

## FUNCTION

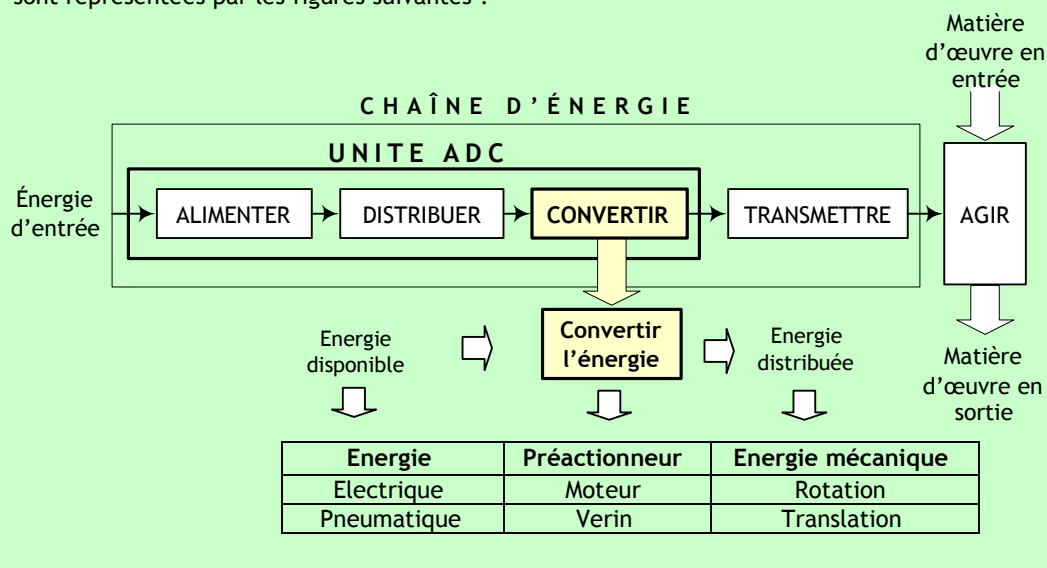
## UNITE ADC

# CONVERTIR

### PRESENTATION

Dans un système automatisé, souvent la finalité de l'action sur la matière d'œuvre est de nature mécanique. Puisque l'énergie souvent disponible est électrique et moins encore pneumatique, alors il faut convertir cette énergie disponible en énergie mécanique ; d'où l'utilisation des actionneurs qui assurent cette fonction de conversion.

La position d'une telle fonction dans une chaîne d'énergie, ainsi que sa fonction globale sont représentées par les figures suivantes :



### COMPETENCES ATTENDUES

A partir de tout ou partie d'un produit support avec son cahier des charges et son dossier technique :

- Enoncer le principe de fonctionnement d'un convertisseur
- Mettre en œuvre un convertisseur

### CHAPITRES INCLUS DANS LA FONCTION CONVERTIR

- Convertisseur électromécanique
- Convertisseur pneumatique
- Autres types de convertisseur

# CONVERTISSEUR ELECTROMECHANIQUE

## INTRODUCTION :

C'est un convertisseur permettant de convertir l'énergie électrique (courant continu) en rotation mécanique. C'est le moteur le plus simple à mettre en œuvre. Il trouve son utilisation, entre autres dans :

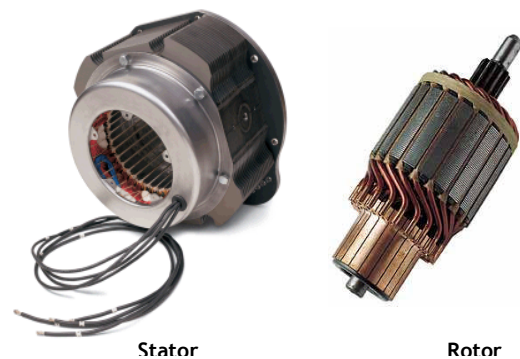
- L'électronique de faible signaux (radio, video, entraînement en rotation de la parabole, etc.) ;
- La traction électrique.



## 1. ORGANISATION DE LA MACHINE :

Dans l'organisation d'une machine à courant continu, on peut distinguer les principaux éléments suivants :

- les pôles inducteurs avec leurs enroulements ou leurs aimants, placés généralement sur le stator (partie fixe)
- l'induit, dont les différentes voies d'enroulements sont connectées au collecteur, l'ensemble étant généralement placé sur le rotor (partie tournante)
- les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous ensembles.



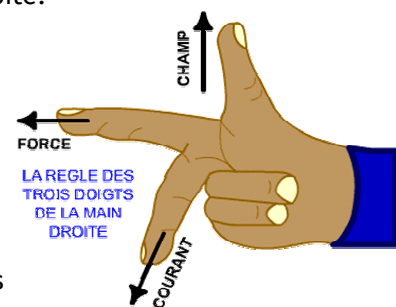
## 2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

### 2.1. Loi de Laplace :

Un conducteur traversé par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force dont le sens est déterminé par la règle des trois doigts de la main droite.

$$F = B \times I \times L$$

- F : Force en Newtons  
 B : Induction magnétique en teslas  
 I : Intensité dans le conducteur en ampères  
 L : Longueur du conducteur en mètres



Pour déterminer le sens de la force, il faut placer les trois doigts (pouce, index, majeur) perpendiculairement entre eux.

Le pouce se place dans le sens du champ (le sens des lignes d'induction est toujours du N au S à l'extérieur d'un aimant et du S au N à l'intérieur).

Le majeur se place dans le sens du courant (sens conventionnel toujours du + vers le -).

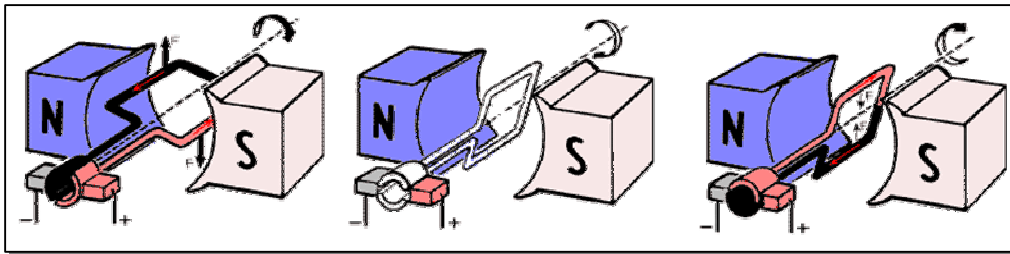
L'index détermine alors le sens de la force.

