

المسيلة في : 13/07/2021

الرقم : 684/إ/6/2021

## مستخرج من محضر اللجنة العلمية لقسم الإلكتروني

ليوم الثلاثاء 06/07/2021

اجتمعت اللجنة العلمية لقسم الإلكتروني يوم الثلاثاء 06 جويلية 2021 على الساعة العاشرة صباحا (10:00) بقاعة اجتماعات القسم، من بين النقاط المدرجة في جدول الأعمال، دراسة تقارير الخبرة الخاصة بالمطبوعة الجامعية للأستاذ بوشlagum Ahmed. بعد الإطلاع على التقارير الإيجابية الواردة من السادة الخبراء أعضاء لجنة دراسة المطبوعة الجامعية والاتية أسماؤهم:

- |                             |                 |                  |
|-----------------------------|-----------------|------------------|
| جامعة فرحت عباس - سطيف 01   | أستاذ           | حسام عبد الوهاب  |
| جامعة محمد بوضياف - المسيلة | أستاذ           | حسيني عبد السلام |
| جامعة محمد بوضياف - المسيلة | أستاذ محاضر "أ" | قرمات نوبيل      |
- صادق أعضاء اللجنة العلمية على قبول المطبوعة البيداغوجية مع إمكانية استعمالها في ملف التأهيل الجامعي للأستاذ بوشlagum Ahmed (أستاذ محاضر قسم "ب"- جامعة محمد بوضياف - المسيلة) تحت عنوان :

Actionneurs industriels

2<sup>eme</sup> année Master - ESEM.

### رئيس اللجنة العلمية

صيغع جمال



## Polycopié de cours

Unité d'enseignement Découverte  
Code UED : 1.3

**Matière constitutive**  
Code UED : 1.3 (Crédit : 1 et Coefficient : 1 )

# *Actionneurs Industriels*

Deuxième année du Master académique  
en *Electronique* option : *Electronique des  
Systèmes Embarqués*

Notes de cours de :  
Mr : Ahmed BOUCHELAGHEM

Année universitaire : 2017 - 2018

## **CONTENU DU COURS**

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>01</b>
------------------------------	-----------

### **Partie I**

#### ***LES ACTIONNEURS PNEUMATIQUES ET HYDRAULIQUES***

##### **CHAPITRE 1 : ENERGIE PNEUMATIQUE**

INTRODUCTION	05
1. CONSTITUTION D'UNE INSTALLATION PNEUMATIQUE	05
2. PRODUCTION DE L'ENERGIE PNEUMATIQUE	05
2.1. Compression de l'air	05
2.2. Stockage de l'air	06
2.3. Distribution de l'air	06
3. PRINCIPES PHYSIQUES	06

##### **CHAPITRE 2 : PREACTIONNEURS PNEUMATIQUES**

1. FONCTION	07
2. CONSTITUANTS D'UN DISTRIBUTEUR	07
3. PRINCIPAUX DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES	07
4. DISPOSITIFS DE COMMANDE	08
5. APPLICATION : PRESSE PNEUMATIQUE	09

##### **CHAPITRE 3 : ACTIONNEURS PNEUMATIQUES**

. INTRODUCTION	10
. 1. LES VERINS	10
1.1. Constitution et principe de fonctionnement	10
1.2. Types usuels des vérins	11
1.2.1. Vérin simple effet	11
1.2.2. Vérin double effet	11
1.3. Vérins spéciaux	11
1.4. Caractéristiques et performances d'un vérin	12
1.5. Exemples d'utilisation des vérins pneumatiques	12
2. GENERATEUR DE VIDE OU VENTURI	12
EXERCICES D'APPLICATION RESOLUS	13

##### **CHAPITRE 4 : ACTIONNEURS HYDRAULIQUES**

INTRODUCTION	14
--------------	----

1. LES VERINS	14
1.1. Principaux types des vérins	14
1.2. Dimensionnement des vérins	15
EXERCICES D'APPLICATION RESOLUS	15

## **Partie II**

### ***LES ACTIONNEURS ELECTRIQUES***

#### **CHAPITRE 1 : PREACTIONNEURS ELECTRIQUES**

INTRODUCTION	16
1. LES RELAIS	16
1.1. Relais électromagnétiques	16
1.1.1. Principe	16
1.1.2. Caractéristiques fondamentales	16
1.2. Relais statiques	16
1.2.1. Définition	16
1.2.2. Caractéristiques fondamentales	17
1.3. Exemple de circuit	17
2. LES CONTACTEURS	18
2.1. Principe	18
2.2. Caractéristiques électriques	18
2.3. Catégorie de fonctionnement et choix	18
2.4. Schéma de mise en œuvre	19
3. LES SECTIONNEURS	19
4. LES FUSIBLES	20
5. LES RELAIS THERMIQUES	20
EXERCICES D'APPLICATION RESOLUS	21

#### **CHAPITRE 2 : CONVERTISSEURS ELECTROMECANIQUES**

INTRODUCTION	23
1. ORGANISATION DE LA MACHINE	23
2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	23
2.1. Loi de Laplace	23
2.2. Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu	24
2.3. Force contre électromotrice induite	24
2.4. Couple électromagnétique	24

3. MODELE ELECTRIQUE SIMPLE DU MOTEUR A COURANT CONTINU	25
4. DEMARRAGE DU MOTEUR A COURANT CONTINU	25
4.1. Courant de démarrage	25
4.2. Circuit de démarrage	26
5. BILAN DES PUISSANCES	26
5.1. Ensemble des pertes	26
5.2. Rendement	26
6. REVERSIBILITE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU	26
7. ALIMENTATION DU MOTEUR	27
8. FONCTIONNEMENT A VITESSE VARIABLE	27
EXERCICES D'APPLICATION RESOLUS	27
 <b>CHAPITRE 3 : MOTEURS PAS A PAS</b>	
INTRODUCTION	28
1. MOTEUR A AIMANT PERMANENT	28
1.1. Constitution	28
1.2. Fonctionnement	28
1.3. Alimentation	29
1.3.1. Moteurs à deux phases (ou bipolaire)	29
1.3.2. Moteurs à quatre phases (ou unipolaire)	29
1.4. Caractéristiques	31
2. MOTEUR PAS A PAS A RELUCTANCE VARIABLE	31
2.1. Constitution	31
2.2. Fonctionnement	31
2.3. Caractéristiques	32
3. MOTEURS PAS A PAS HYBRIDES	32
3.1. Constitution	32
3.2. Fonctionnement	32
3.3. Caractéristiques	32
3.4. Applications Industrielles	32
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>33</b>

*Partie des Travaux Dirigés et Examens*

# Actionneurs



Asimo, un robot humanoïde capable de marcher et courir.



Robot industriel permettant d'imiter des mouvements pénibles, voire dangereux.

Et si les machines arrivaient à recréer les mouvements de l'être humain ?

## Introduction

Les derniers robots sont de réelles prouesses technologiques, en intégrant une multitude de capteurs, ces robots peuvent imiter presque à la perfection tous les gestes d'un être humain.

Tout ces mouvements sont réalisés à l'aide d'actionneurs.

Avant d'arriver aux robots «androïdes» tels qu'on les connaît aujourd'hui, différents robots industriels ont vu le jour en fonction des actions qu'ils avaient à effectuer.

Du mot «action» est né le mot «actionneur».

Mais quel sont les actionneurs les plus connus ?

Quelles fonctions réalisent ils ?

Comment fonctionnent ils ?

Et surtout lequel choisir pour notre application ?



Au passage savez-vous que ...

Un humanoïde désigne ce qui est de forme humaine, étymologiquement ce « qui ressemble à un homme ».

Les 3 lois de la robotique :

- 1 - Un robot ne peut porter atteinte à un être humain.
- 2 - Un robot doit obéir aux ordres que lui donne un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la première loi.
- 3 - Un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la première ou la seconde loi.



## Sommaire

Introduction

1

Exemples d'applications

2

Les actionneurs connus

3



## Quelques exemples de produits incluant des actionneurs

### La cafetière / Bouilloire

Actionneur possible :  
Résistance chauffante



### Barrière automatique :

Actionneur possible :  
Moteur



### Porte automatique

Actionneurs possibles :  
• Vérin ;  
• Moteur (avec système poulie et câble).



### Robinet automatique

Actionneurs possibles :  
• Electrovanne ;  
• Pompe à eau.



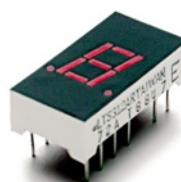
### Alarme de fumée :

Actionneurs possibles :  
• Haut parleur (sirène) ;  
• Emetteur téléphonique (permettant de téléphoner aux pompiers directement, par exemple pour signaler le problème).



### Affichage :

Actionneurs possibles :  
• Afficheur 7 segments ;  
• Mur de Dels.



### Essuie glace :

Actionneur possible :  
Servomoteur



# A Afficheur ou voyant

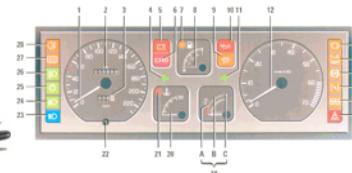
Permet de créer un échange visuel, soit par un voyant, soit par un message textuel ou numérique.

«Comme si une personne écrivait un message sur une feuille ...»

Afficheur 7 segments



Afficheur LCD



Voyant lumineux



Gyrophare

HP (Haut Parleur)



Sirène

# H Haut parleur ou sirène

Permet de créer un échange sonore avec la machine.

«Comme si une personne vous parlait ou comme si elle vous alertait vocalement ...»

# M Moteur électrique

Le moteur électrique permet d'obtenir des mouvements en rotation par le biais de l'axe de sortie du moteur.

Cependant, à l'aide d'un système mécanique (crémaillère par exemple), ce mouvement circulaire peut être transformé en un mouvement rectiligne.

Egalement à l'aide d'un «réducteur» en sortie du moteur, ce mouvement circulaire peut avoir davantage de force (un couple plus grand).

«Comme si une personne réalisait des mouvements : bouger des bras, les jambes, ...»

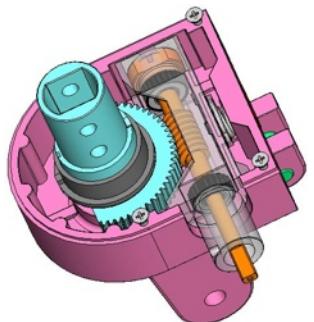


Moteur électrique

Réducteur par engrenage



Principe de la crémaillère



Réducteur par vis sans fin

# Servomoteur

Un servomoteur est un moteur électrique «amélioré», dont la rotation de l'axe de sortie est paramétrable.

C'est à dire que l'axe de sortie du servomoteur est capable de s'arrêter sur une position prédéterminée puis de rester sur cette position.

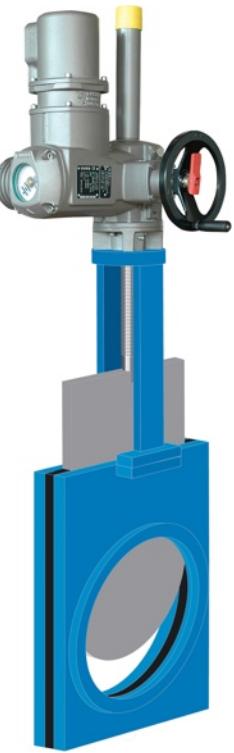
Cette position sera indiquée en degrés.

