

INTRODUCTION

Un système industriel est un processus composé par l'ensemble des transformations, et les moyens de celles-ci, opérées sur les flux entrées / sorties. Ces transformations peuvent modifier la nature des objets traités. La conception d'un système industriel s'avère être une tâche délicate en génie électrique. Elle fait souvent appel à plusieurs disciplines (mécanique, électrique, magnétique, thermique) au sein d'un même système ou d'un même composant.

I.1. PRINCIPES GENERAUX SUR LES SYSTEMES INDUSTRIELS

Les systèmes industriels sont des outils de production. Il doivent pouvoir produire des biens de qualité requise à des cadences élevées. Pour des raisons économiques et techniques, ces systèmes sont souvent automatisés. Pour pouvoir intervenir efficacement sur ces outils de production, il est important de comprendre: La structure de l'ensemble, Les interactions que peuvent avoir entre eux les différents sous ensemble.

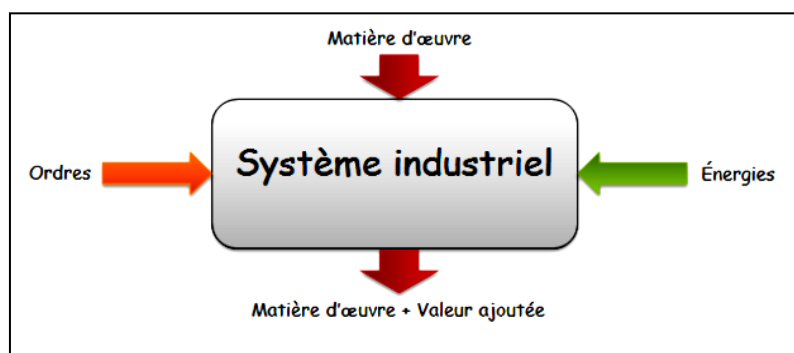


Figure. 01 :Fonction d'un système industriel

Un système industriel apporte une **valeur ajoutée** à une **matière d'œuvre**.

[1] **Matière d'œuvre** : Elle est constituée des éléments qui sont modifiés par l'intervention du système. Il existe trois grands types de matière d'œuvre :

- ✚ un produit ou une matière: liquide, solide, gazeux.
- ✚ une énergie : électrique, thermique, mécaniques, etc.
- ✚ une information : physique, audiovisuel, etc.

[2] **Matière d'œuvre + valeur ajoutée** : Il s'agit de la transformation par la chaîne de production de la matière d'œuvre (Perçage, assemblage, etc...). **La valeur ajoutée** est caractérisée par sa nature, sa quantité et sa qualité. Elle peut être soit:

- ✚ Une modification physique: conversion d'énergie, mécanique, etc.
- ✚ Un arrangement particulier: montage, assemblage, etc.
- ✚ Un prélèvement d'information : mesure, contrôle, etc.

[3] **Énergies** : Peuvent être de type électrique , Hydraulique (huile), Pneumatique (air).

[4] **Ordres** : Il s'agit des informations agissant sur le processus pour obtenir la transformation de la matière d'œuvre.

I.1.1 Composition d'un système industriel

Un système industriel est composé de deux parties :

- ❖ une **partie opérative**, qui effectue les actions nécessaires à la réalisation du processus de fabrication à partir des ordres de la partie commande;
- ❖ une **partie commande**, qui donne les ordres à la partie opérative selon les informations et les comptes rendus qu'elle reçoit.

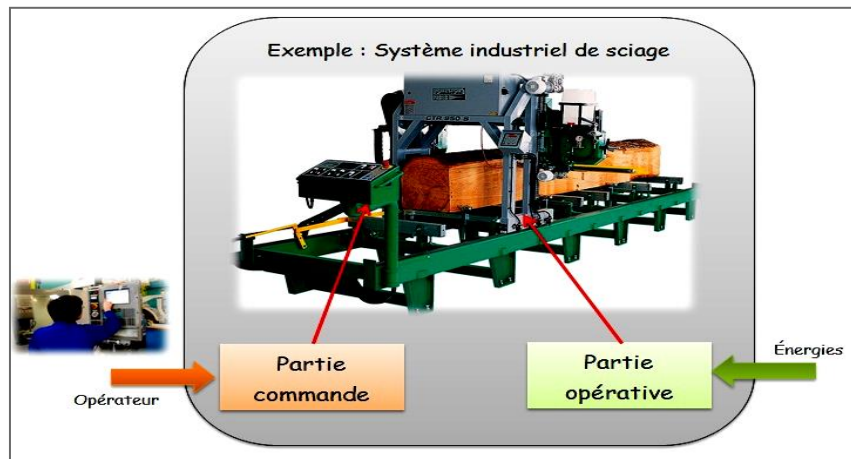


Figure. 02 :Exemple d'un système industriel

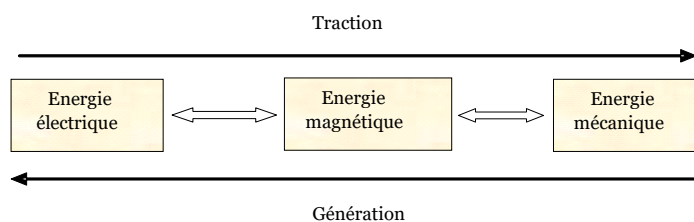
Bien que l'architecture d'un système industriel complexe fasse intervenir de nombreux sous-systèmes hétérogènes, il est intéressant de dégager les trois catégories principales suivantes de systèmes.