## 2.2. Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu :

Lorsque l'on place une spire parcourue par un courant (grâce aux balais et au collecteur) dans un champ magnétique, il apparaît un couple de forces. Ce couple de forces crée un couple de rotation qui fait dévier la spire de plus ou moins 90 degrés par rapport au plan vertical, le sens du courant restant inchangé dans la spire, au cours de ce déplacement, le couple de rotation diminue constamment jusqu'à s'annuler après rotation de la bobine de plus ou moins 90 degrés ( zone neutre, la spire se trouve à l'horizontale et perpendiculaire aux aimants naturels).

Afin d'obtenir une rotation sans à coup, l'enroulement d'induit doit être constitué d'un nombre élevé de spires similaires. Celles-ci seront réparties de façon régulières sur le rotor (induit), de manière à obtenir un couple indépendant de l'angle de rotation. Après le passage de la zone neutre, le sens du courant doit être inversé simultanément dans chacune de ces spires.

L'inversion du courant est opérée par l'inverseur ou commutateur (collecteur) qui, associé au balais, constitue l'élément assurant la transmission du courant de la partie fixe à la partie tournante du moteur.



## 2.3. Force contre électromotrice induite :

Cette spire est le siège d'une fcem (force contre électromotrice) E qui dépend de la structure de la machine :

$$E = (p/a) \cdot N \cdot n \cdot \varphi$$

P : nombre de paires de pôles inducteurs.

a : nombre de paires de voies de conducteurs dans l'induit.

N : nombre de conducteurs actifs.

n : vitesse de rotation du rotor en tr/s.

$\varphi$  : flux sous un pôle.

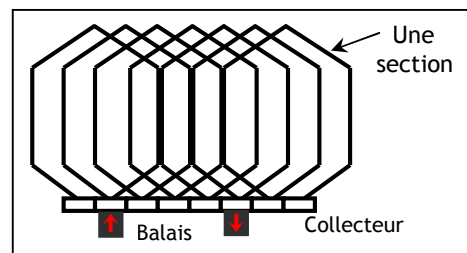
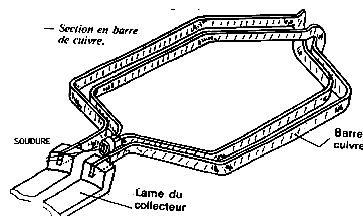
Si le flux est constant cette fcem peut s'écrire :

$$E = k \cdot n$$

### Remarque :

Une machine à courant continu (MCC) n'est plus constituée par une seule spire mais par plusieurs spires mises en série selon la représentation suivante :

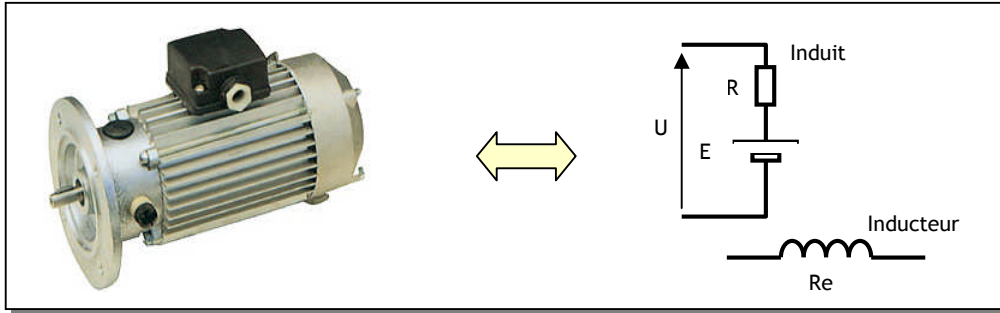
## 2.4. Couple électromagnétique :



La puissance électromagnétique totale est le produit fcem avec le courant induit I :  $P_e = E \cdot I$ . Or on sait que la relation qui lit le couple avec la puissance est :  $C = P/\Omega$  (avec  $\Omega$  est la vitesse de rotation en rd/s). Et puisque  $\Omega = 2\pi \cdot n$  (avec n est la fréquence de rotation en tr/s). Donc :

$$C = (k/2\pi) \cdot I \text{ (pour un flux } \varphi \text{ constant)}$$

### 3. MODELE ELECTRIQUE SIMPLE DU MOTEUR A COURANT CONTINU :



On peut écrire la loi d'ohm électrique (on suppose que l'inducteur est à aimant permanent ou alimenté par une tension continu constante, ce qui revient à supposer que le flux est constant).

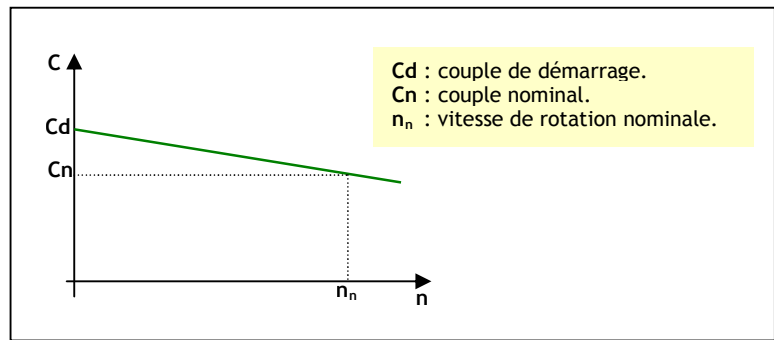
$$\begin{aligned} U &= E + R.I \\ E &= k.n \\ C &= (k/2\pi).I = k'.I \end{aligned}$$

Si on suppose que le moteur est alimenté avec une tension constante U. On peut tracer la caractéristique mécanique  $C=f(n)$  du moteur :

$$C = k'.I = k'.(U - E)/R$$

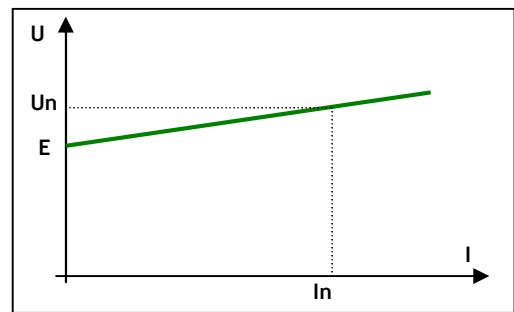
$$C = k'.\left(\frac{U}{R} - \frac{k.n}{R}\right)$$