«Comme si une personne tournait la tête 90° à droite ou 90° à gauche ....». (il serait dangereux de mettre ici un moteur qui tournerait à 360° !).

Servomoteur miniature  
(pour la robotique ou le modélisme)



Les servomoteurs intègrent souvent des réducteurs de sortie pour augmenter le couple



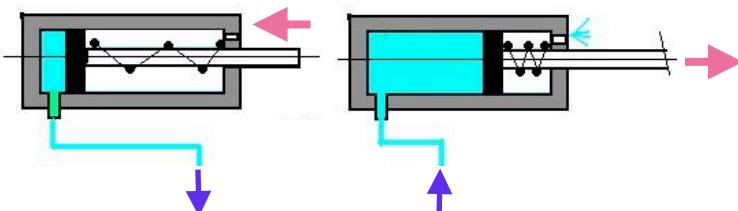
Servomoteur industriel



# Véris

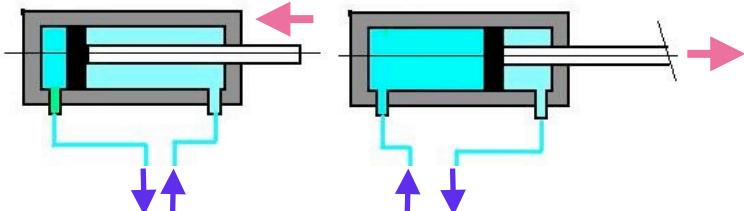
Les vérins permettent d'obtenir un mouvement rectiligne avec plus ou moins de force. Ils peuvent fonctionner soit avec de l'air comprimé (véris pneumatique), soit avec de l'huile hydraulique (véris hydraulique).

«Comme si une personne réalisait des mouvements avec plus ou moins de force ...»



**Véris simple effet**

L'axe de sortie du vérin est en mouvement en fonction de la pression de l'air ou de l'huile. Le mouvement de retour est réalisé avec le ressort.



**Véris double effet**

L'axe de sortie du vérin est en mouvement en fonction de la pression de l'air ou de l'huile. Le mouvement de retour est aussi réalisé avec la pression.

# P

## Pompe à eau électrique

Une pompe à eau est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler de l'eau.

A l'aide d'un moteur électrique et d'une turbine en sortie d'axe, l'eau est refoulée avec force.

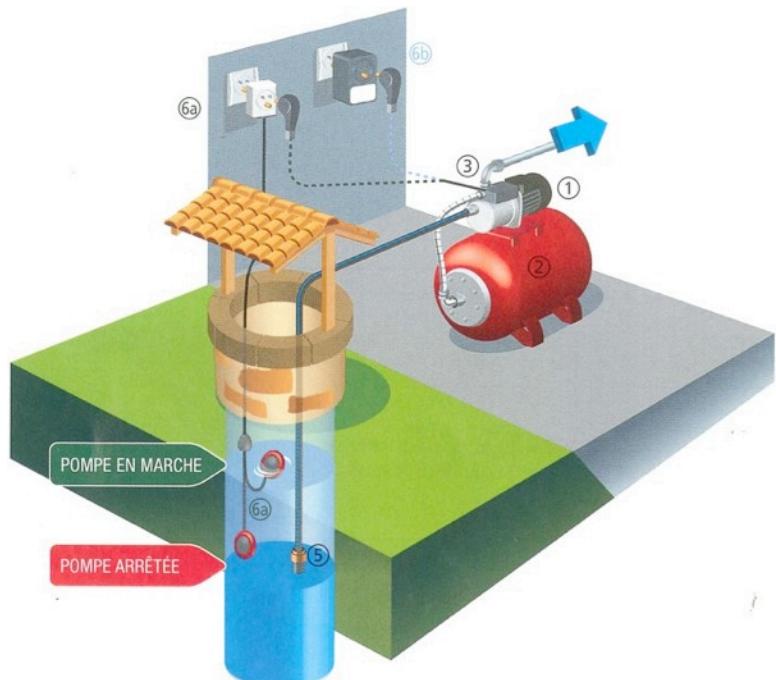
Le principe est identique dans un aspirateur ou un sèche cheveux en remplaçant l'eau par de l'air.



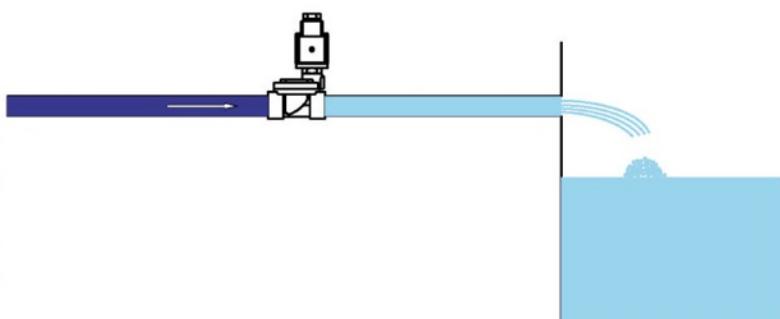
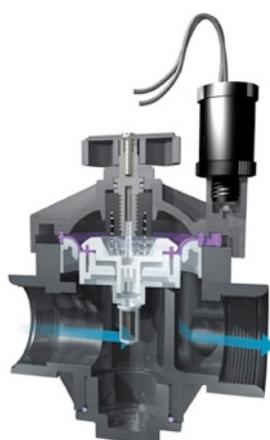
Pompe d'aquarium



Pompe à eau



Electrovanne



# E

## Electrovanne

Une électrovanne n'a rien à voir avec une pompe à eau !

La pompe à eau aspire et refoule l'eau, alors que l'électrovanne bloque l'eau comme le ferait un «interrupteur».

Sachez qu'il existe d'autres d'actionneurs non présentés ici.

Ce document présente uniquement les actionneurs les plus connus sans rentrer dans les détails. Car il existe différents types d'actionneurs dans chaque famille d'actionneurs.

# Introduction

Ce support de cours **Actionneurs industriels** est destiné aux étudiants de deuxième année master pour les spécialités : **Electronique des systèmes embarqués et Instrumentation de la filière Electronique**. Il est aussi destiné aux étudiants du master en **Energies renouvelables en électrotechnique de la filière Energies renouvelables**.

A noter aussi que **le point des actionneurs électriques (moteurs)** de ce document est donné plus en détail, pour être adressé aux étudiants des options d'ingénierie (technologie).

Ce cours décrit les concepts de base des actionneurs et introduit les différents types, les caractéristiques, les principes fondamentaux et les applications pratiques de ces dispositifs (actionneurs industriels). Il familiarise l'étudiant avec les transducteurs, les capteurs et les actionneurs et l'aide à comprendre la différence entre eux.

## Objectifs de l'enseignement

- **Décrire les différents types d'actionneurs.**
- **Comprendre les principes fondamentaux du fonctionnement des instruments industriels (actionneurs).**
- **Expliquer la différence entre les capteurs, les transducteurs et les actionneurs.**
- **Définir, choisir et dimensionner un instrument industriel (actionneurs).**
- **Intégrer ces dispositifs dans un système global (actionneurs).**

Avant d'entamer ce cours, il est intéressant de définir bien le terme transducteur et d'en donner son concept de base :

### **- TRANSDUCTEURS**

Il y a beaucoup de variables qui affectent nos vies quotidiennes: la vitesse d'une voiture, la vitesse du vent, et la température dans une maison. Dans la plupart des cas, ces variables sont surveillées en permanence. Ce sont ces variables qui sont utilisées pour contrôler la vitesse d'une voiture, le fonctionnement d'un climatiseur, les niveaux de chauffage et la température du four. Les éléments qui détectent ces variables et les convertissent en une sortie utilisable sont des transducteurs.

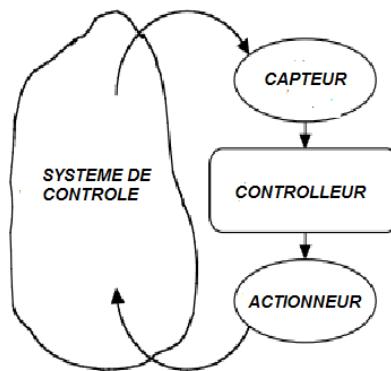
Un transducteur est donc un dispositif qui convertit une forme d'énergie en une autre :

- **Lorsque l'entrée est une grandeur physique et une sortie électrique → Capteur**
- **Lorsque l'entrée est électrique et fournit une quantité physique → Actionneur**

Des exemples de transducteurs communs sont les suivants:

- Un microphone convertit le son en impulsions électriques et un haut-parleur convertit les impulsions électriques en son (c'est-à-dire, énergie sonore en énergie électrique et vice versa).
- Une cellule solaire convertit la lumière en électricité et un thermocouple convertit l'énergie thermique en énergie électrique.
- Une ampoule à incandescence produit de la lumière en faisant passer un courant à travers un filament. Ainsi, une ampoule est un transducteur pour convertir l'énergie électrique en énergie optique.
- Un moteur électrique est un transducteur pour la conversion de l'électricité en énergie mécanique ou en mouvement.

Les capteurs et les actionneurs sont deux composants essentiels de chaque système de contrôle en boucle fermée. Un tel système est également appelé un système mécatronique. Un système mécatronique typique tel que représenté sur la figure 1 se compose d'une unité de détection ou d'acquisition (capteur), d'un contrôleur et d'une unité d'actionnement ou de conversion (actionneur).



**Figure 1 :** Schéma type d'un système mécatronique

Une unité de détection peut être aussi simple qu'un seul capteur ou peut être constituée de composants supplémentaires tels que des filtres, des amplificateurs, des modulateurs et d'autres conditionneurs de signaux.

Le contrôleur accepte les informations provenant de l'unité de détection, prend des décisions sur la base de l'algorithme de commande et envoie des commandes à l'unité d'actionnement.

L'unité d'actionnement est constituée d'un actionneur et éventuellement d'une alimentation et d'un mécanisme de couplage.

## - CAPTEURS

Un capteur est un appareil ou dispositif qui reçoit et répond à un signal (un mesurande spécifié). Ce signal doit être produit par un certain type d'énergie, comme la chaleur, la lumière, le mouvement ou la réaction chimique. Une fois qu'un capteur détecte un ou plusieurs de ces signaux (une entrée), il les convertit en une représentation analogique ou numérique du signal d'entrée (fournit donc une sortie utilisable à des fins de mesure ou de commande). Les capteurs sont utilisés dans tous les aspects de la vie pour détecter et/ou mesurer de nombreuses conditions différentes.

Quels sont les capteurs que vous connaissez ou utilisez quotidiennement?

Les yeux détectent l'énergie lumineuse, les oreilles détectent l'énergie acoustique, la langue et le nez détectent certains produits chimiques et la peau détecte les pressions et les températures.

Les yeux, les oreilles, la langue, le nez et la peau reçoivent ces signaux puis envoient des messages au cerveau qui produit une réponse. Par exemple, lorsqu'on touche une plaque chauffante, c'est notre cerveau qui nous dit qu'il fait chaud, pas notre peau.