- **Les systèmes matériels** : il s'agit des systèmes industriels qui sont uniquement régis par des lois physiques. Un système matériel est donc un système qui transforme des variables continues ayant une interprétation physique en d'autres variables du même type. Une antenne, un système d'injection d'un moteur de voiture sont autant d'exemples de systèmes matériels.
- **Les systèmes informatiques** : il s'agit des systèmes à logiciel prépondérant dont les entrées sont essentiellement des variables discrètes et dont les sorties sont le résultat d'un traitement informatique de ces variables d'entrée. Les systèmes logiciels, les systèmes d'information, les systèmes de contrôle-commande entrent typiquement dans cette catégorie.
- **Les systèmes humains** : lorsqu'elles sont parties intégrantes d'un système industriel, les organisations humaines doivent également être considérées comme des systèmes à part entière dans la mesure où elles sont caractérisées par des processus et donc par des comportements de type "entrée/sortie" relativement normalisés (surtout dans des contextes industriels).

I.1.2. Système d'entraînements électriques

a) Connaissances de base

Un entraînement électrique (également appelé variateur de vitesse ou **Electric Drive en Anglais**) est un convertisseur d'énergie dont le rôle consiste à moduler l'énergie électrique fournie au moteur. Les entraînements électriques assurent une mise en vitesse et une décélération progressive, ils permettent une adaptation précise de la vitesse aux conditions d'exploitation. Les entraînements électriques suppriment ces inconvénients. La technologie de l'électronique de puissance leur a donné plus de souplesse et a étendu leur champ d'application. La transformation d'énergie est contrôlée généralement par un convertisseur électronique (redresseur, gradateur, onduleur ou hacheur selon l'entraînement ou l'application).



b) Commande d'une machine électrique

La réalisation de la commande d'une machine électrique est décrite par le diagramme structurel suivant :

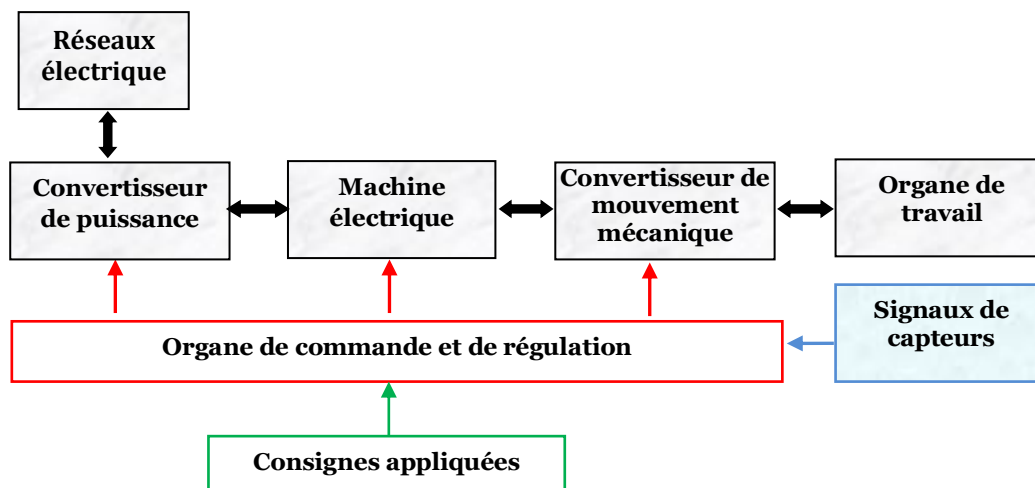


Figure. 03 : Diagramme de Commande

En effet, la commande d'une machine électrique permet :

- ❖ De régler de façon précise et optimale les procédés de production.
- ❖ D'assurer des démarrages et des freinages fréquents d'équipements de précision.

D'un autre côté, plusieurs exigences sont imposées aux machines électriques commandées, parmi lesquels on distingue :

1. Caractéristiques recherchées :

- ❖ La puissance ;
- ❖ La vitesse maximale et la plage de réglage de vitesse ;
- ❖ Le couple résistant en fonction de la vitesse ;
- ❖ La limitation du courant.

2. Exemples des conditions d'utilisation :

- ❖ Les conditions de démarrage ;
- ❖ Les conditions de freinage et de réversibilité ;
- ❖ Les conditions imposées par le réseau ;
- ❖ L'encombrement ;
- ❖ Le coût d'investissement et d'exploitation.

C) Composants d'un entraînement électrique

Les composants d'un entraînement électrique sont principalement les suivants :

- ❖ La transmission, qui permet d'adapter le mouvement (conversion tournante-linéaire, par exemple) la vitesse, la résolution ou la dynamique du système.
- ❖ Le moteur, défini par ses caractéristiques externes et de réglage.
- ❖ L'alimentation, qui permet d'adapter la source électrique primaire au moteur.
- ❖ La commande et le réglage qui assurent le contrôle du comportement dynamique du système (positionnement, vitesse, courant, couple, etc.). Le ou les capteurs qui fournissent les informations nécessaires au contrôle ;

les éléments de sécurité et de protection tels que protection thermique, protections de surintensité de surintensité, etc .

d) Systèmes d'entraînement électriques dans l'industrie

Les entraînements électriques font partie intégrante des machines modernes et de la construction d'installation et se trouvent dans les domaines suivants :

- ❖ Convoyage (convoyeurs à bande, convoyeurs à rouleaux, etc.) ;
- ❖ Levage (transstockeurs, grues, tables de levage, convoyeurs verticaux, etc.) ;
- ❖ Systèmes de manipulation et robots
- ❖ Lignes d'embouteillage ;
- ❖ etc.