Cette caractéristique est représentée dans la courbe ci contre :



On peut aussi tracer la caractéristique électrique  $U = f(I)$  à la vitesse nominale :

$$U = E + R.I$$



### 4. DEMARRAGE DU MOTEUR A COURANT CONTINU :

#### 4.1. courant de démarrage :

Au démarrage la vitesse est nulle donc  $n = 0$ . Donc  $E = 0$ . On peut alors écrire :

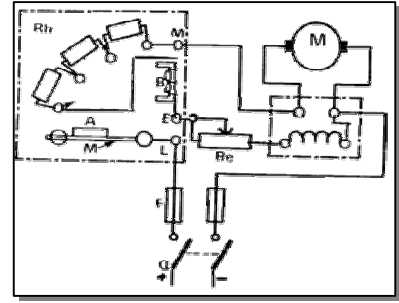
$$U = R.I_d \text{ (} I_d \text{ : courant au démarrage).}$$

Pour les grosses machines R est faible (de l'ordre de quelques dixièmes d'Ohms) et pour les petits moteurs cette résistance est relativement grande. Ce qui impose de prévoir un circuit permettant de minimiser ce courant lors de démarrage des grosses machines.

## 4.2. circuit de démarrage :

Pour minimiser  $I_D$  on peut :

- Soit démarrer avec une tension  $U$  faible (Démarrage à tension réduite).
- Soit ajouter une résistance en série avec l'induit lors du démarrage (Rhéostat de démarrage) (voir figure ci contre).



## 5. BILAN DES PUISSANCES :

### 5.1. L'ensemble des pertes :

Dans un moteur à courant continu on peut distinguer les pertes suivantes :

- **Pertes mécaniques** : dues aux frottements et à la résistance aérodynamique du ventilateur.
- **Pertes magnétiques** : dues aux pertes dans le circuit magnétique (pertes par hystérésis, pertes par courant de Foucault).
- **Pertes Joules** : pertes dans les résistances de l'induit et de l'inducteur

$$P_j = R \cdot I^2 + R_e \cdot I_e^2 \cong R \cdot I^2.$$

La somme des pertes mécanique et des pertes magnétiques s'appelle pertes constantes ( $P_c$ ).

### 5.2. Le rendement :

On appelle le rendement le rapport entre la puissance absorbée et la puissance utile :

- **La puissance absorbée** : C'est la puissance électrique absorbée par le moteur.

$$P_a = U \cdot I$$

- **La puissance utile** : C'est la puissance mécanique disponible sur l'arbre du moteur.

$$P_u = P_a - \text{Somme(pertes).}$$

$$P_u = P_a - (P_c + P_j).$$

- **Le rendement** s'écrit :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

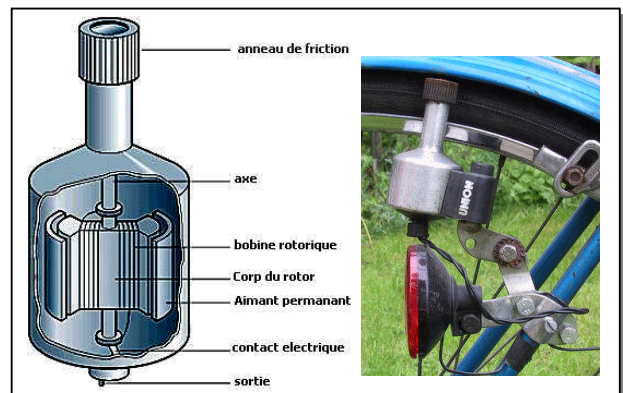
## 6. REVERSIBILITE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU :

La loi de Faraday énonce que si un conducteur se déplace dans un champ magnétique il est le siège d'une fem (force électromotrice) induite qui représente la variation du flux dans le temps à travers cette spire.

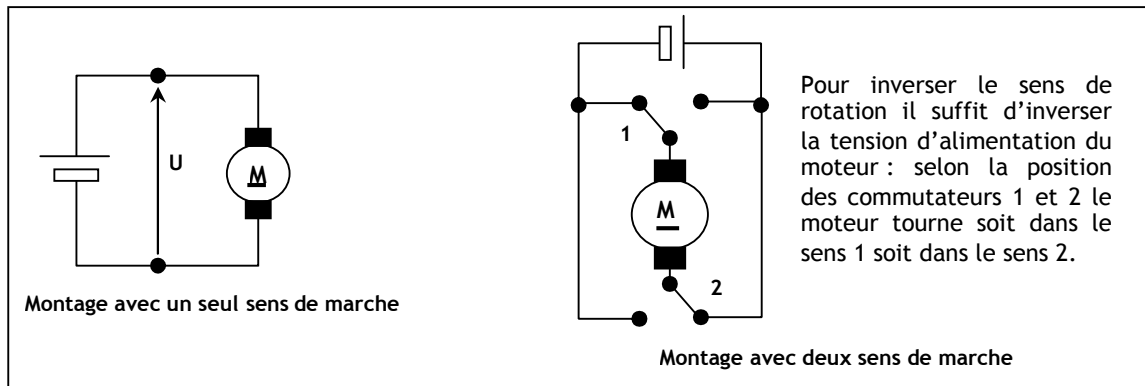
De ce principe découle le fonctionnement en génératrice de la machine à courant continu.

Si l'arbre de la génératrice est entraînée en rotation, entre les bornes de l'induit on peut mesurer une tension  $U$  proportionnelle à la vitesse de rotation.

Une application très connue de ce fonctionnement est la dynamo de la bicyclette.