En d'autres termes, le capteur est un appareil qui, lorsqu'il est exposé à un phénomène physique (température, déplacement, force, etc.) produit un signal de sortie proportionnel et approprié pour le traitement (électrique, mécanique, magnétique, etc.). De nos jours, les capteurs convertissent la mesure des phénomènes physiques en un signal électrique - analogique ou numérique - lisible.

Il est à noter que, le terme transducteur est souvent utilisé comme synonyme de capteurs. Cependant, idéalement, un capteur est un appareil qui répond à un changement du phénomène physique. En d'autres termes, un transducteur est un dispositif qui convertit une forme d'énergie en une autre tandis que le capteur dont fait partie le transducteur convertit la sortie du transducteur en un format lisible.

Considérez les exemples suivants de transducteurs :

Ils convertissent une forme d'énergie en une autre, mais ils ne quantifient pas les conversions.

- L'ampoule convertit l'énergie électrique en lumière et en chaleur; Cependant, il ne quantifie pas combien de lumière ou de chaleur.
- Une batterie convertit l'énergie chimique en énergie électrique, mais elle ne quantifie pas exactement la quantité d'énergie électrique convertie.

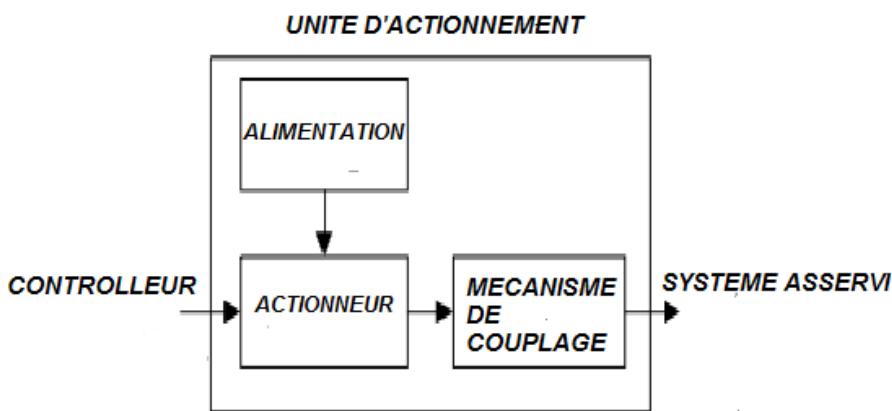
D'où le but d'un capteur est de quantifier un niveau d'énergie.

Les capteurs sont des transducteurs lorsqu'ils détectent une forme d'apport d'énergie et sortie dans une forme différente d'énergie. Par exemple, un thermocouple réagit à un changement de

température (énergie thermique) et produit un changement proportionnel de la force électromotrice (énergie électrique). Par conséquent, un thermocouple peut être appelé un capteur et / ou un transducteur.

### - ACTIONNEURS

Les actionneurs sont essentiellement le muscle derrière un système mécatronique qui accepte une commande de contrôle (la plupart du temps sous la forme d'un signal électrique) et produit un changement dans le système physique en générant force, mouvement, chaleur, flux, etc. Normalement, les actionneurs sont utilisés en conjonction avec l'alimentation électrique et un mécanisme de couplage tel qu'illustré à la figure 2. L'unité d'alimentation fournit une alimentation AC ou CC à la tension et au courant assignés. Le mécanisme de couplage agit comme l'interface entre l'actionneur et le système. Les mécanismes typiques incluent le crémaillère et le pignon, l'entraînement par engrenages, l'entraînement par courroie, la vis mère et l'écrou, le piston et les tringleries.



**Figure 2 :** Schéma type d'une unité d'actionnement

En d'autres termes, un actionneur est quelque chose qui actionne ou déplace quelque chose. Plus précisément, un actionneur est un dispositif qui recouvre l'énergie en mouvement ou en énergie mécanique. Un actionneur est un dispositif qui actionne ou déplace quelque chose. Un actionneur utilise de l'énergie pour fournir un mouvement. Par conséquent, un actionneur est un type spécifique d'un transducteur.

---

## Partie I

# *LES ACTIONNEURS PNEUMATIQUES ET HYDRAULIQUES*

---

### **CHAPITRE I : ENERGIE PNEUMATIQUE**

1. CONSTITUTION D'UNE INSTALLATION PNEUMATIQUE
2. PRODUCTION DE L'ENERGIE PNEUMATIQUE
3. PRINCIPES PHYSIQUES

### **CHAPITRE II : PREACTIONNEURS PNEUMATIQUES**

1. FONCTION
2. CONSTITUANTS D'UN DISTRIBUTEUR
3. PRINCIPAUX DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES
4. DISPOSITIFS DE COMMANDE
4. APPLICATIONS : PRESSE PNEUMATIQUE

### **CHAPITRE III : ACTIONNEURS PNEUMATIQUES**

1. VERINS
2. GENERATEUR DE VIDE OU VENTURI

### **CHAPITRE IV : ACTIONNEURS HYDRAULIQUES**

1. DEFINITION
2. PRINCIPAUX TYPES DE VERINS
3. DIMENSIONNEMENT DES VERINS
4. APPLICATIONS

# L'ÉNERGIE PNEUMATIQUE

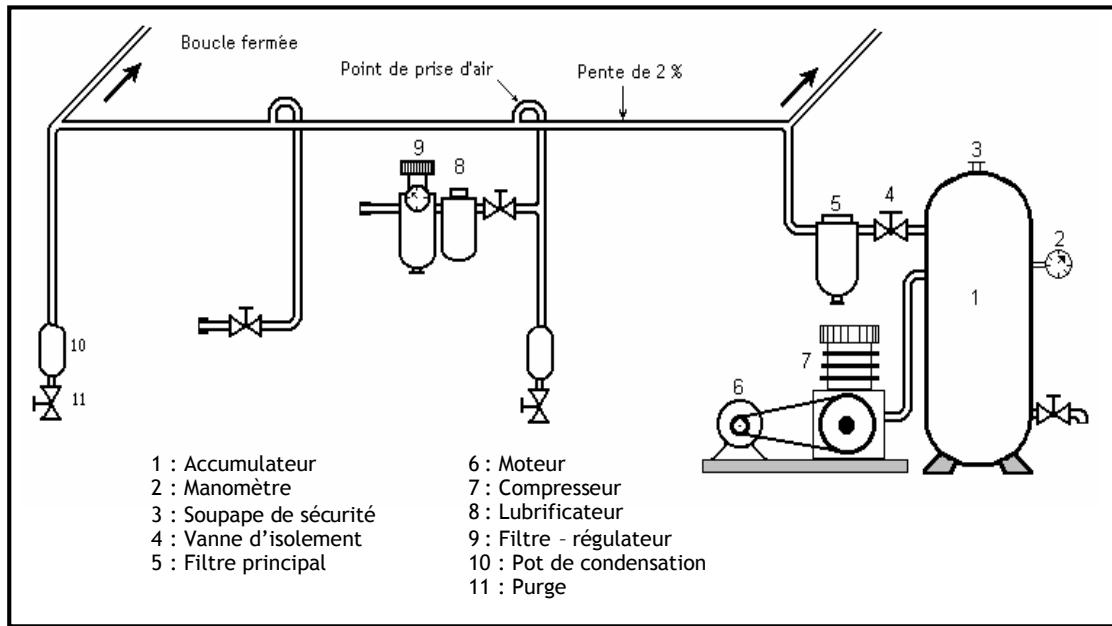
## INTRODUCTION :

L'énergie pneumatique est couramment utilisée dans la partie opérative d'un système automatisé ; la source de cette énergie est l'air comprimé. La production de l'énergie pneumatique (air comprimé) peut être résumée en 3 phases principales : la compression, stockage et distribution de l'air comprimé.

## 1. Constitution d'une installation pneumatique:

Une installation pneumatique est composée de :

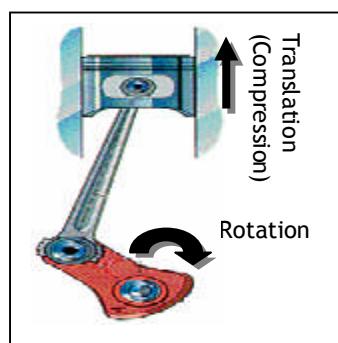
1. un générateur d'air comprimé (compresseur)
2. un réservoir de capacité proportionnelle au débit de l'installation
3. un réseau de canalisations
4. des appareils auxiliaires assurant diverses fonctions :
  - réglage des caractéristiques de l'air : détendeur, régulateur de pression, etc.
  - conditionnement de l'air : filtre, lubrificateur, etc.
  - contrôle et sécurité : manomètre, soupape, etc.



## 2. Production de l'énergie pneumatique :

### 2.1. Compression de l'air :

Un compresseur (7), entraîné par un moteur (6), aspire et comprime l'air ambiant et l'accumule dans un réservoir (accumulateur).



## 2.2- Stockage :

L'accumulateur (1) stocke l'air comprimé issu du compresseur et évite ainsi de faire fonctionner le moteur tout le temps. Il permet en plus de compenser les variations de pression. Pour des raisons de sécurité, l'accumulateur comporte :

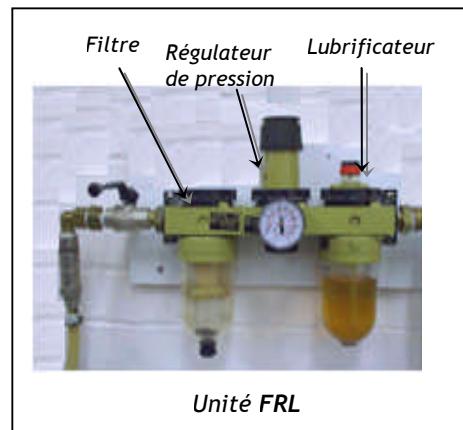
- une vanne d'isolement
- un robinet de purge,
- un manomètre.



## 2.3- Distribution :

La distribution de l'air comprimé s'effectue par un réseau de canalisations et différents piquages servant de point d'accès à ce réseau pneumatique. Un groupe de conditionnement y est installé afin de filtrer et de lubrifier l'air comprimé :

- **un filtre** : pour assécher l'air et filtrer les poussières.
- **un manomètre** : pour régler et réguler la pression de l'air.
- **un lubrificateur** : pour éviter la corrosion et à améliorer le glissement.

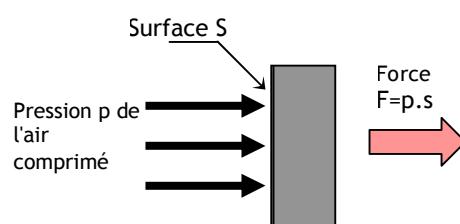


## **3. PRINCIPES PHYSIQUES :**

La force mécanique produite par l'énergie pneumatique est liée à la pression par la relation :

$$F = p \cdot S$$

- F est la force résultante en Newton
- p est la pression en Pascals (Pa)
- S est la surface en  $m^2$ .