Un dimensionnement précis, un choix judicieux du concept de motorisation et l'utilisation d'entraînements économes en énergie sont des conditions préliminaires essentielles pour aboutir à des solutions énergétiquement avantageuses en matière d'entraînements électriques.

Pour utiliser rationnellement l'énergie électrique, il est très important d'analyser le problème de l'entraînement dans son ensemble, en tenant compte du rendement de chaque élément, que ce soit à pleine charge ou à charge partielle, car les rendements à charge partielle sont toujours plus faibles (peu ou beaucoup) que ceux à pleine charge, quel que soit l'élément considéré.

I.2. CRITERES DE CHOIX D'UN MOTEUR ELECTRIQUE

I.2.1 Aspects de l'alimentation électrique :

Le réseau de distribution électrique alimentant le moteur doit fournir la tension appropriée et avoir une puissance suffisante pour démarrer et faire fonctionner la charge du moteur. Le Tableau. 1 présente une comparaison des tensions nominales de réseau que l'on pourra retrouver sur une plaque signalétique classique de moteur. La limite de la tension d'alimentation du réseau électrique est fonction du courant exigé par le moteur pour fonctionner.

Le **tableau (Tableau. 1)** ci-après illustre la relation entre la tension inscrite sur la plaque signalétique d'un moteur et la tension d'alimentation appropriée pour ce moteur.

Tension nominale du réseau	Tension de la plaque signalétique du moteur
120 – 1 phase	115
208/120 – 3 phases	200
240 – 1 phase or 3 phases	230
480/277 – 3 phases	460
600/347 – 3 phases	575
2400 – 3 phases	2300
4160/2400 – 3 phases	4000

- ❖ **Monophasé** : Les moteurs monophasés sont spécifiés pour une tension de 120/240 volts à 60 Hz.
- ❖ **Triphasé** Les moteurs triphasés de puissance inférieure à 100 HP sont disponibles pour des tensions de 200, 240/460, 460 ou 600 volts à 60 Hz. Les moteurs de 125 HP et plus acceptent des tensions de 460, 600, 2400 ou 4160 volts à 60 Hz.

Dans le choix d'un moteur pour une application particulière, on devra tenir compte des facteurs suivants :

- Exigences mécaniques de la charge à entraîner.
- Choix de la classe de moteur.
- Réseau de distribution électrique.
- Aspects physiques et environnementaux.

Le choix final se portera sur un moteur qui est disponible chez un fabricant et qui répond aux spécifications prescrites ou les dépasse. **Par exemple**, les moteurs à induction triphasés sont prévus pour fonctionner de façon satisfaisante sous des variations de tension de $\pm 10\%$. Le Tableau. 2 montre les effets d'une variation de tension de 10 % sur un moteur à induction type de classe B à pleine charge.

Caractéristique	Tension	
	110 %	90 %
Glissement	- 17 %	+ 23 %
Rendement	+ 1 %	- 2 %
Facteur de puissance	- 3 %	+ 1 %
Intensité du courant	- 7 %	+ 11 %
Température °C	- 4 %	+ 7 %
Couple de démarrage	+ 21 %	- 19 %
Courant de démarrage	+ 10 %	- 10 %

Tableau. 2 : Caractéristiques d'un moteur en fonction de la tension

Pour qu'un moteur fonctionne adéquatement, le déséquilibre des tensions de phase doit être inférieur à 1 %. Un déséquilibre de tension de 3,5 % occasionne une augmentation de température de 25 % et un accroissement de courant de l'ordre de 6 à 10 fois la valeur du déséquilibre de tension. Ces effets sont attribuables à la circulation des courants inverses dans le moteur. Le déséquilibre de tension se calcule comme suit :

$$\text{Déséquilibre de } V = \frac{\text{Ecart maximale par rapport à la moyenne}}{\text{Tension moyenne } V} * 100$$

À titre d'exemple, si des tensions de ligne ont été mesurées à 600, 585, et 609 volts, la moyenne est de 598 volts. L'écart maximal par rapport à la moyenne est de 13 volts (598-585) et le déséquilibre de tension est donc de $(13/598) \times 100 = 2,2 \%$.

Si un moteur doit fonctionner avec un déséquilibre de phases supérieur à 1 %, il devra être déclassé conformément au graphique suivant (Figure I.4).

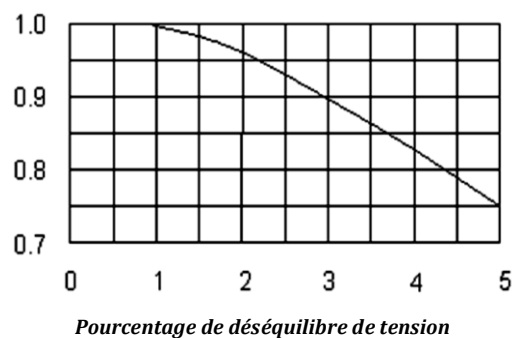


Figure I.4: 3 phases à cage d'écureuil moteurs à induction facteur de déclassement dû à la tension asymétrique

On ne devrait pas faire fonctionner un moteur si le déséquilibre de phases est supérieur à 5 %.