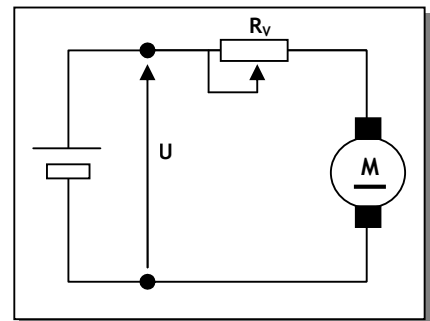
## 7. ALIMENTATION DU MOTEUR :



## 8. FONCTIONNEMENT A VITESSE VARIABLE :

On peut envisager plusieurs cas dans lesquels on a besoin de faire fonctionner le moteur à courant continu à vitesse variable. Pour arriver à ce résultat, une mauvaise solution (mais qui est quand même applicable dans certains application ou la notion de pertes n'est pas primordiale) consiste à mettre une résistance variable en série avec le moteur. La vitesse maximale est atteinte en prenant  $R_v = 0$ .

Une deuxième solution consiste à utiliser un hacheur. Dans ce cas l'action sur le rapport cyclique permet de varier la valeur moyenne de la tension de commande et par la suite la variation de la vitesse de rotation du moteur.



## EXERCICE RESOLU

Les caractéristiques d'une MCC à excitation séparée accouplée à une charge mécanique sont les suivantes :

Flux constant  $k = 4.8$  ; résistance d'induit  $R = 0.5$  ; couple de pertes collectives  $T_p = 1$  mN (constant quelque soit la vitesse) ; la charge mécanique accouplée oppose un couple résistant  $T_r$  de 10 mN à 157.08 rad/s.

1. Calculer le courant de démarrage (sans circuit de démarrage) de la machine si la tension  $U=120$ v.
2. Calculer la FCEM « E » pour la vitesse 157.08 rad/s.
3. Calculer les pertes joules de la machine. En déduire le rendement.

### CORRIGE :

$$1. I_D = U/R \quad \text{AN} \quad I_D = 240 \text{ A.}$$

$$2. E = (k/2\pi) \cdot \Omega = 0.764 \times 157.08 \quad \text{AN} \quad E = 120 \text{ V.}$$

3. Il faut tout d'abord calculer le courant d'induit :

$$I = 2 \cdot \pi \cdot C/k \quad \text{AN} \quad I = 13 \text{ A.}$$

$$\text{Donc } P_j = R \cdot I^2 \quad \text{AN} \quad P_j = 85.6 \text{ W.}$$

Pour calculer le rendement on doit tout d'abord calculer la puissance absorbée :

$$P_a = U \cdot I \quad \text{AN} \quad P_a = 1560 \text{ W.}$$

Calcul des pertes constantes :

$$P_c = T_p \cdot \Omega \quad \text{AN} \quad P_c = 157.08 \text{ W.}$$

$$\text{Donc } \eta = (P_a - P_c - P_j)/P_a \quad \text{AN} \quad \eta = 84.4 \%$$

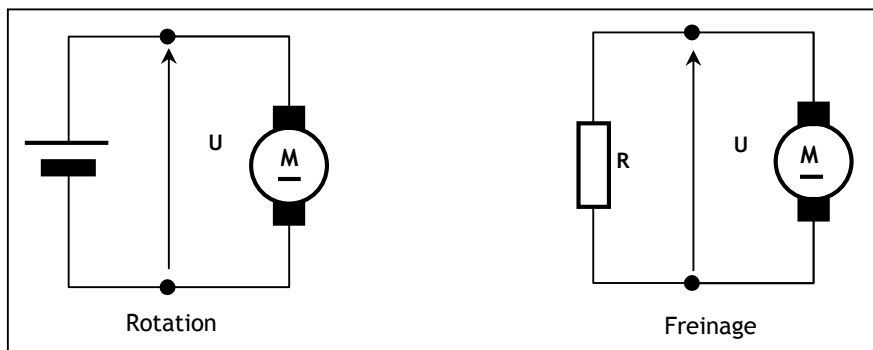
EXERCICES NON RESOLUS

**Exercice 1 :**

Une méthode pour freiner le moteur à courant continu consiste à le brancher sur une résistance R. Cette technique qu'on appelle freinage rhéostatique permet d'accélérer le freinage.

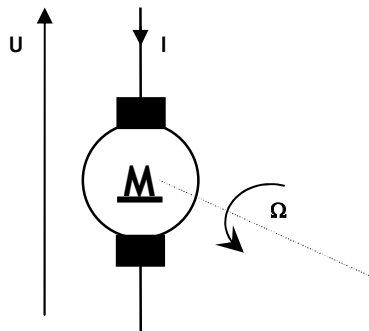
Donner un montage avec contacteurs permettant un démarrage deux sens de marche avec un freinage rhéostatique. La console de commande contient 4 boutons poussoirs :

- S1 : Marche sens 1.
- S2 : Marche sens 2.
- Fr : Freinage rhéostatique.
- Au : Arrêt d'urgence (Couper l'alimentation et laisser le moteur ralentir).



**Exercice 2 : ETUDE D'UNE MACHINE A COURANT CONTINU**

Caractéristiques



- Inducteurs à aimants permanents
- Induit : résistance  $R = 4,0 \Omega$
- constante de f.é.m. et de couple :  $k = 0,30 \text{ V.s.rad}^{-1}$
- intensité nominale :  $I_n = 4,0 \text{ A}$

Les frottements ainsi que les pertes dans le fer seront négligés. On notera en outre :

- $C_e$  le moment du couple électromagnétique,
- $\Omega$  la vitesse angulaire de rotation,
- $n$  la fréquence de rotation en tr/s,
- $E$  la FEM ;  $E = k \Omega$ ,
- $U$  la tension aux bornes de la machine,

- 1.1. Etablir l'expression du moment du couple électromagnétique,
- 1.2. Pour le courant nominal d'intensité  $I_n$ , calculer les valeurs numériques de la tension d'alimentation  $U$  et du moment du couple électromagnétique pour les fréquences de rotation
  - a)  $n = 0$
  - b)  $n = 50 \text{ tr/s}$
- 1.3 On applique sur l'arbre de la machine, un couple résistant, de moment  $C_R = 0,80 \text{ N.m}$ .
  - 1.3.1. Quelle relation lie les moments des couples électromagnétique et résistant en régime permanent ?
  - 1.3.2. Déterminer la relation exprimant  $\Omega$  en fonction de  $U$ ,  $R$ ,  $k$  et  $C_R$  en régime permanent.
  - 1.3.3 A partir de quelle valeur de l'intensité  $I$ , le moteur peut-il démarrer ? Quelle est la tension  $U$  correspondante ?
- 1.4 Quelle tension  $U$  maximale doit-on s'imposer au démarrage pour que l'intensité  $I_d$  de démarrage demeure inférieure à  $1,25 I_n$  ?