Le pascal étant trop petit pour les pressions utilisées dans l'industrie, on utilise souvent le bar :

- 1 bar =  $10^5$  Pa.
- 1 bar = 100000 N/m<sup>2</sup>

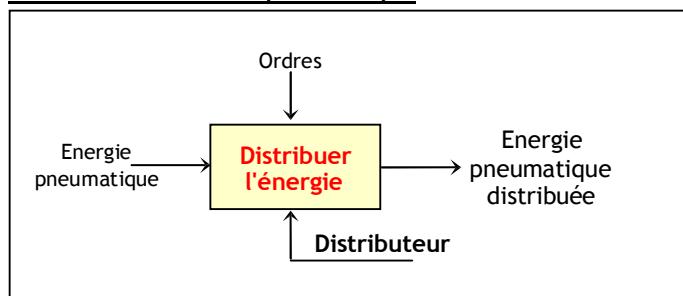
Dans une installation pneumatique on se limite à une pression de 6 à 10 bar.

### 1. FONCTION :

Ils ont pour fonction essentielle de distribuer l'air sous pression aux différents orifices des **actionneurs pneumatiques**. Comme le contacteur est associé à un moteur électrique, le distributeur est le pré-actionneur associé à un vérin pneumatique :

Distributeur électropneumatique

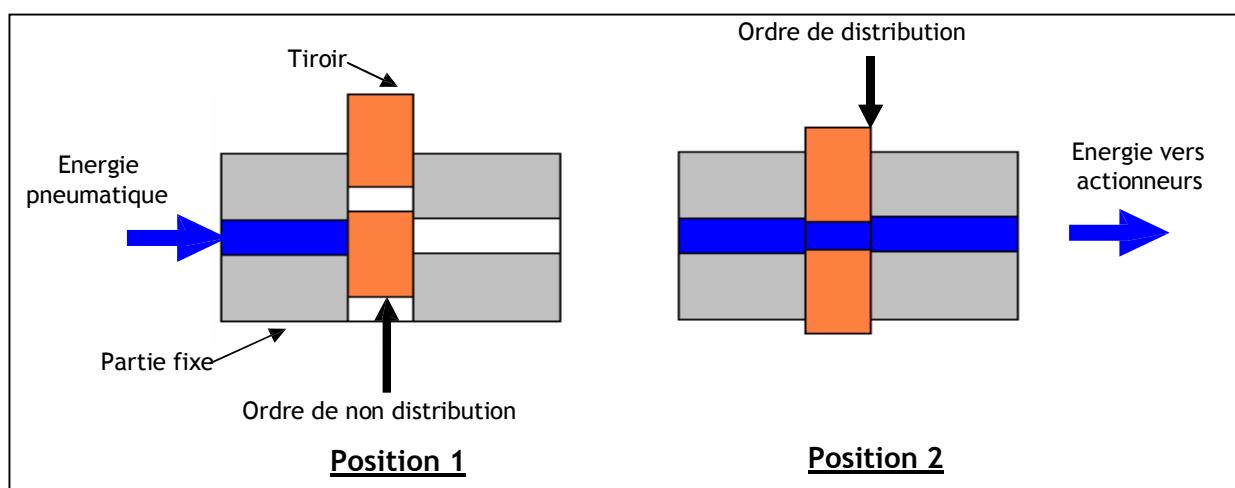
Rôle d'un distributeur pneumatique



### 2. CONSTITUANTS D'UN DISTRIBUTEUR :

On peut comparer un distributeur à un robinet que l'on ouvre et ferme non pas à la main, mais par des ordres donnés par la PC.

Il est constitué d'une partie fixe (le corps) et d'une partie mobile (le tiroir) qui peut se déplacer à l'intérieur de la partie fixe selon un ordre directe (manuelle) ou indirecte (provenant de la PC). Le tiroir est doté de conduites permettant le passage de l'air entre les différents orifices de la partie fixe.

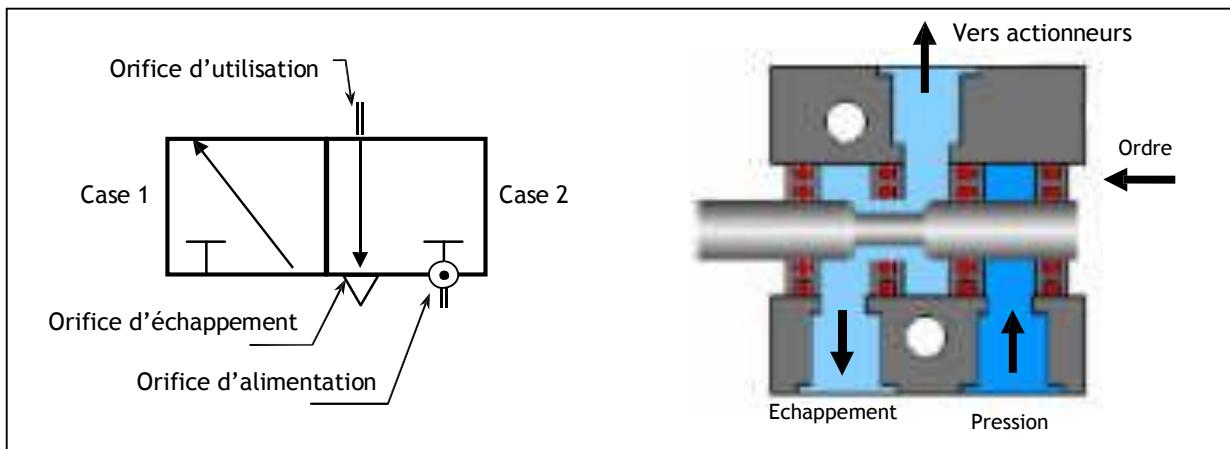


### 3. LES PRINCIPAUX DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES:

Un distributeur est caractérisé :

- **Par son nombre d'orifices**, c'est à dire le nombre de liaisons qu'il peut avoir avec son environnement (arrivée, sortie(s) et échappement de la pression) ;
- **Par son nombre de positions** que peut occuper le tiroir.

Le nom et la représentation d'un distributeur découlent de ces deux caractéristiques. Chaque position est symbolisée par un carré dans lequel figurent les voies de passage de l'air comprimé :



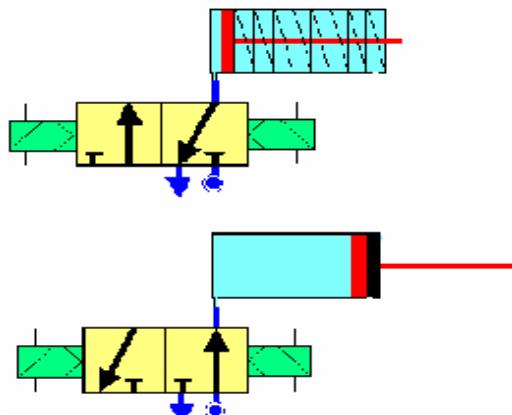
### Exemples :

#### Distributeurs 3/2 et 5/2

##### Distributeur 3/2



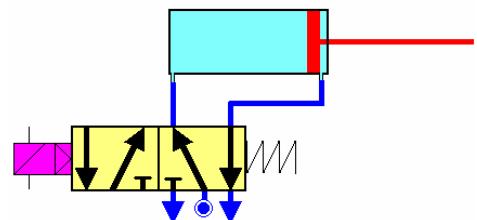
- En position repos, l'orifice d'alimentation du vérin est relié à l'orifice d'échappement : la tige est maintenue donc rentrée ;
- En position travail, provoquée par un ordre de la PC, l'orifice d'alimentation du vérin est mis en liaison avec la source d'air comprimé. Par conséquent, la tige sort.



##### Distributeur 5/2



Suivant la position occupée, l'air comprimé est verrouillé vers l'un des deux orifices d'alimentation du vérin tandis que l'autre est à l'échappement.



## 4. LES DISPOSITIFS DE COMMANDE :

La commande du distributeur a pour fonction de positionner le tiroir dans une position ou dans l'autre. Elle peut être électromagnétique, pneumatique, électropneumatique ou manuelle. On parle :

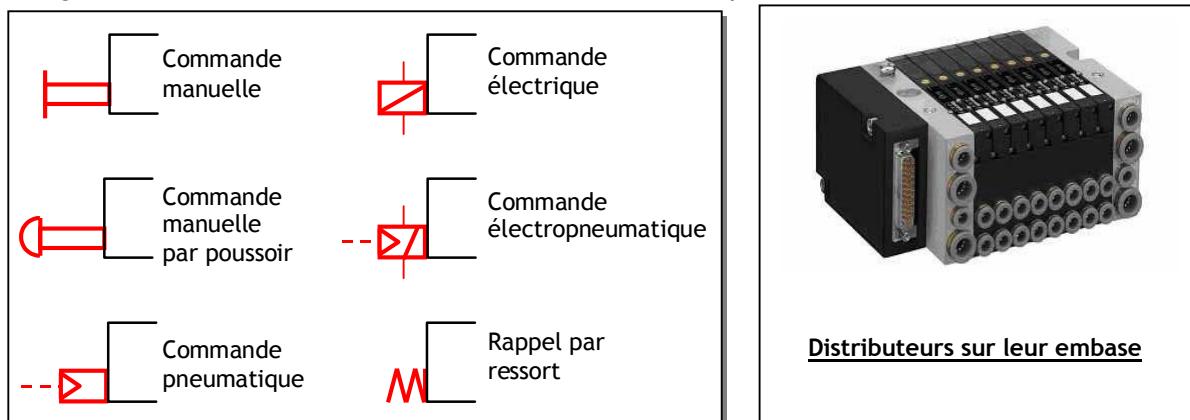
- D'un distributeur monostable si le retour du tiroir à sa position initiale est assuré par un ressort de rappel ;
- d'un distributeur bistable si le tiroir reste dans l'état que lui a imposé le dernier ordre envoyé par la PC

#### Distributeur à commande électrique

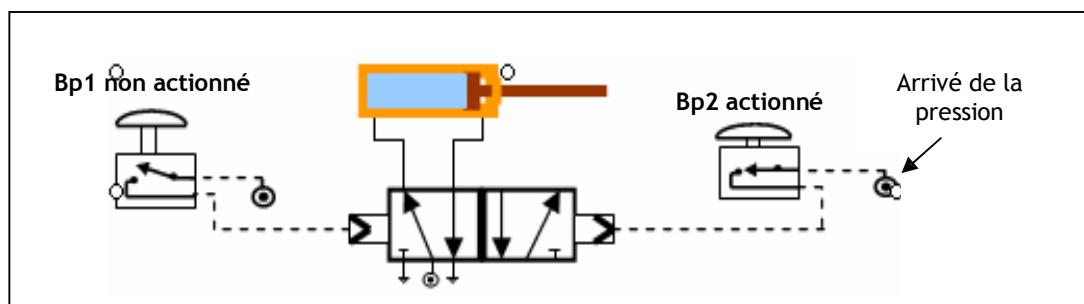


La commande du distributeur est représentée par un rectangle accolé à la case qu'elle commute et complétée par un ou plusieurs symboles schématisant la technologie utilisée.