Facteur de puissance

Pour créer leurs champs électromagnétiques, la plupart des moteurs c.a. doivent absorber une puissance réactive du réseau électrique. La puissance réactive, qui se mesure en kVA, ne produit aucun travail mécanique.

La puissance mécanique utile est produite par la puissance active fournie par le réseau d'alimentation et se mesure en kilowatts (kW). Le réseau de distribution fournit à la fois la puissance

réelle (ou puissance active) et la puissance réactive pour faire tourner le moteur. La somme vectorielle de la puissance active et de la puissance réactive se nomme puissance apparente et s'exprime en kVA.

$$\text{Puissance apparente} = \sqrt{(\text{puissance active})^2 + (\text{puissance réactive})^2}$$

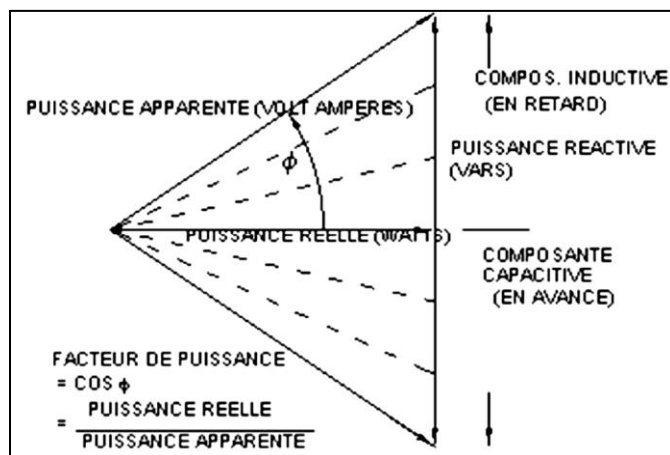


Figure I.5 : Triangle du facteur de puissance

I.2.2 Considérations à propos des moteurs

Pour qu'un moteur puisse entraîner une charge de façon appropriée, il faut qu'il produise un couple suffisant pour accélérer cette charge depuis l'arrêt jusqu'à la vitesse de fonctionnement, et qu'il fournisse une puissance répondant à toutes les demandes éventuelles sans dépasser ses limites théoriques.

Exemple : une machine à mouler les plastiques par injection :

Pour ce type de charge, la puissance du moteur est déterminée à partir de la moyenne quadratique ou valeur efficace (RMS) de la puissance. La puissance efficace (HP_{RMS}) est calculée par la formule suivante :

$$HP_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum HP^2 t}{\sum t}}$$

La puissance efficace est la racine carrée de la somme des puissances élevées au carré, multipliées par l'intervalle de temps correspondant et divisées par la somme des intervalles de temps.

Considérons par exemple la courbe puissance-temps ci-après Figure I.6).

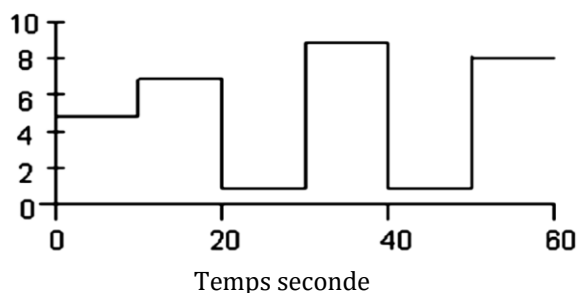


Figure I.6 : Courbe de régime d'utilisation périodique

Dans ce cas, l'intervalle de temps et la charge sont :

Tableau I.3 : Exemple de régime d'utilisation périodique

Temps (s)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Charge (HP)	5	7	1	9	1	8
HP ² t	250	490	10	810	10	640

La puissance efficace se calcule comme suit :

$$HP_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum 250 + 490 + 10 + 810 + 10 + 640}{\sum 10 + 10 + 10 + 10 + 10 + 10}} = 6,07$$

Des moteurs de 6,07 HP, par exemple, n'existant pas sur le marché, le choix approprié sera celui d'un moteur de la puissance assignée supérieure la plus proche, soit de 7,5 HP.

I.2.3 Vitesse

- ❖ Vitesse constante (Exemple : ventilateur).
- ❖ À plusieurs vitesses (Exemple : ventilateur de chaudière).

I.2.4 Démarrage et arrêt

- ✚ **Fréquence des démarrages et arrêts.** Dans le cas de démarrages fréquents, s'assurer que la température des enroulements et du circuit magnétique n'est pas supérieure aux caractéristiques assignées du moteur.
- ✚ **Exigences en matière de couple de démarrage.** Prêter spécialement attention aux charges ayant une inertie élevée afin de s'assurer que le couple de démarrage du moteur est approprié.
- ✚ **Limites d'accélération.** S'assurer que le moteur entraînant la charge atteint sa pleine vitesse assez rapidement pour ne pas faire déclencher la protection de surcharge. À l'inverse, certaines charges vont demander un certain temps avant d'atteindre leur pleine vitesse : **par exemple** un convoyeur à bande. Dans ce cas, un entraînement à vitesse variable serait justifié car il permettrait en outre de limiter le courant lors de la mise en marche.