# LES ACTIONNEURS PNEUMATIQUES

## INTRODUCTION :

Un actionneur pneumatique est un dispositif qui transforme l'énergie de l'air comprimé en travail mécanique. Parmi les actionneurs pneumatiques les plus utilisés dans les systèmes automatisés on trouve :

- le vérin pneumatique ;
- le générateur de vide Venturi.

*Presse pneumatique*

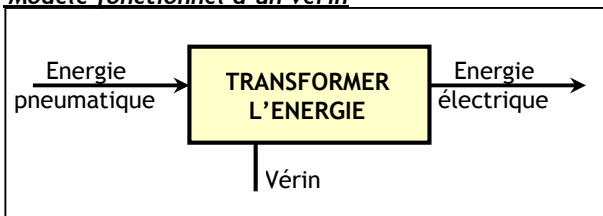


## 1. LES VERINS :

Ce sont les actionneurs qui réalisent des mouvements généralement linéaires à l'endroit même où on a besoin d'une force.

**Exemples:** perceuse, porte autobus, presse (figure ci-dessus), etc.

*Modèle fonctionnel d'un vérin*

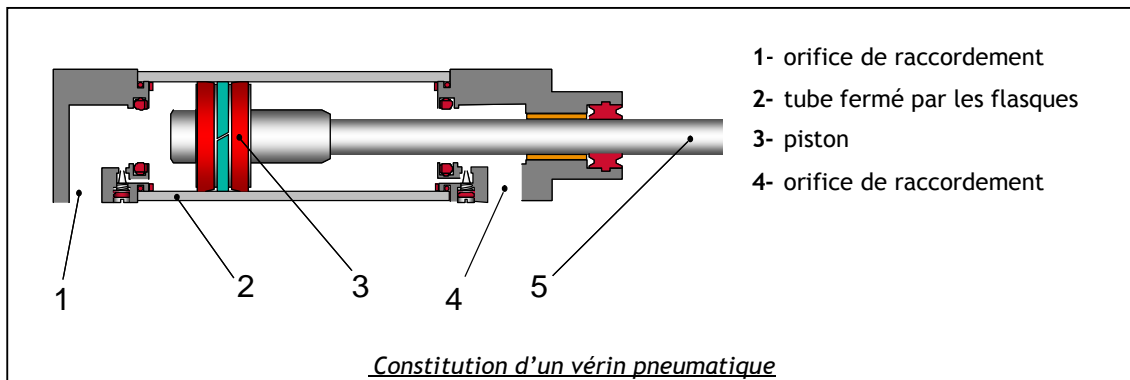


*Vérin standard*



### 1.1. Constitution et principe de fonctionnement :

Un vérin est constitué d'un cylindre, fermé aux deux extrémités, à l'intérieur duquel se déplace librement un piston muni d'une tige, sous l'effet des forces dues à la pression de l'air comprimé. Pour faire sortir la tige, on applique la pression sur la face arrière du piston et pour la faire rentrer, on applique la pression sur la face avant :

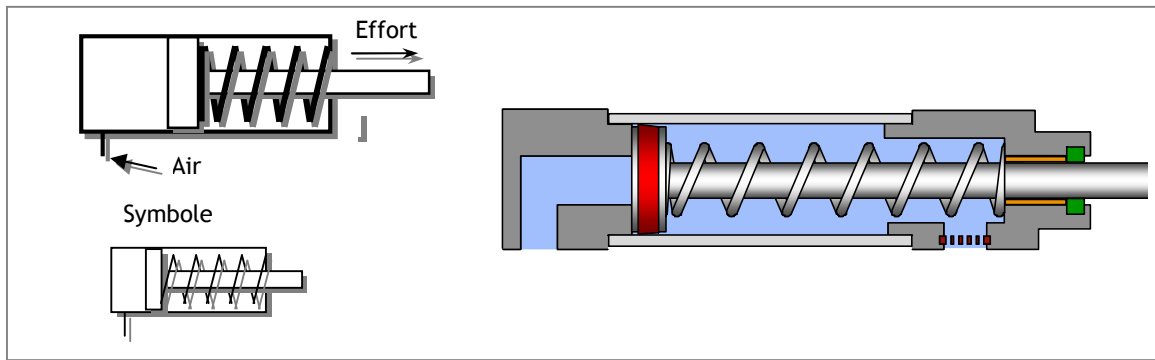




## 1.2. Types usuels des vérins:

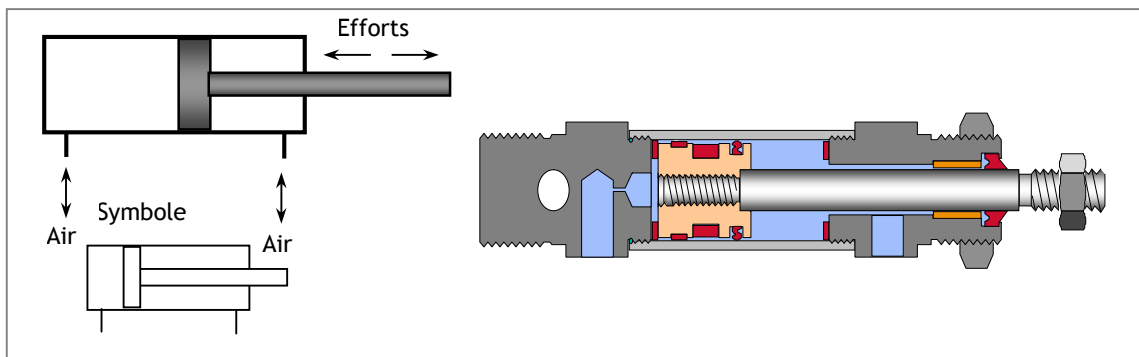
### 1.2.1. Vérin simple effet:

Ce vérin produit l'effort dans un seul sens. Il n'est donc alimenté que d'un seul coté. Le retour à la position initiale s'effectue en général par un ressort.