La figure suivante donne la schématisation des différents dispositifs de commande :



**Exemples:** distributeur à pilotage pneumatique

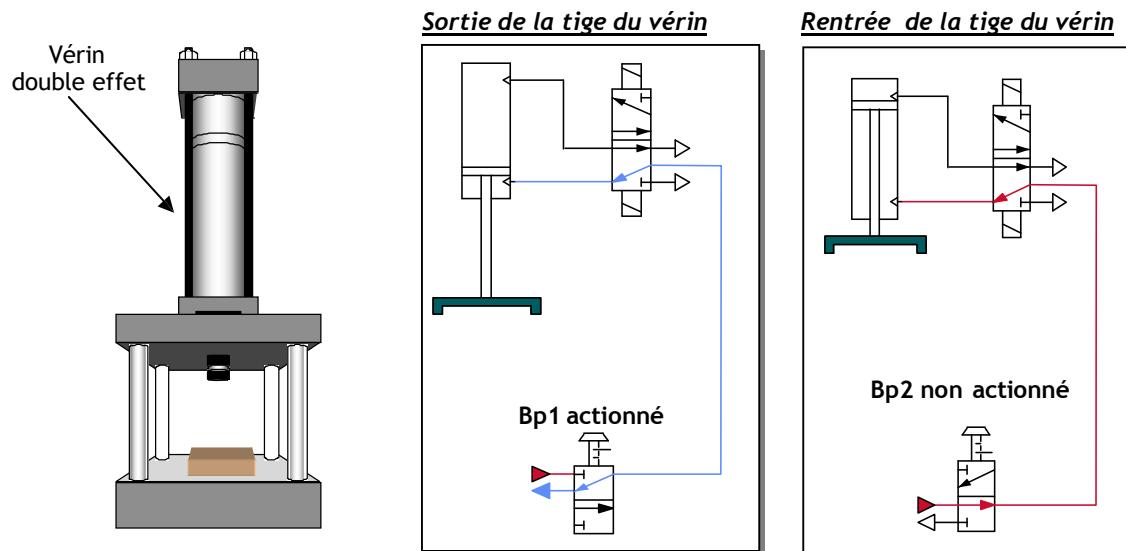


## 5. APPLICATION: PRESSE PNEUMATIQUE

Dans une presse pneumatique on a le cycle suivant:

- ✓ Un appui sur un bouton poussoir (Bp1) : descente de la tige du vérin
- ✓ Un appui sur un bouton poussoir (Bp2) : rentrée de la tige du vérin

Le schéma ci-dessus montre le câblage du vérin pneumatique de la presse avec le distributeur bistable 5/2:



### 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

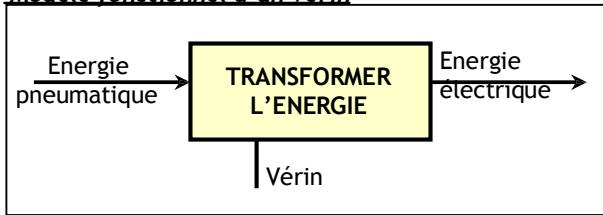


### 1. LES VERINS :

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

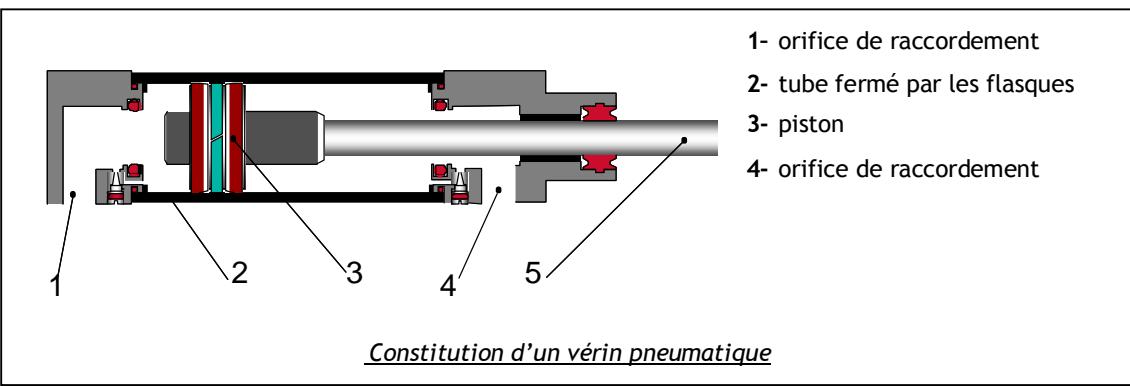


Vérin standard



#### 1.1. Constitution et principe de fonctionnement :

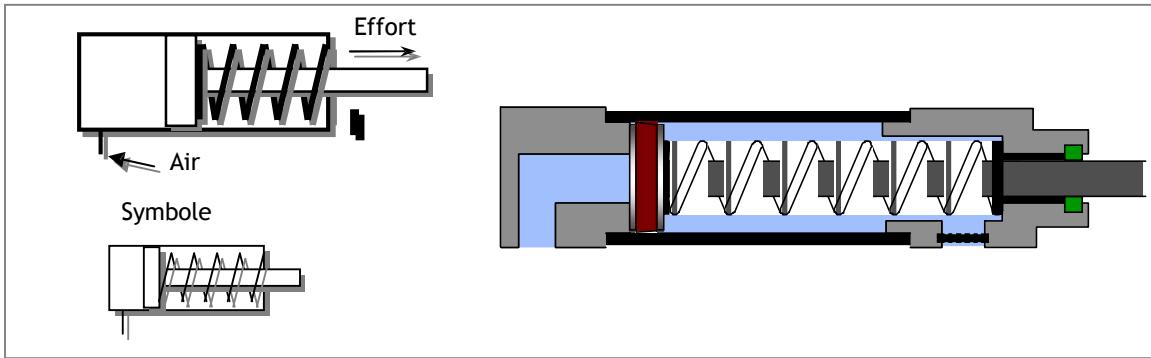
Un vérin est constitué d'un cylindre, fermé aux deux extrémités, à l'intérieur duquel se déplace librement un piston muni d'une tige, sous l'effet des forces dues à la pression de l'air comprimé. Pour faire sortir la tige, on applique la pression sur la face arrière du piston et pour la faire rentrer,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



## 1.2. Types usuels des vérins:

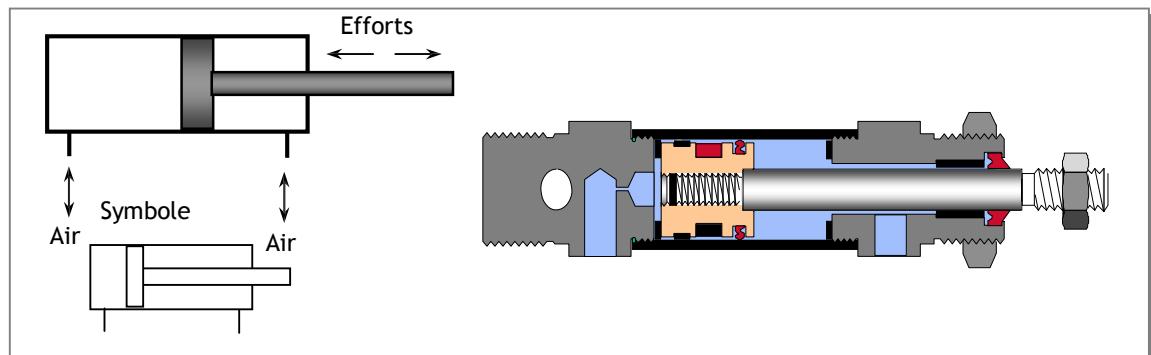
### 1.2.1. Vérin simple effet:

Ce vérin produit l'effort dans un seul sens. Il n'est donc alimenté que d'un seul côté. 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 :

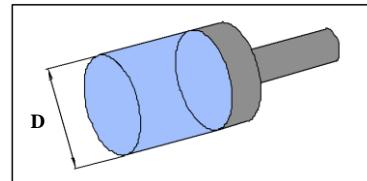
Le fonctionnement d'un vérin dépend des caractéristiques suivantes :

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

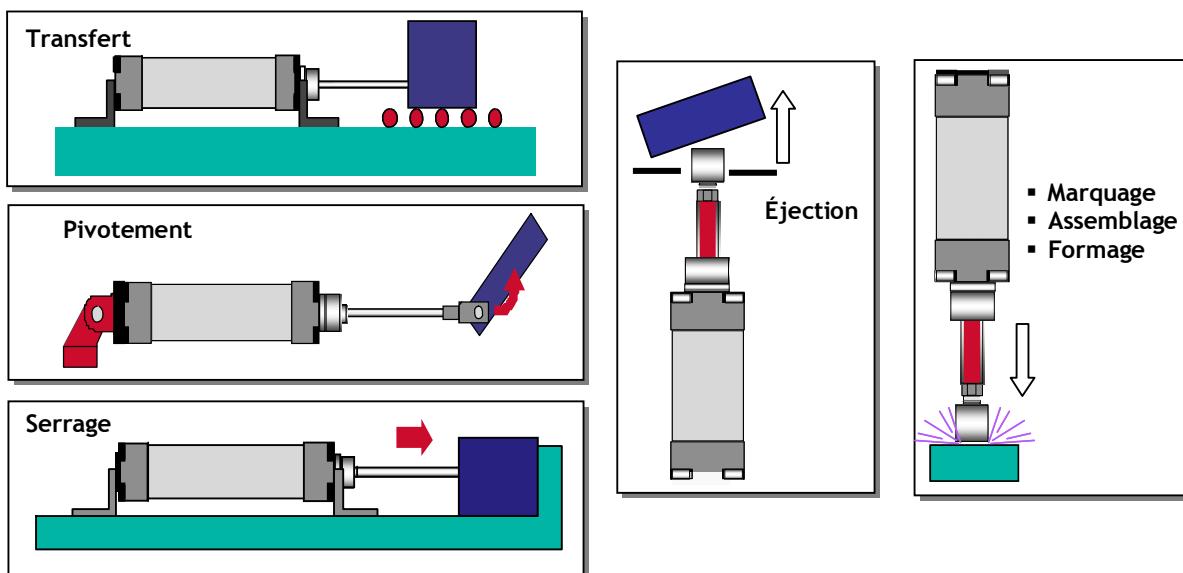
Le choix et le dimensionnement d'un vérin s'effectuent en fonction de l'effort à transmettre.

### 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:  $F = (p\pi D^2) / 4$  soit **3016 N**.



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

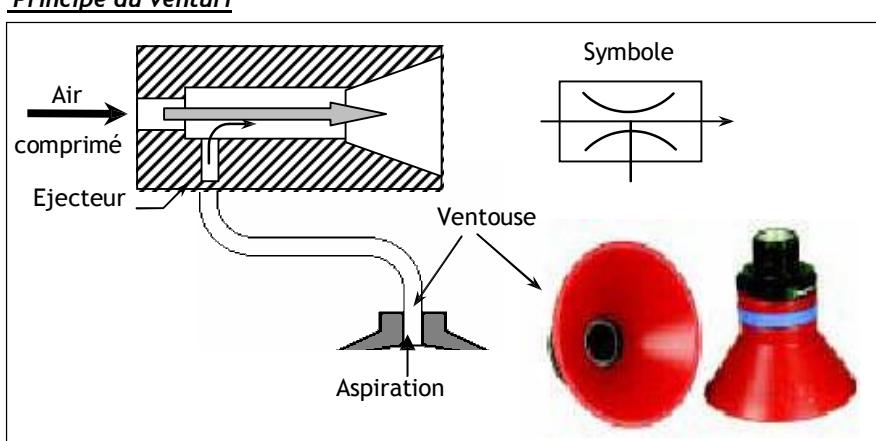


## 2. LE GENERATEUR DE VIDE OU VENTURI :

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.