I.2.5 Moteurs sur mesure

Les gammes de moteurs "standards" des fabricants offrent des modèles qui conviennent bien à la plupart des applications. Les moteurs standards sont moins coûteux, leur technique est éprouvée et leurs délais de livraison sont plus courts. Il est toutefois possible, là où un moteur standard ne peut convenir, de commander des moteurs avec d'innombrables variantes qui s'adaptent à certaines applications. Chaque fabricant de moteurs est en mesure de fournir des informations sur les délais d'approvisionnement et les prix des moteurs spéciaux.

I.2.6 Caractéristiques physiques

- ✚ Enveloppe : L'enveloppe du moteur devra être choisie de manière à le protéger dans les conditions d'environnement auquel il est destiné.

✚ Considérations en matière de montage et de base de fixation ; Les moteurs sont généralement montés à l'horizontale, leurs pattes étant attachées au sol; mais d'autres dispositions sont également assez courantes :

- montage au mur ;
- montage au plafond ;
- montage sur socle ;
- montage frontal (sur flasque) ;
- montage sur bride.

Le diamètre et la longueur de l'arbre peuvent faire l'objet d'une demande spéciale au cas où les types ou matériaux des arbres standards ne conviennent pas pour la disposition de montage envisagée ou pour la configuration de la machine.

✚ Isolation :

Le type d'isolation utilisé dans un moteur dépend de la température à laquelle le moteur va fonctionner. Les moteurs sont spécifiés en fonction de la température ambiante et de leur classe d'isolation.

- La classe A est une catégorie plus ancienne qui est maintenant périmée. La classe B est la norme courante.
- Les classes F et H sont utilisées dans les applications où règne une température élevée et sont souvent disponibles en modèle "standard" chez de nombreux fabricants de moteurs.

La durée de vie moyenne de l'isolation diminue rapidement avec l'augmentation de la température. La durée de vie utile de l'isolation d'un moteur fonctionnant à basse température sera beaucoup plus longue.

Classe	Moteurs c.a. avec facteur de surcharge 1,00 Gamme de températures totales maximales (y compris la température ambiante et l'écart de température de +110 °C pour point chaud)	Moteurs c.c. Température totale limite
A	105 °C	110 °C
B	130 °C	140 °C
F	155 °C	170 °C
H	180 °C	195 °C

Tableau I.4: Classes d'isolation

Le Tableau I.4, présente les températures maximales admissibles des enroulements du stator pour une durée de vie de fonctionnement de 20 000 h et une température ambiante maximale de 40 °C.

I.2.7 Eléments de choix du moteur

Il y a des éléments qui ont une influence importante sur le choix du moteur électrique :

- *Déterminer l'indice de protection* : il sert par exemple à définir le niveau d'étanchéité de la carcasse si le moteur est implanté en milieu humide ou bien encore contre la poussière si le moteur se situe dans un milieu sale.
- *Déterminer la classe des isolants* : elle permet au moteur d'entraîner une charge plus importante malgré une température des enroulements élevée.

I.2.8 Indications sur le moteur choisi

Il faut que le moteur choisi indique :

- - Les côtes d'encombrement : elles servent à avoir les dimensions du moteur (la carcasse), cela permet d'effectuer un choix de l'emplacement du moteur, il faut que le local qui l'accueille ne soit pas trop petit pour des problèmes de refroidissement, par exemple.
- - Les côtes de fixation : elles permettent de connaître les dimensions des pattes de fixation du moteur.
- - Les grandeurs mécanique et électrique : elles régissent les différents choix de couplages, de tension/courant, de la fréquence réseau etc... pour faire fonctionner le moteur dans de bonnes conditions.

I.3. PRINCIPALES GRANDEURS A PRENDRE EN COMPTE POUR LE CHOIX D'UN MOTEUR DEL'ENTRAINEMENT

I.3.1 Point de fonctionnement d'un système mécanique

Dans la plupart des applications qui nous concernent, les systèmes mécaniques sont mis en mouvement par des dispositifs rotatifs comme par exemple des **moteurs électriques**. Ces moteurs fournissent une **puissance** qui se caractérise par un **couple** et une **vitesse**. Les mécanismes entraînés ont eux même des caractéristiques de couple résistant pouvant varier en fonction de leur vitesse de rotation.

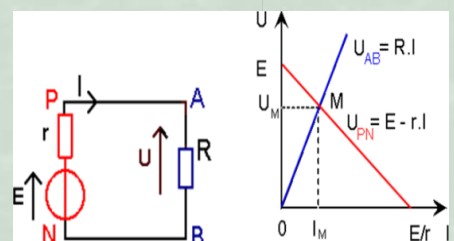
En fonctionnement moteur : C'est le point où le couple "tension, courant" permet le fonctionnement de la machine pour un couple "fréquence de rotation, couple" donné.

En fonctionnement générateur : C'est le point où le couple "fréquence de rotation, couple" permet le fonctionnement de la machine pour un couple "tension, courant" donné.

I.3.2 Point de fonctionnement d'un circuit électrique

Lorsqu'on alimente un **récepteur** électrique avec un **générateur**, le courant se stabilise après fermeture du circuit et un équilibre se crée entre le générateur et le récepteur. Le point de fonctionnement correspond à l'**équilibre** de la **tension** et du **courant** de ces deux éléments.