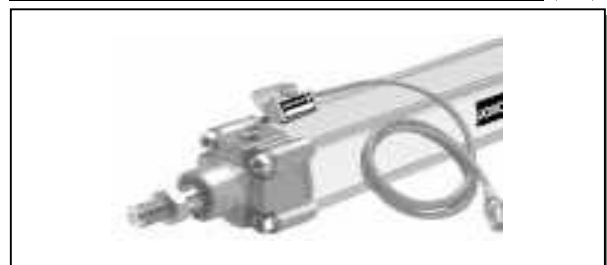


### 1.2.2 Vérin double effet :

Dans un vérin double effet, la sortie et la rentrée de la tige s'effectue par l'application de la pression, alternativement, de part et d'autre du piston. Les vérins double effet sont utilisés lorsqu'on a besoin d'effort important dans les deux sens.



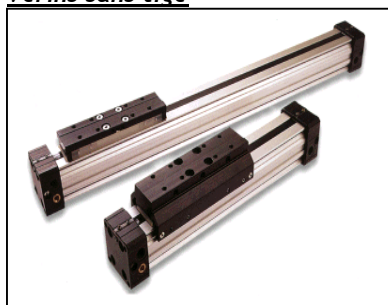
Vérin pneumatique avec capteur de fin de course (ILS)



**Remarque :** Dans les vérins on peut trouver d'autres fonctions complémentaires tel que : amortissement de fin de course, capteur de position, dispositifs de détection, etc.

## 1.3. Vérins spéciaux

### Vérins sans tige



### Vérins rotatifs



### Vérins compacts



### 1.4. Caractéristiques et performances d'un vérin :

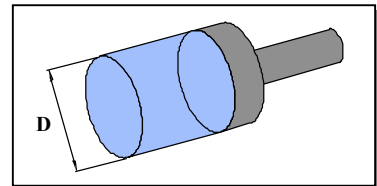
Le fonctionnement d'un vérin dépend des caractéristiques suivantes :

- Le diamètre du piston ;
- La course de la tige ;
- La pression d'alimentation.

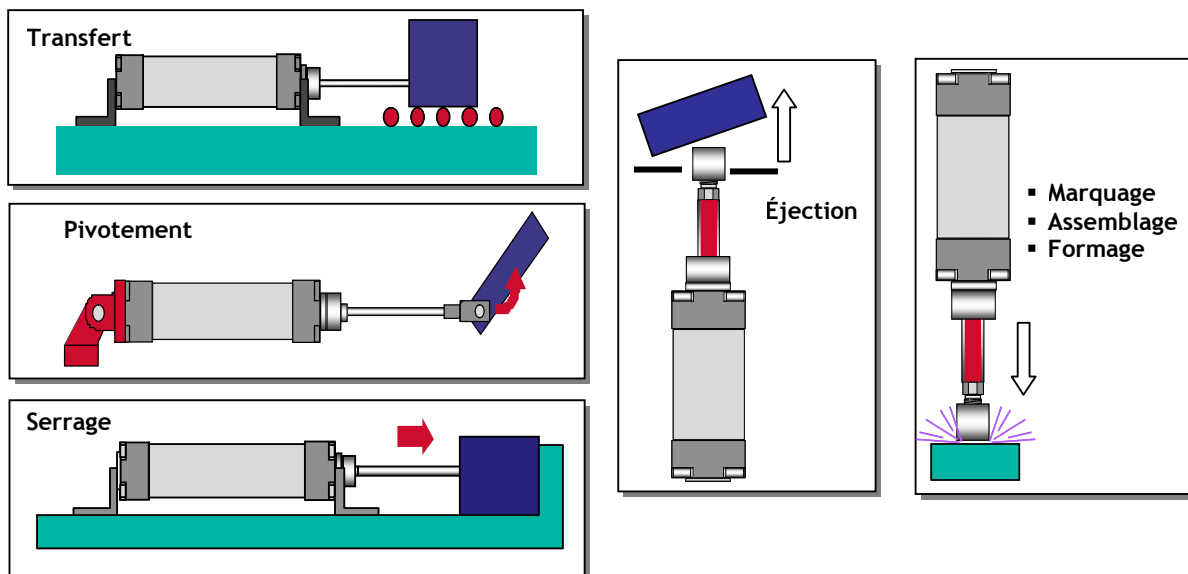
Le choix et le dimensionnement d'un vérin s'effectuent en fonction de l'effort à transmettre.

**Exemple:**

Un vérin ayant un piston de diamètre  $D = 8 \text{ mm}$  et alimenté par une pression de 6 bar (60000 Pa) fournit un effort sortant:  $F = (p \times \pi \times D^2) / 4$  soit **3016 N**.



### 1.5. Exemple d'utilisation des vérins pneumatiques:

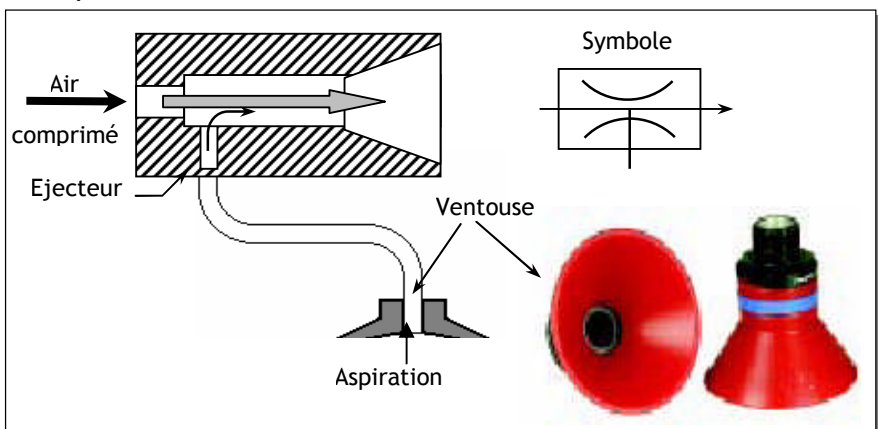


## 2. LE GENERATEUR DE VIDE OU VENTURI :

Un générateur de vide ou venturi est un actionneur pneumatique dont le rôle est de transformer l'énergie pneumatique en surpression en une énergie pneumatique en dépression.