### Principe du venturi

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.



## 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 :

- l'effort théorique  $F_o$  pour ouvrir la porte.
- 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 pousoirs  $Bp1$   $Bp2$ . Etablir le schéma de câblage du circuit pneumatique (vérin+distributeur+ $Bp1$ + $Bp2$ ).

### CORRIGE :

1- a)  $F_o = p \times \pi D^2 / 4$  AN  $F_o = 754 \text{ N.}$   
b)  $F_f = p \times \pi (D^2 - d^2) / 4$  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 %.

# LES ACTIONNEURS HYDRAULIQUES

## INTRODUCTION :

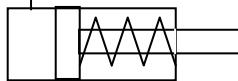
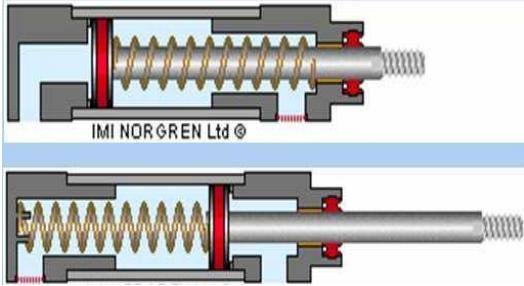
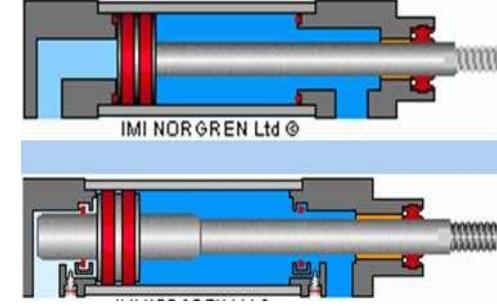
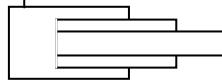
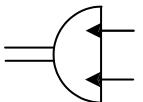
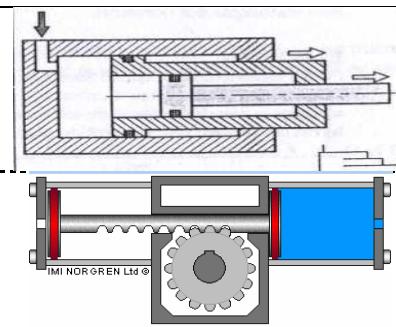
Les convertisseurs hydrauliques transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique. On distingue:

- Les récepteurs pour mouvement de translation: les vérins.
- Les récepteurs pour mouvement de rotation: les moteurs hydrauliques.

**Remarque :** Vue la très grande similarité entre les actionneurs hydrauliques et pneumatiques, on limitera l'étude dans ce chapitre aux notions les plus importantes.

### 1. Les vérins:

#### 1.1. Principaux types de vérin :

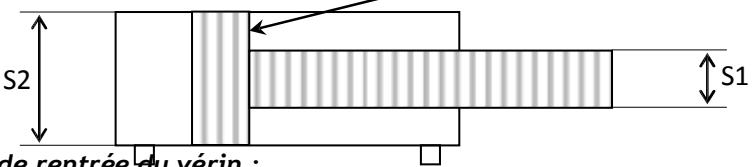
	Symboles	Schémas
<b>Vérin simple effet</b> L'ensemble tige piston se déplace dans un seul sens sous l'action du fluide sous pression. Le retour est effectué par un ressort ou charge. <b>Avantages</b> : économique et consommation de fluide réduite. <b>Inconvénients</b> : encombrant, course limitée. <b>Utilisation</b> : travaux simples (serrage, éjection, levage...)		
<b>Vérin double effet</b> L'ensemble tige piston peut se déplacer les deux sens sous l'action du fluide. L'effort en poussant est légèrement plus grand que l'effort en tirant. <b>Avantages</b> : plus souple, réglage plus facile de la vitesse, amortissement de fin de course réglable. <b>Inconvénients</b> : plus coûteux. <b>Utilisation</b> : grand nombre d'applications industriels		
<b>Vérins spéciaux</b> 1- <b>Vérin à tige télescopique</b> : simple effet permet des courses importantes tout en conservant une longueur repliée raisonnable. 2- <b>Vérin rotatif</b> : l'énergie du fluide est transformée en mouvement de rotation. L'angle de rotation peut varier de 90° à 360°. Les amortissements sont possibles.	 	

### 1.2. Dimensionnement des vérins :

➤ Pour déterminer la pression ( $p$ ) d'utilisation d'un vérin, il faut connaître :  $S = S_2 - S_1$

- La force  $F$  nécessaire à développer.
- La section annulaire  $S$ .

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \text{ ou encore } S = \pi r^2$$



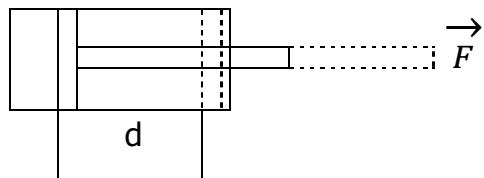
Pour déterminer les vitesses de sortie et de rentrée du vérin :

Notons :

- $Q$  : le débit du fluide dans le vérin
- $V$  : la vitesse de la tige du vérin

$$V = \frac{Q}{S_2} \text{ en Système International avec } V \text{ en m/s, } Q \text{ en m}^3/\text{s et } S_2 \text{ en m}^2$$

➤ Puissance utile :



$$P = \frac{W}{t} \text{ or } W = F \cdot d \text{ d'où } P = \frac{F \cdot d}{t} \text{ mais comme } d \text{ (la course de vérin) est égale à } \frac{v}{t} \text{ ce qui donne : } P = F \cdot V$$

➤ Puissance hydraulique absorbée :  $P = Q \cdot P$

➤ Rendement d'un vérin :  $\eta = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance dépensée}}$

### EXERCICE RESOLU

On veut déplacer une charge de 10 T à l'aide d'un vérin. Sachant que le diamètre du vérin est de 20 mm et que son alésage est de 100 mm. Calculer la pression  $P$  nécessaire pour pousser la charge.

CORRIGE :

$$P =$$

### EXERCICES NON RESOLUS

#### EXERCICE N° 1 :

Le piston d'un vérin a une section de  $40 \text{ cm}^2$ . Ce vérin reçoit un débit de  $24 \text{ l/min}$ . Quelle est :

- La vitesse  $V$  de déplacement en sortie de tige.
- La durée de la course si celle-ci fait 20 cm.

#### EXERCICE N° 2 :

Un vérin a pour section côté piston  $40 \text{ cm}^2$ . Il reçoit un débit  $36 \text{ l/min}$ . La pression de service est de 80 bar. Calculer :

- La puissance fournie par le vérin.
- La puissance nécessaire au récepteur, sachant que le rendement global de l'installation est de 60%.

---

## Partie II

# *LES ACTIONNEURS ELECTRIQUES*

---

### **CHAPITRE I : REACTIONNEURS ELECTRIQUES**

1. RELAIS
2. CONTACTEUR
3. SECTIONNEUR
4. FUSIBLES
5. RELAIS THERMIQUE

### **CHAPITRE II : CONVERTISSEURS ELECTROMECANIQUES**

1. ORGANISATION DE LA MACHINE
2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
3. MODELE ELECTRIQUE SIMPLE DU MOTEUR A COURANT CONTINU
4. DEMARRAGE DU MOTEUR A COURANT CONTINU
5. BILAN DES PUISSANCE
6. REVERSIBILITE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU
7. ALIMENTATION DU MOTEUR
6. FONCTIONNEMENT A VITESSE VARIABLE

### **CHAPITRE III : MOTEURS PAS APAS**

#### INTRODUCTION

1. MOTEUR A AIMANT PERMANANT
2. MOTEUR A RELUCTANCE VARIABLE
3. MOTEUR HYBRIDE

## INTRODUCTION

Les préactionneurs sont des constituants qui, sur ordre de la partie de commande, assurent la distribution de l'énergie de puissance aux actionneurs. Dans les circuits électriques, les préactionneurs sont généralement soit un relais, soit un contacteur. Le contacteur assure en plus l'extinction de l'arc électrique qui accompagne souvent la commutation de l'énergie de forte puissance. En effet, quand on ouvre un circuit en cours de fonctionnement, le contact en cause provoque un arc électrique qui peut être dangereux pour les biens et les personnes.



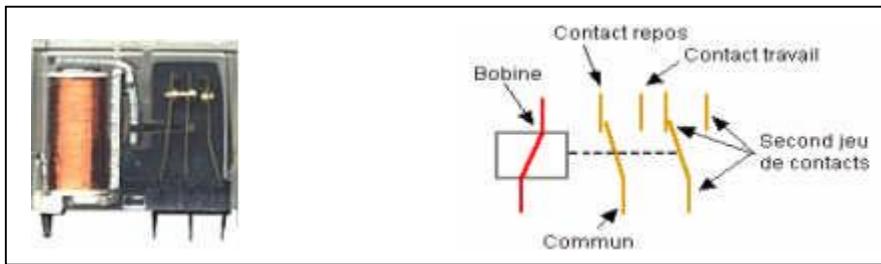
## 1. LE RELAIS

Le relais est un composant électrique réalisant la fonction d'interfaçage entre un circuit de commande, généralement bas niveau, et un circuit de puissance alternatif ou continu (isolation galvanique). On distingue deux types de relais : le relais électromagnétique et le relais statique.

### 1.1. Relais électromagnétique :

#### 1.1.1. principe :

Un relais électromagnétique est constitué d'une bobine alimentée par le circuit de commande, dont le noyau mobile provoque la commutation de contacts pouvant être placé dans un circuit de puissance. Le relais électromagnétique est réservé pour les faibles puissances.



#### 1.1.2. Caractéristiques fondamentales :

- Tension d'alimentation : C'est une tension continue qui permet d'exciter la bobine.
- La résistance de la bobine : paramètre permettant de déterminer le courant circulant dans le circuit de commande.
- Le courant des contacts : c'est le courant maximal que peut commuter les contacts de relais sans dommage.

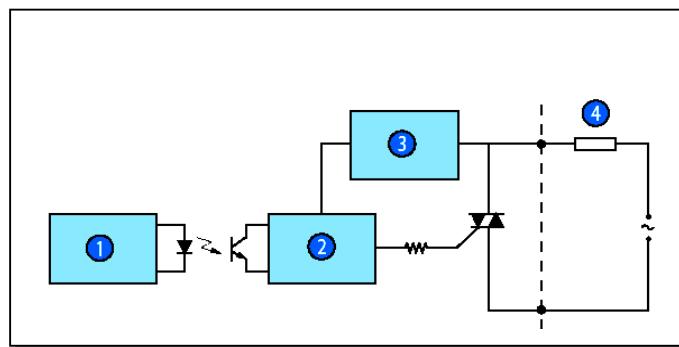
### 1.2. Relais statique :

#### 1.2.1. Définition

Ce qui est vrai pour un relais électromagnétique est vrai pour un relais statique. De plus un relais statique commute de manière totalement statique, sans pièce en mouvement, conférant au composant une durée de vie quasi illimitée. La structure de base d'un relais statique ainsi que son fonctionnement sont comme suit :



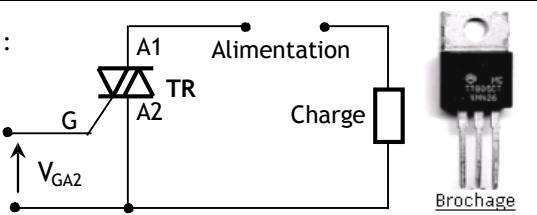
1. Le circuit d'entrée correspond à l'unité de traitement ;
2. Le circuit de mise à niveau ;
3. Le circuit de détection de passage de zéro permet de ne commutuer le relais que si la tension secteur est pratiquement nulle ; ainsi on évitera les rayonnements dus à une commutation d'une grande valeur ;
4. La charge.



