III-1).

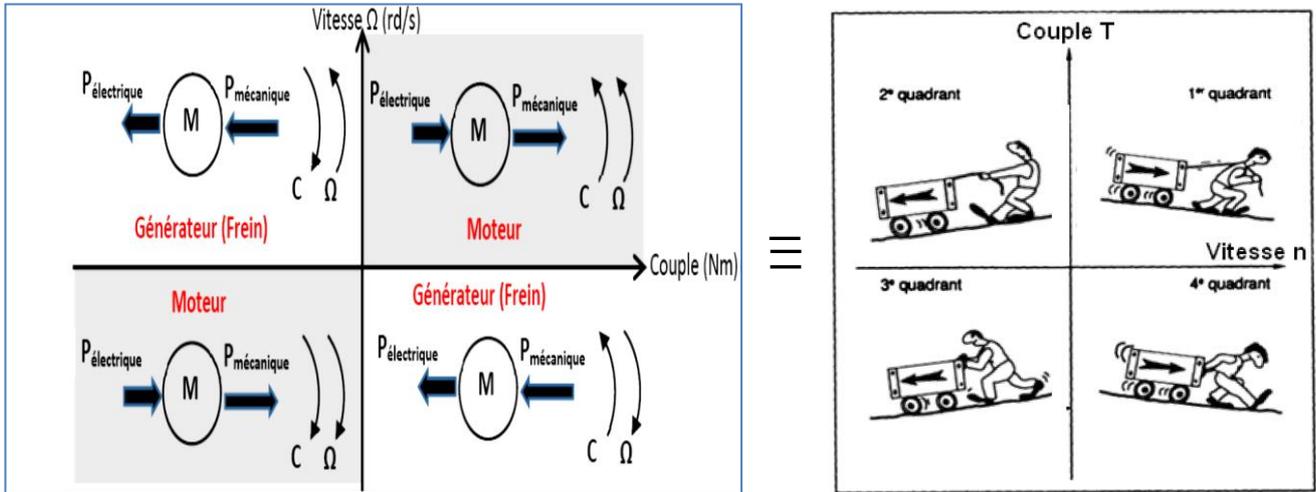


Figure III.1: Fonctionnement à quatre quadrants

Les variateurs de vitesses ont plusieurs fonctions parmi lesquelles Figure III.2:

- ❖ Le démarrage : le moteur passe de l'arrêt à la vitesse de consigne en un temps qui dépend de la constante du temps du système, en évitant les pics d'intensité excessifs.
- ❖ La variation de vitesse : la variation de la vitesse de rotation par accélération ou décélération en un temps donné.
- ❖ La régulation : la vitesse de rotation du moteur est maintenue fixe indépendamment des variations de la charge.
- ❖ Le freinage : le moteur passe d'une vitesse donnée à une vitesse inférieure ou à l'arrêt.
- ❖ L'inversion du sens de rotation : Le moteur peut tourner dans les deux sens de rotation.
- ❖ La récupération d'énergie : Lors du ralentissement ou du freinage le moteur peut transformer l'énergie mécanique en énergie électrique (mode générateur).

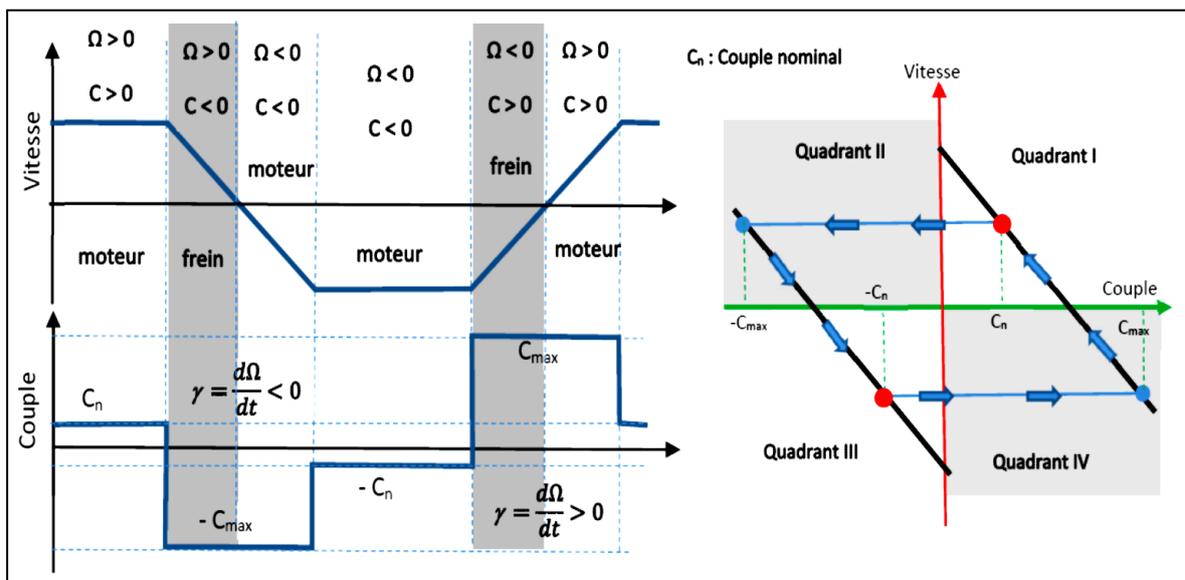


Figure III.2: Régimes de fonctionnement des moteurs électriques

III.2 COUPLES RESISTANTS EN FONCTION DU PARCOURS

Ce sont les couples typiques, des véhicules, par exemple, ou des moteurs de table, des téléphériques et des tapis transporteurs.

III.3 COUPLES RESISTANTS EN FONCTION DU TEMPS

Ces moteurs sont chargés de façon intermittente ou périodiquement. Voici quelques exemples :

- poinçons .
- appareils de levage .
- systèmes de transport .
- concasseurs de pierres .
- broyeurs à boules .

III.4 COUPLE INITIAL AU DECOLLEMENT

Un autre concept fondamental est le soi-disant couple initial au décollage ou statique qui est dû au frottement statique. Pour qu'un moteur puisse démarrer de façon fiable, il faut connaître cette valeur le plus précisément possible et le couple de démarrage T_d du moteur doit dépasser le couple résistant. En cas de grandes machines, il peut dépasser considérablement le couple nominal T_n .

Exemple: la vitesse d'un moteur à induction fonctionnant avec un variateur de vitesse peut être réglée librement entre 50% et 100%. Quel en est l'effet sur le débit d'une pompe à pistons ou d'une pompe centrifuge?

- ❖ Pompe à pistons: le couple nécessaire est presque indépendant de la vitesse comme l'indique la figure 1.a, c'est pourquoi le couple demeure presque constant. Le débit est donc proportionnel à la vitesse. A mi-vitesse, il chute, en conséquence, à une valeur égale à $p' \approx p \cdot 0,50 \approx p \cdot 50\%$.
- ❖ Pompe centrifuge: dans les pompes centrifuges, comme l'indique la figure 1.c, il existe un rapport du second degré entre le couple requis et la vitesse. C'est pourquoi la puissance varie de façon cubique. Par conséquent, à mi-vitesse la puissance est de $p' \approx p \cdot 0,53 \approx p \cdot 0,125 \approx p \cdot 12,5\%$. ce qui permet de réduire le débit à un huitième de la valeur d'origine.

Cet exemple démontre l'énorme influence du contrôle automatique de la vitesse sur la puissance d'une machine entraînée.