Un venturi est composé d'un éjecteur muni d'une conduite d'air plus étroite du côté de l'entrée et d'un orifice, perpendiculaire à la conduite, servant à connecter la ventouse. Le passage de l'air comprimé dans le conduit provoque une dépression et entraîne avec lui l'air présent dans l'orifice perpendiculaire. Par conséquent, une aspiration se produit au niveau de la ventouse.

**Principe du venturi**



## EXERCICE RESOLU

Dans un autobus, le vérin utilisé pour ouvrir ou fermer la porte est un vérin double effet. Sachons que le diamètre:

- du piston  $D=40\text{mm}$  ;
- de la tige  $d=15\text{mm}$  ;

La pression est égale à :  $P=6\text{bar}$



1- Calculer :

- a) l'effort théorique  $F_o$  pour ouvrir la porte.
- b) l'effort théorique  $F_f$  pour fermer la porte.

2- Pour l'ouverture et la fermeture de la porte le chauffeur appuie sur deux boutons poussoirs Bp1 Bp2. Etablir le schéma de câblage du circuit pneumatique (vérin+distributeur+Bp1+ Bp2).

CORRIGE :

$$1- \text{ a) } F_o = p \times \pi \times D^2 / 4 \quad \text{AN } F_o = 754 \text{ N.}$$

$$\text{ b) } F_f = p \times \pi \times (D^2 - d^2) / 4 \quad \text{AN } F_f = 648 \text{ N.}$$

2-Voir le schéma de câblage de la presse (chapitre préactionneurs pneumatiques)

## EXERCICES NON RESOLUS

EXERCICE N° 1 :

L'effort de serrage que doit exercer un vérin de bridage est de 6500N. Si le diamètre d'alésage  $D$  est de 125 mm, déterminer la pression théorique nécessaire.

EXERCICE N° 2 :

Soit une masse d'une charge de 700 kg à soulever par un vérin V (avec l'accélération de la pesanteur  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ). Les pertes par frottements internes sont estimées à 10%, la pression d'alimentation en air est de 600kPa. Si les forces d'inertie et la contre-pression sont négligées, déterminer le diamètre du piston.

EXERCICE N° 3 :

Calculer les efforts théoriquement développables, en poussant et en tirant, d'un vérin ( $D = 100 \text{ mm}$  et  $d = 25 \text{ mm}$ ) si la pression d'utilisation est de 500 kPa. Refaire la question si les pertes par frottements sont de 12 %.

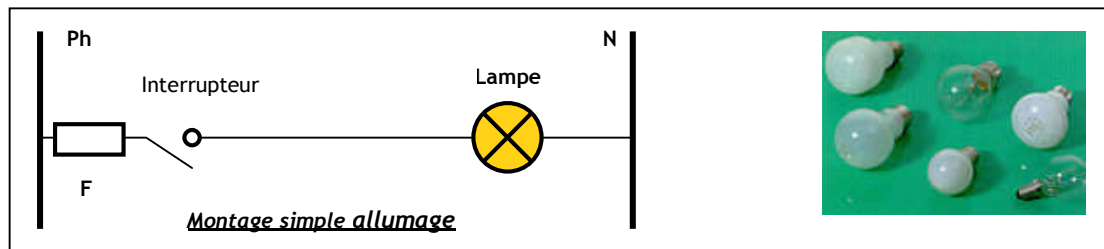
# AUTRES TYPES DE CONVERSION

## 1. CONVERSION ENERGIE ELECTRIQUE / ENERGIE LUMINEUSE :

Cette conversion est connue sous l'appellation d'éclairage consiste en une transformation de l'énergie électrique en rayonnement lumineux. Le matériel d'éclairage proprement dit comprend les lampes, leurs accessoires de fonctionnement. Les différentes familles de lampes représentent des technologies particulières qui les destinent à tel champ d'application plutôt qu'à tel autre. On peut citer, à titre d'exemple, les procédés d'éclairages suivants :

### 1.1. Les lampes à incandescence :

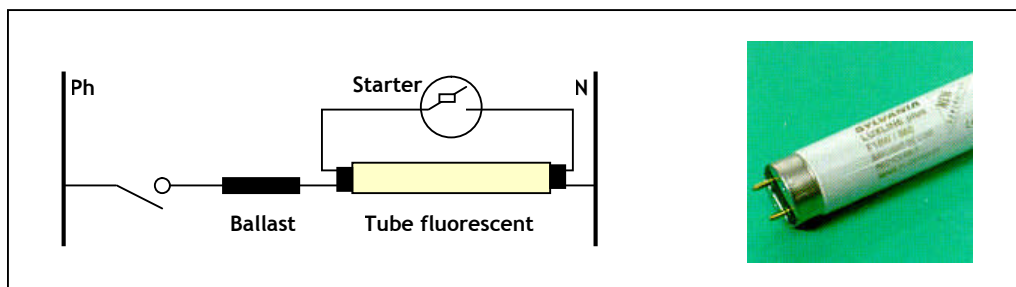
- C'est la lampe traditionnelle. Elle est constituée d'une ampoule en verre qui contient du gaz (souvent l'azote ou l'argon). Un filament de tungstène est porté à très haute température par le courant électrique qui le traverse, devient **incandescent** et émet de la lumière.
- Les lampes à incandescence existent en une très grande variété de formes, couleurs et puissances.
  - Puissance : 25 à 200 W
  - Durée de vie : environ 1000 h



### 1.2. Les lampes fluorescentes

- Plus connues sous l'appellation de tubes fluo ou tubes de néon (bien qu'ils ne contiennent pas de néon), les lampes fluorescentes ont une forme de tube dans lequel la lumière est principalement émise par des couches de substances luminescentes excitées par une décharge électrique.
- différents diamètres et longueurs liés à des puissances :

	Diamètre 16 mm			Diamètre 26 mm				
Puissance	6W	8W	13W	15W	18W	30W	36W	58W
Longueur de tube	28cm	40cm	88cm	43,7cm	59cm	89,5cm	1,2m	1,5m



### 1.3. Lampes fluo compactes :

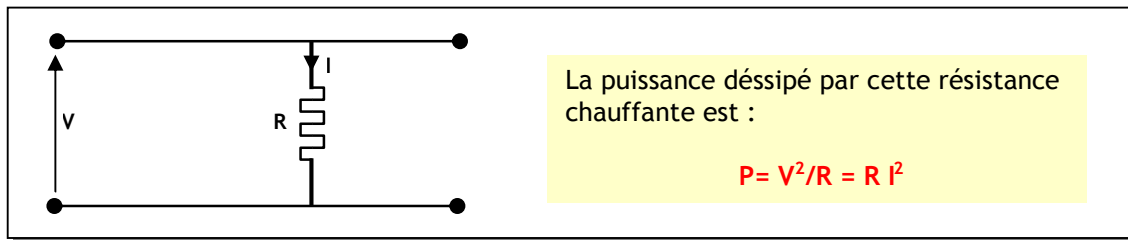
Des lampes fluorescentes miniaturisées dont : le tube de petit diamètre est recourbé pour tenir dans un volume réduit. Elles ressemblent, plus ou moins à des lampes classiques et elles s'utilisent sur des douilles à vis.