Fonctionnement simplifié d'un TRIAC

Le triac TR se comporte comme un interrupteur commandé :

- Si  $V_{GA2} = 0$ , TR est bloqué (circuit ouvert), la charge n'est pas alimentée ;
- Si  $V_{GA2} = 1V$ , TR conduit (circuit fermé : sa tension  $V_{A1A2}$  est négligeable), la charge est alimentée.

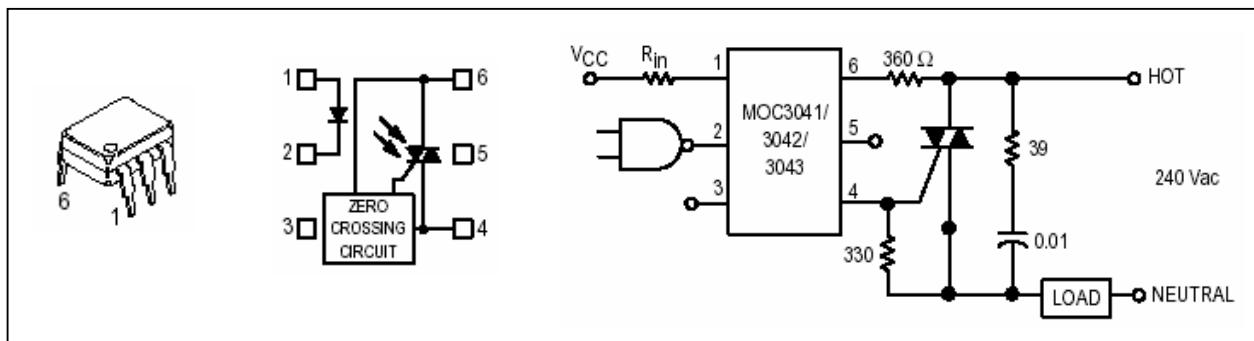


### 1.2.2. Caractéristiques fondamentales :

- Courant d'emploi : courant maximal que peut commuter le contact de sortie.
- Tension d'entrée : c'est la tension d'alimentation. Elle peut être continue ou alternative.
- Tension de sortie : c'est la tension d'alimentation de la charge. Elle est généralement de type alternatif.

### 1.3. Exemple de circuit :

La figure suivante présente un exemple de relais statique bien connu le **MOC 341**, ainsi que le montage de base le mettant en œuvre :



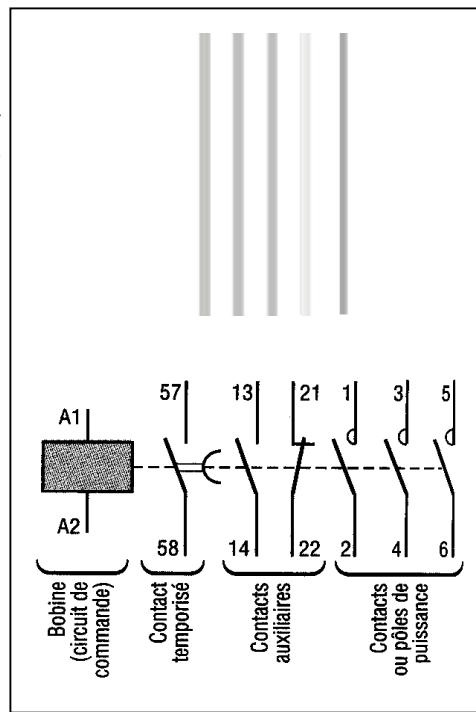
- Si l'unité de commande, ici matérialisée par une porte NAND, fournit un 0 à la sortie de cette porte, la diode infrarouge conduit, ce qui fait conduire l'optotriac interne, qui à son tour commande le triac extérieur, qui devient comme un circuit fermé ; la charge (LOAD) est alors alimentée par 240V AC
- Le relais est muni du système "zero crossing", ce qui évite de commander le triac quand la tension secteur est grande, ce qui évite des parasites de commutation.

## 2. LE CONTACTEUR

### 2.1. Principe :

Un contacteur est un relais électromagnétique particulier, pouvant commuter de fortes puissances grâce à un dispositif de coupure d'arc électrique. Sa commande peut être continue ou alternative. Sa constitution est comme suit :

- Des pôles principaux de puissance ;
- Un contact auxiliaire (avec possibilité d'additionner au contacteur un bloc de contacts auxiliaires instantanés ou temporisés) ;
- une armature fixe et un autre mobile ;
- Un ressort de rappel ;
- Un circuit magnétique ;
- Une bobine de commande du contacteur. Si la bobine est alimentée elle attire l'armature mobile pour actionner les pôles de puissance ; Si elle n'est pas alimentée, un ressort de rappel ouvre les pôles de puissance.



### 2.2. Caractéristiques électriques :

- Tension nominale d'emploi  $U_e$  : C'est la tension entre deux pôles de puissance qui ne provoque ni échauffement ni détérioration du contacteur.
- Courant nominale d'emploi  $I_e$  : C'est le courant qui peut circuler dans les pôles de puissance sans provoquer ni échauffement ni détérioration du contacteur.
- Courant thermique conventionnel ( $I_{th}$ ) : courant qu'un contacteur en position fermée peut supporter pendant 8 heures sans que l'échauffement de la bobine ne dépasse  $90^\circ C$ .
- Pouvoir de coupure : courant maximal que le contacteur peut couper.

### 2.3. Catégories de fonctionnement et choix :

Pour choisir un contacteur il faut tenir compte, en plus des caractéristiques précédentes, des catégories d'emploi. Une catégorie d'emploi définit, pour l'utilisation normale d'un contacteur, les conditions d'établissement et de coupure du courant, en fonction du courant nominal d'emploi "le" et de la tension nominale d'emploi "Ue" ; elle dépend :

- De la nature du récepteur contrôlé (résistance, moteur à cage, moteur à bagues, etc.).
- Des conditions d'emploi dans lesquelles s'effectuent les fermetures et les ouvertures (moteur lancé ou calé, en cours de démarrage, freinage par contre courant, etc.).

Tableau 5

En alternatif		En courant continu	
Catégorie	Utilisation	Catégorie	utilisation
AC1	Résistance	DC1	Résistance
AC2	Moteur asynchrone à bague	DC2	Moteur Shunt
AC3	Moteur asynchrone à cage.	DC3	Démarrage et freinage par contre courant des moteurs Shunt
AC4	Moteurs asynchrone à cage et à bagues	DC4	Moteurs série
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversion du sens de marche</li> <li>- Freinage par contre courant</li> <li>- Marche par "à coups"</li> </ul>	DC5	Démarrage et freinage par contre courant des moteurs série

Pour choisir un contacteur on utilise généralement les guides de choix proposés par les constructeurs :

### Tripolaires

charges non inductives courant maximal ( $\theta \leq 60^\circ\text{C}$ ) catégorie d'emploi AC-1	nombre de pôles	contacts auxiliaires instantanés	réf. de base à compléter par le repère de la tension (2) fixation (1)
<b>A</b>			
<b>raccordement par vis-étriers ou connecteurs</b>			
25	3 -	1 1	<u>LC1 D09..</u> ou <u>LC1 D12..</u>
32	3 -	1 1	<u>LC1 D18..</u>
40	3 -	1 1	<u>LC1 D25..</u>
50	3 -	1 1	<u>LC1 D32..</u> ou <u>LC1 D38..</u>
60	3 -	1 1	<u>LC1 D40..</u>
80	3 -	1 1	<u>LC1 D50..</u> ou <u>LC1 D65.. (3)</u>
125	3 -	1 1	<u>LC1 D80..</u> ou <u>LC1 D95.. (3)</u>
200	3 -	1 1	<u>LC1 D115..</u> ou <u>LC1 D150.. (4)</u>

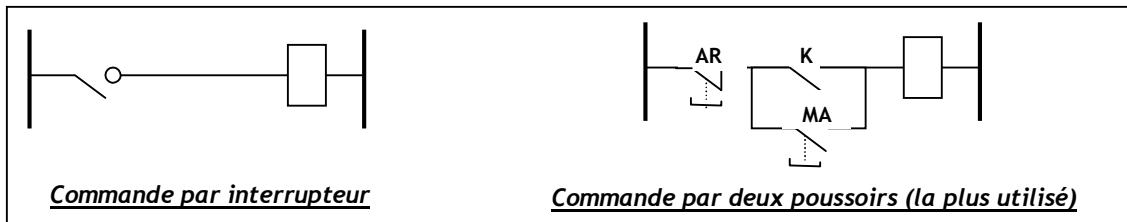
**Exemple de choix :** Un circuit de chauffage est composé par deux charges résistives triphasés. Chaque charge consomme un courant de 10A par phase sous une tension  $U = 380\text{V}$ .

Il s'agit de la catégorie de fonctionnement AC1. Sur le guide de choix on peut opter pour le contacteur suivant :

**LC1-D09 A65**

### 2.5. Schémas de mise en œuvre :

Pour alimenter la bobine d'un contacteur on peut utiliser l'un des deux montages suivants :



Si on appuie sur le bouton poussoir MA la bobine du contacteur est alimentée et ferme le contact K. Même si on relâche le bouton poussoir la bobine reste alimentée (automaintien). Pour couper l'alimentation il suffit d'ouvrir le bouton poussoir AR.

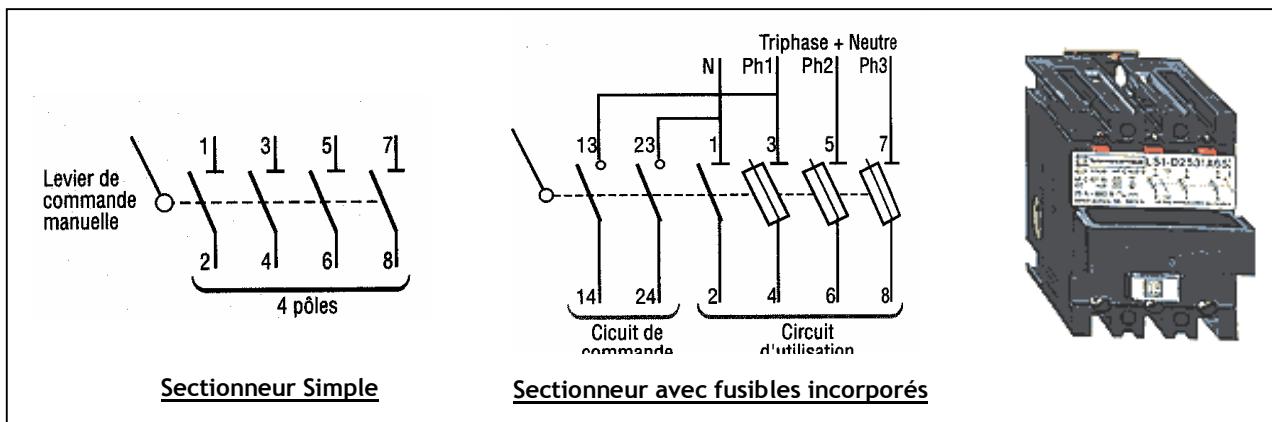
Généralement, dans une chaîne d'énergie électrique, le préactionneur ne s'utilise pas seul, mais associé à une classe d'appareillage typique : sectionneur, relais thermique, etc.