Quand un **générateur** débite dans une **charge**, leurs bornes sont communes et ils sont traversés par le **même courant**. Ils ont donc le **même point de fonctionnement** : même tension aux bornes, même intensité. Les coordonnées (U_M , I_M) du point de fonctionnement sont celles de l'intersection M des caractéristiques du générateur et de la charge.



I.3.3 Critères de choix électriques

Nature du réseau

- Alternatif monophasé, triphasé avec ou sans neutre, multiphasé,... ;
- Continu ;

Caractéristiques

- Tension .
- Fréquence.
- Puissance ;

Lorsqu'un moteur est alimenté par un réseau à tension et fréquence constantes, sa puissance mécanique (utile) peut être calculée à partir de la vitesse et du couple avec la formule suivante :

$$P_n (w) = C(Nm) * \Omega(rad / s)$$

La puissance moteur étant souvent exprimée en kilowatts (1 kW = 1000 W) et la vitesse en tr/min (tours/minute, 1 tr/min = $2\pi/60$ rad/s), la formule suivante peut être utilisée :

$$P_n (KW) = \frac{C(Nm) * n(tr / min)}{9550}$$

La puissance absorbée par le moteur peut être calculée à partir de la tension, du courant et du facteur de puissance :

$$P_{abs} = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$$

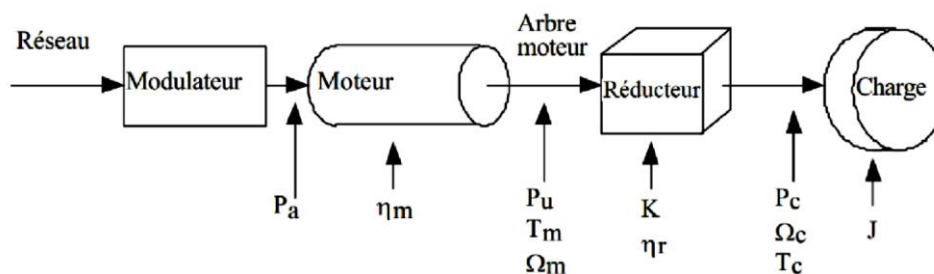
Rendement

Le rendement du moteur correspond à la puissance utile divisée par la puissance absorbée :

$$\eta = \frac{P_u}{P_{abs}}$$

I.3.4 Critères de choix mécaniques

Le choix d'un convertisseur dépend essentiellement du type de charge : couple, vitesse, accélération, cycle de fonctionnement.



P_a , Puissance absorbée par le moteur en W ou kW;

η_m , Rendement du moteur ($\eta_m = P_u / P_a$);

P_u , Puissance utile fournie par le moteur sur l'arbre en W ou kW ($P_u = T_m * \Omega_m$);

T_m , Couple utile sur l'arbre moteur ou couple résistant opposé par la charge en Nm;

Ω_m , Vitesse de rotation de l'arbre moteur en rad/s;

K, Rapport de réduction (transmission) du réducteur ($K = \Omega_r / \Omega_m$);

η_r , Rendement du réducteur ($\eta_r = P_c / P_u$);

P_c : Puissance demandée par la charge en W ou kW;

Ω_c , Vitesse de rotation de la charge en rad/s;

T_c : Couple résistant de la charge en Nm;

J: Moment d'inertie de la charge en kg/m²;

I.3.5 les associations moteurs/charges mécaniques

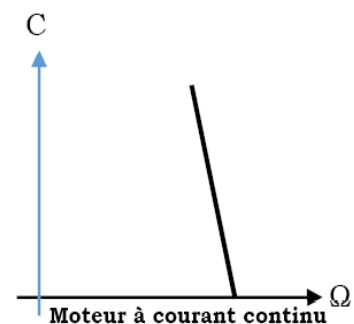
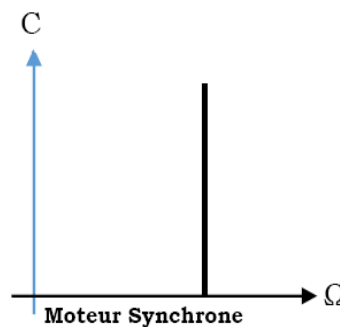
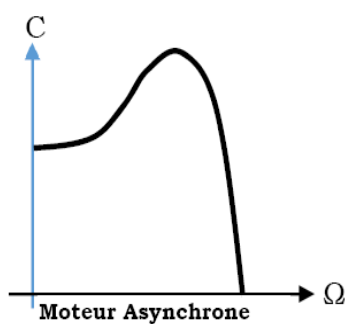
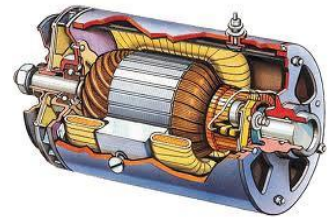
1. Qu'est-ce que la caractéristique mécanique d'un moteur

Tout moteur électrique (et de manière équivalente pour les moteurs à combustion) est caractérisé, dans des conditions électriques données (U, f), par sa caractéristique mécanique : $T_u = f(n)$. Celle-ci retrace l'évolution du moment du couple moteur en fonction de sa fréquence de rotation.

