

# Chapitre 3 : Courbes de couples caractéristiques

## 3. Courbes de couples caractéristiques

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.

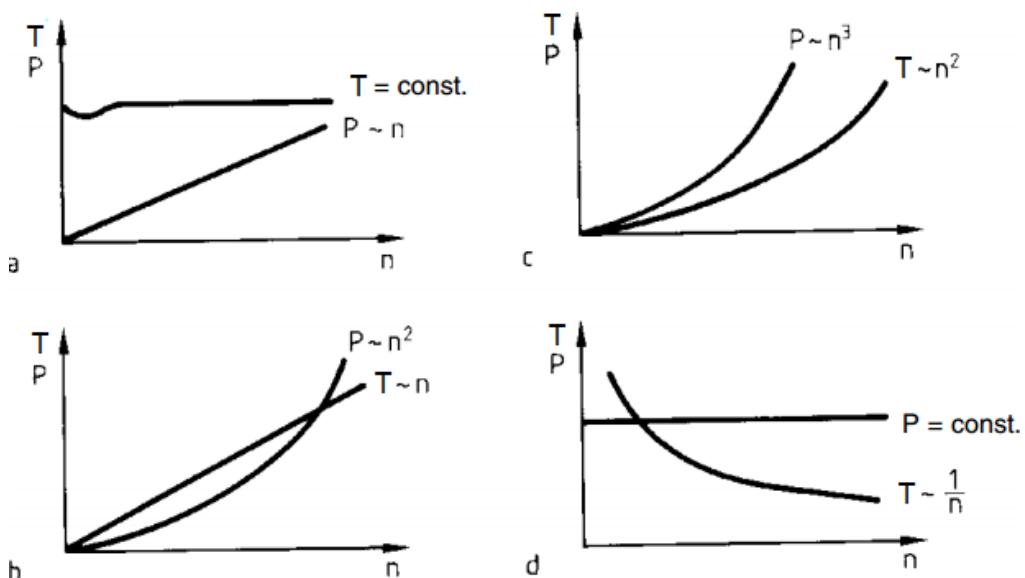


Figure 1. Courbe caractéristique de couple ou de puissance pour les charges typiques en fonction de la vitesse

- $T \approx \text{const.} \Rightarrow P \text{ proportionnel à } n$
- $T \approx \text{proportionnel à } n, \Rightarrow P \text{ proportionnel à } n^2$
- $T \approx \text{proportionnel à } n^2 \Rightarrow P \text{ proportionnel à } n^3$
- $M \approx \text{proportionnel à } 1/n \Rightarrow P \approx \text{const.}$

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.

### 3.1. Couples résistants en fonction de la vitesse

D'après les principes des moteurs, la puissance mécanique  $P$  d'un moteur est fonction du couple  $T$  et de la vitesse  $n$  ou de la vitesse angulaire  $\Omega$ .

#### 3.1.1. Cas où le couple reste constant

Le couple d'une machine entraînée résulte essentiellement du frottement mécanique qui reste constant dans une vaste plage de vitesses comme l'indique la figure 1.a. Dans ce cas, un frottement statique développé se présente lors du démarrage.

$$P = T \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot n = T \cdot \Omega$$

**En cas de couple constant  $T$ , la puissance  $P$  est proportionnelle à la vitesse  $n$**

$$P \sim n$$

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.

#### 3.1.2. Le couple augmente en fonction de la vitesse

Ce rapport peut, comme l'indique la figure 1, être représenté par le frottement proportionnel à la vitesse (frottement visqueux) au cours du laminage, du traitement de papier,...

**Lorsque le couple  $T$  augmente proportionnellement à la vitesse, la puissance  $P$  augmente comme le carré de la vitesse  $n$ :**

$$P \sim n^2$$

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.

Applications diverses:

- compresseurs à piston
- turbocompresseurs
- ventilateurs à pompes centrifuges
- broyeurs à marteau
- broyeurs à chocs

### **3.1.3. Le couple augmente comme le carré de la vitesse**

Ce rapport se présente, comme l'indique la figure surtout en cas de frottement de gaz ou de liquides.

**Lorsque le couple T augmente comme le carré de la vitesse la puissance P augmente comme le cube de la vitesse n.**

$$P \sim n^3$$

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:  $Mn/3$ . 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.

### **3.1.4. Le couple diminue de façon inversement proportionnelle à la vitesse**

**Si le couple T diminue de façon inversement proportionnelle à la vitesse n, la puissance P demeure constante.**

$$P \approx \text{const.}$$

Le couple diminue à mesure que la vitesse augmente, comme l'indique la figure 1. Voici quelques exemples :

- décortiqueuses rotatives
- bobineuse
- enrouleuses

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

### **3.2. Couples résistants en fonction de l'angle**

Ces courbes caractéristiques se présentent dans les appareils avec un mouvement réciproque, par exemple les moteurs de table aussi bien que dans les appareils à piston (compresseurs dans les thermopompes) à cause de la charge intermittente.

Le courant électrique que le moteur d'entraînement absorbe, suit le cycle du mouvement et peut créer dans la ligne une chute de tension fluctuant de façon rythmique. Il est de règle de tracer le soi-disant schéma de force de couple au moment de la conception de ces applications.

### ***3.3. Couples résistants en fonction du parcours***

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

### ***3.4. Couples résistants 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

### ***3.5. Couple initial au décollement***

Un autre concept fondamental est le soi-disant couple initial au décollement 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. À 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.