- Puissance : 3 à 23 W.
- Durée de vie : 6000 à 12 000 h
- prix : 9 fois celui d'une ampoule incandescente standard



## 2. CONVERSION ENERGIE ELECTRIQUE / ENERGIE THERMIQUE :

Cette conversion est connue sous l'appellation de chauffage consiste en une transformation de l'énergie électrique en chaleur. Cette conversion est réalisée à l'aide des résistances de chauffage. La puissance consommée par une telle résistance dépend de la valeur de celle-ci. Cette transformation résulte de l'effet Joule. Un équipement de chauffage contient généralement plusieurs résistances chauffantes, dont la mise en série ou en parallèle varie la puissance consommée, et par la suite varie la température.



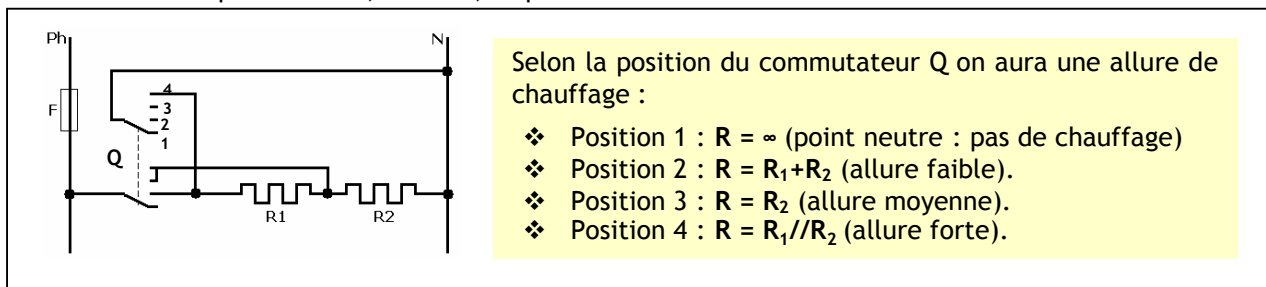
Deux résistances de mêmes valeurs R montées en série consomment une puissance :

$$P_2 = V^2 / (2R) = P/2 \quad (P \text{ la puissance consommée par } R \text{ seule})$$

Deux résistances de mêmes valeurs R montées en parallèle consomment une puissance :

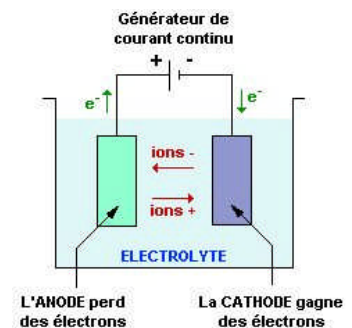
$$P_2 = V^2 / (R/2) = 2P \quad (P \text{ la puissance consommée par } R \text{ seule})$$

La majorité des chauffages commerciaux disposent d'un commutateur à trois positions permettant de choisir entre trois puissances P, P<sub>2</sub> série, P<sub>2</sub> parallèle.



## 3. CONVERSION ENERGIE ELECTRIQUE / ENERGIE CHIMIQUE :

L'électrolyse est un processus d'échange au cours duquel l'énergie électrique est transformée en énergie chimique. La réaction a lieu dans une solution d'eau salée : l'électrolyte. Les ions doivent pouvoir circuler librement dans l'eau pour passer d'une électrode à l'autre. Les deux électrodes sont reliées par l'électrolyte et par un générateur de courant électrique. Cette unité est présentée dans le graphique ci-contre.



Si l'on applique un courant électrique entre les deux électrodes, les ions positifs migrent jusqu'à la cathode pendant que les ions négatifs se déplacent en direction de l'anode. Les ions positifs sont appelés cations alors que les ions négatifs sont eux appelés anions.

Cette technique est utilisée pour :

- **Recharger les accumulateurs** (chargeur de batteries).
- **La purification des métaux** : Pour produire du cuivre très pur, il faut installer une anode de cuivre polluée qui sera nettoyée par électrolyse. Le cuivre est oxydé en ions  $\text{Cu}^{2+}$  et précipite ensuite sur la cathode pour donner une couche de cuivre plus pure qu'auparavant.
- **La galvanisation des métaux oxydables** : Un métal altérable est protégé contre la corrosion grâce au dépôt par électrolyse d'un métal inaltérable. L'objet à recouvrir est relié au pôle négatif d'un générateur et plongé dans un bain électrolytique.

## EXERCICE RESOLU

Calculer la longueur du fil résistant nécessaire pour réaliser une résistance de 2kW alimentée sous 220V. On optera pour un fil de Nickel-Chrome de diamètre 0.7mm et de résistivité  $75 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ .

CORRIGE :

$$P = U \cdot I = U^2/R \Rightarrow R = U^2/P = 24,2 \Omega.$$

$$R = \rho \cdot L/S \Rightarrow L = R \cdot S/\rho$$

$$S = \pi \cdot (D/2)^2 = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 \Rightarrow L = 12,9 \text{m}$$

## EXERCICE NON RESOLU

Une plaque électrique de cuisinière est chauffée par trois résistances. La puissance de ces résistances est successivement : 250W, 500W et 850W.

Si la tension d'alimentation est  $U = 220\text{V}$ .

1. Calculer la valeur de chaque résistance.
2. Quelle est la puissance minimale que peut consommer cette plaque chauffante.
3. Quelle est la puissance maximale que peut consommer cette plaque chauffante.
4. Donner les puissances possibles par association (série ou parallèle) de deux résistances.