C'est la caractéristique la plus importante de la machine puisqu'elle donne l'ensemble des points de fonctionnement ($T_u ; \Omega$) possibles. Elle permet en outre d'apprécier si une machine est adaptée ou non à la charge mécanique à entraîner.

2. Quelles sont les caractéristiques des moteurs les plus répandus ?

Les moteurs les plus répandus sont le moteur à courant continu (MCC), le moteur asynchrone (MAS) et le moteur synchrone (MS), avec ($C = T_m$). Ils ont les caractéristiques mécaniques respectives suivantes :



3. Quelles sont les différents types de charges ?

Une charge mécanique est caractérisée également par sa caractéristique mécanique moment du couple résistant en fonction de la vitesse : $T_r = f(\Omega)$. Les charges que l'on rencontre le plus sont :

a. Caractéristique constante (de levage)

Le couple résistant T_r est plus fort au décollage.

$$T_r = cte$$

Exemples:

- ❖ Bande transporteuse horizontale,
- ❖ Levage,
- ❖ Broyeur.



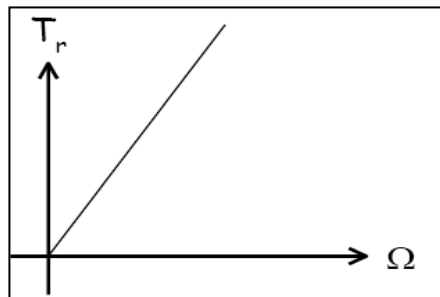
b. Caractéristique linéaire

Le couple résistant T_r est assez faible au décollage. Il croît avec la vitesse d'une façon linéaire.

$$T_r = K * \Omega$$

Exemples:

- ❖ pompes hydrauliques.
- ❖ Mélangeur.



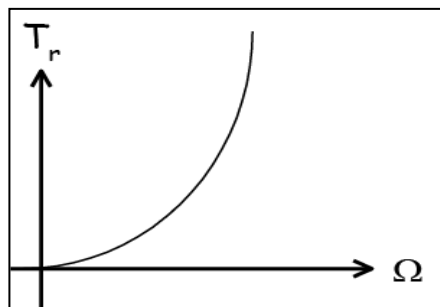
c. Caractéristique quadratique (de ventilation)

les charges à couple proportionnel au carré de la vitesse :

$$T_r = K * \Omega^2$$

Exemples:

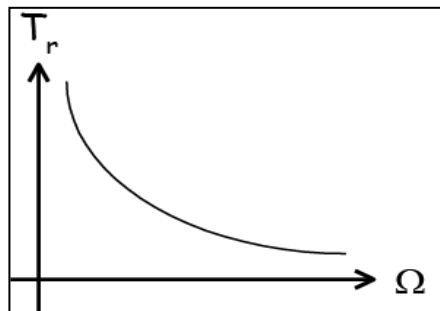
- ❖ Pompe centrifuge,
- ❖ Ventilateur.



d. Caractéristique hyperbolique (d'essorage)

les charges à puissance constante $P = T_r \Omega = cte$, ce qui donne une relation du type $T_r = K / \Omega$ et donc une courbe hyperbolique.

C'est le cas de l'essorage.



4. **Comment évolue la vitesse pendant le régime transitoire ?**

La vitesse est régie par la relation fondamentale de la dynamique :

$$T_u - T_r = J \frac{d\Omega}{dt}$$

Avec :

- ❖ J : moment d'inertie sur l'arbre du moteur ;
- ❖ $\frac{d\Omega}{dt}$ accélération angulaire.

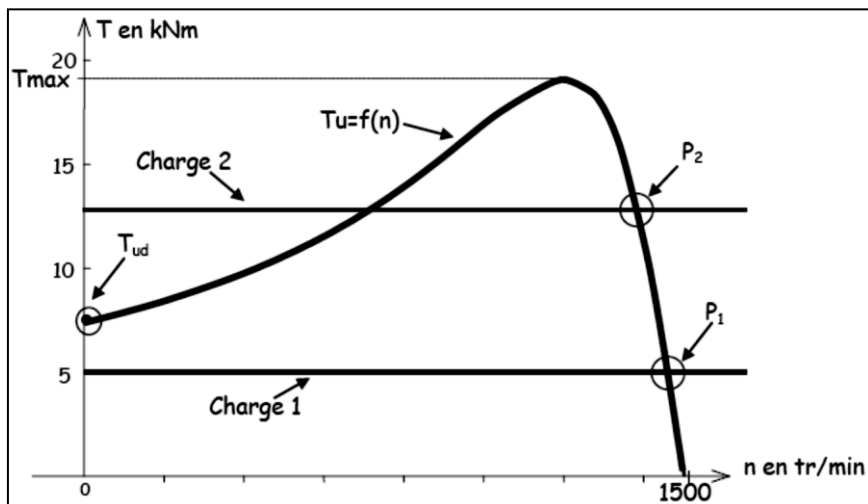
Comme le moment d'inertie est positif (et reste constant tant que l'on ne change pas de charge ou de moteur) alors :

- ⇒ Si $T_u > T_r$, $d\Omega/dt > 0$: le moteur accélère, la vitesse augmente.
- ⇒ Si $T_u < T_r$, $d\Omega/dt < 0$: le moteur décélère, la vitesse diminue.
- ⇒ si $T_u = T_r$, $d\Omega/dt = 0$: le moteur tourne à vitesse constante.

5. Quelle est la condition pour qu'un moteur puisse démarrer ?

Au démarrage, il faut que $T_u > T_r$, sinon le moteur n'accélère pas et ne pourra donc pas démarrer.

Exemple d'un moteur asynchrone entraînant une charge à couple résistant constant :



⇒ Pour l'entraînement de la charge 1, le couple utile au démarrage (T_{ud}) est supérieur au couple résistant de la charge. Le moteur démarrera et accélèrera jusqu'à atteindre le point de fonctionnement P_1 .

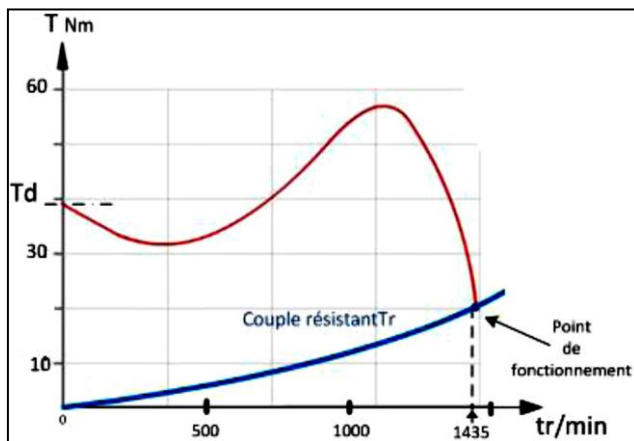
⇒ Pour l'entraînement de la charge 2, $T_{ud} < T_r$, le moteur ne démarrera pas. Le point de fonctionnement P_2 est théoriquement possible mais ne peut pas être atteint dans ces conditions. Pour l'atteindre, il faut charger après démarrage ou intervenir sur les grandeurs électriques pour obtenir un T_{ud} plus important.

6. Fonctionnement stable du moteur

Le point de fonctionnement stable de la machine est le point où les couples moteur et résistant sont égaux (intersection des caractéristiques mécanique du moteur et de la charge).

Remarque :

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



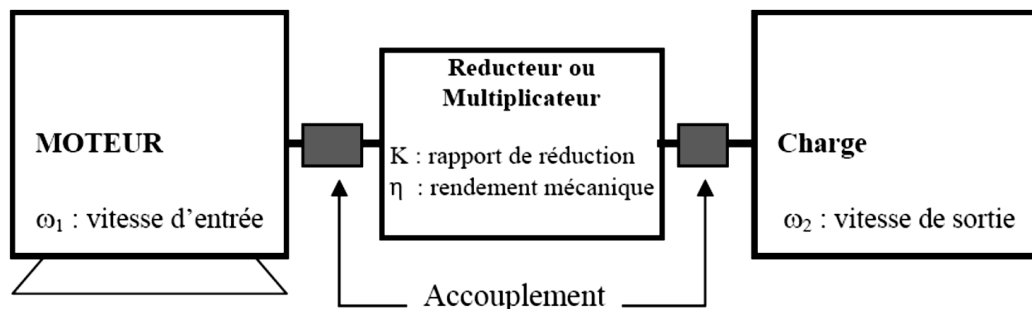
Régime établi (Point de fonctionnement)

En régime établi la vitesse est constante. Donc le couple d'accélération n'existe plus.

$$\text{Si } \Omega = \text{cte} \Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} = 0 \Rightarrow T_u = T_r,$$

I.3.6 réducteur/multiplication

Les réducteurs/multiplicateurs sont des éléments typiques des systèmes d'entraînement. Pour calculer le couple moteur et la plage de vitesse, les réducteurs doivent être pris en compte.



MOTEUR :

ω₁ : Vitesse en rd.s⁻¹

C₁ : Couple en Nm

P₁ : Puissance en watts

W₁ : Energie cinétique en joules

J₁ : Inertie en m².kg

Charge

ω₂ : Vitesse en rd.s⁻¹

C₂ : Couple en Nm

P₂ : Puissance en watts

W₂ : Energie cinétique en joules

J₂ : Inertie en m².kg

Aspet cinématique

Lorsque l'on a $\frac{\omega_2}{\omega_1} < 1$, on parle de réducteur. Lorsque l'on a $\frac{\omega_2}{\omega_1} > 1$, on parle de multiplicateur.

On appelle rapport de transmission ou rapport de réduction le rapport : $\frac{\omega_1}{\omega_2}$

Le rapport de multiplication est l'inverse du rapport de transmission $\frac{\omega_2}{\omega_1}$.

Exercice 01:

Soit un moteur de puissance nominale de 15 kW et de vitesse nominale de 1480 tr/min. Quel est son couple nominal?

Solution 01:

Le couple nominal du moteur est calculé comme suit:

$$C_n = \frac{9550 * 15}{1480} \text{ Nm} = 96,8 \text{ Nm}$$

Exercice 02:

Quel est le rendement nominal d'un moteur de 37 Kw, (P_n = 37 kW, U_n = 380 V, I_n = 71 A et cos(φ_n) = 0,85)?

Solution 02:

Le rendement nominal est:

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_{abs}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * I_n * \cos(\phi_n)} = \frac{37000}{\sqrt{3} * 380 * 71 * 0,85} \approx 0,931$$