## 3. LE SECTIONNEUR

Le sectionneur est un appareil de connexion qui permet *d'isoler* (séparer électriquement) un circuit pour effectuer des opérations de maintenance ou de modification sur les circuits électriques qui se trouvent en *aval*. Ainsi il permet d'assurer la sécurité des personnes qui travaillent sur le reste de l'installation en *amont*.

Le sectionneur ne possède aucun pouvoir de coupure, par conséquent, il ne doit pas être manœuvré en charge.

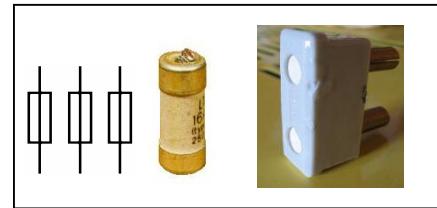
On trouve également des sectionneurs qui servent en plus de porte-fusible. On les désigne par "Sectionneurs porte-fusible" :



## 4. LES FUSIBLES

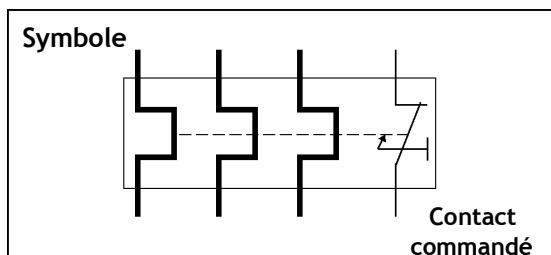
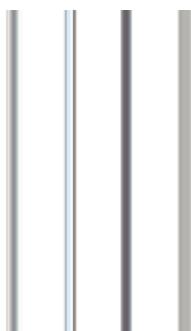
Les fusibles sont des appareils de protection dont la fonction est d'ouvrir un circuit par fusion d'un élément calibré, lorsque le courant dépasse une valeur précise, pendant un temps donné. On trouve :

- La classe gl ou gG : ce sont les fusibles d'usage général ; ils protègent contre les surcharges et les courts-circuits.
- La classe aM : ce sont les fusibles d'accompagnement Moteur prévus pour la protection contre les courts-circuits et surtout pour la protection des moteurs.



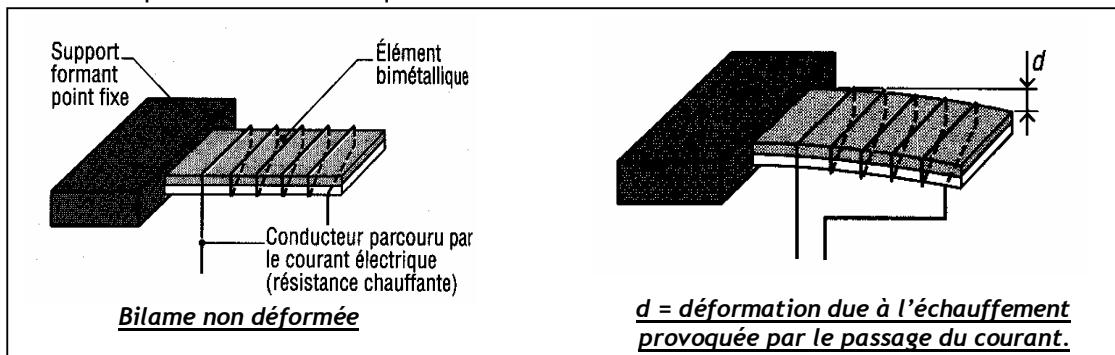
## 5. LE RELAIS THERMIQUE

Le relais thermique est un appareil de protection capable de protéger contre les surcharges prolongées. Une surcharge est une élévation anormale du courant consommé par le récepteur (1 à 3 In), mais prolongée dans le temps, ce qui entraîne un échauffement de l'installation pouvant aller jusqu'à sa destruction. Le temps de coupure est inversement proportionnel à l'augmentation du courant.



Le relais thermique utilise la propriété d'un bilame formé de deux lames minces ayant des coefficients de dilatation différents. L'apparition d'une surcharge se traduit par l'augmentation de la chaleur (effet joule) ; Le bilame détecte l'augmentation de chaleur, se déforme et ouvre le contact auxiliaire.

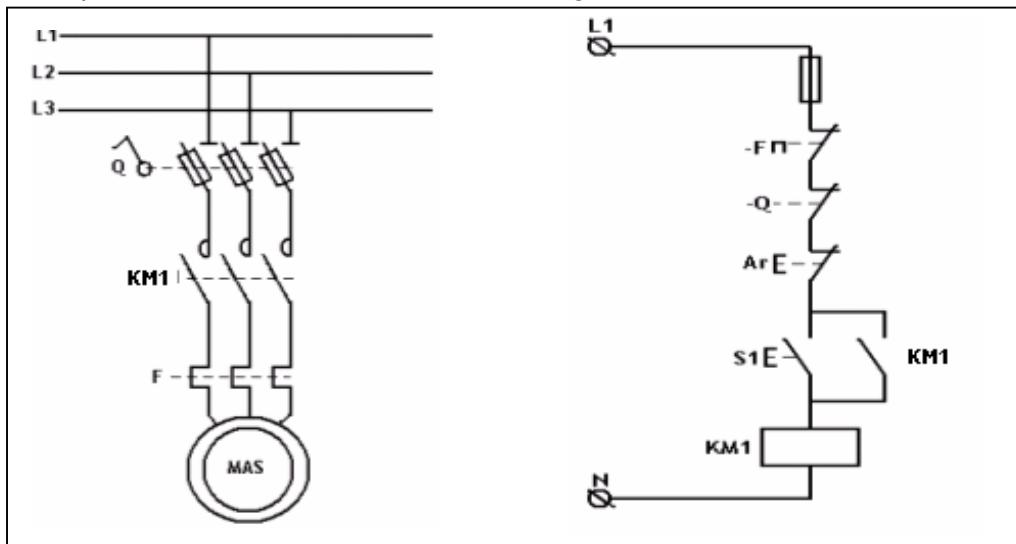
Ce contact étant convenablement placé dans le circuit de commande va couper l'alimentation de la bobine du contacteur qui va ouvrir ses pôles de puissance et interrompre le passage de l'énergie électrique au travers du récepteur. C'est donc l'appareillage de commande qui coupe le circuit de puissance est non pas le relais thermique.



## EXERCICE RESOLU

### EXERCICE N° 1 :

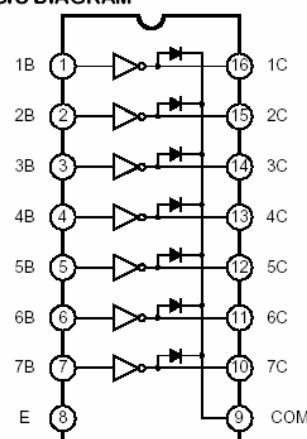
Pour distribuer l'énergie vers l'actionneur, typiquement un moteur triphasé, le schéma suivant est généralement adopté. Décrire le fonctionnement du montage :



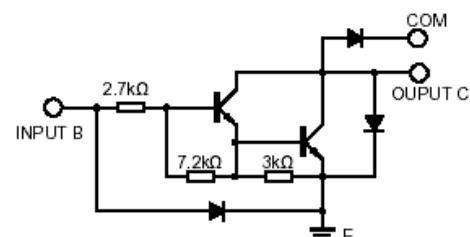
### EXERCICE N° 2 :

Lorsqu'on a à commander plusieurs relais, on a besoin donc de plusieurs transistors. Pour diminuer la surface du circuit imprimé, on utilise des circuits intégrés contenant plusieurs transistors de commande ; ce en plus des montages Darlington. On donne à titre d'exemple le ULN 2003. Donner alors le montage de commande d'un relais avec ce circuit.

LOGIC DIAGRAM



SCHEMATIC(EACH DARLINGTON PAIR)

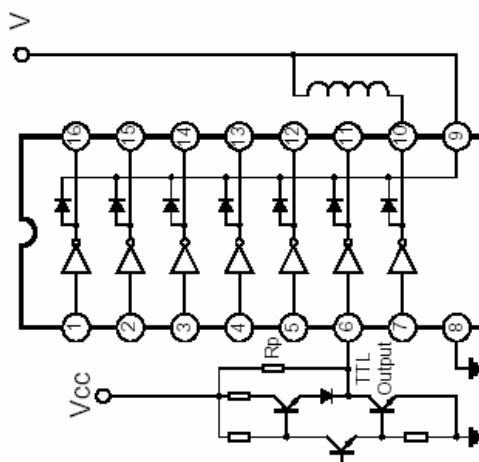


## CORRIGÉ :

### EXERCICE N° 1 :

- Si le bouton poussoir **S1** du circuit de commande est actionné, la bobine du contacteur **KM1** est alimentée ; le contact **KM1** du circuit de commande se ferme ainsi que les contacts **KM1** du circuit de puissance, ce qui entraîne la rotation du moteur **MAS** ;
- Si **S1** est relâché le contact **KM1** du circuit de commande maintient l'alimentation de la bobine du contacteur (mémorisation). On parle alors d'auto maintien ;
- Pour arrêter le moteur **MAS**, on appuie sur le bouton poussoir **Ar**, ce qui ouvre le circuit de commande ; la bobine **KM1** n'est plus alimentée et les contacts **KM1** (commande et puissance) sont ouverts ;
- Si au cours du fonctionnement (**KM1** fermé) il y a une surcharge le relais thermique **F** s'échauffe, le contact qui lui est associé **F** s'ouvre, ce qui ouvre le circuit de commande et protège le moteur **MAS** ;
- Le sectionneur porte fusible a aussi un contact auxiliaire noté **Q** qui s'ouvre avant les contacts **Q** du circuit de puissance **e**, cas où on manœuvre le sectionneur en charge ; ceci a le même effet que le contact auxiliaire du relais thermique. Ce contact est appelé « contact de préocupure ».

### EXERCICE N° 2 :



## EXERCICES NON RESOLUS

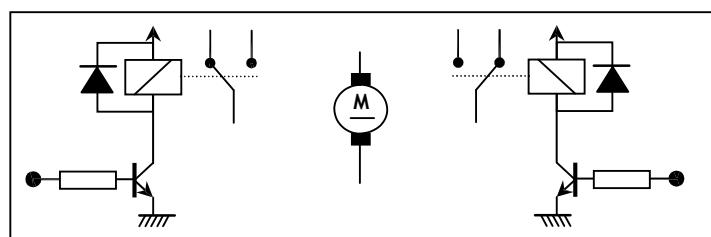
### EXERCICE N° 1 :

A fin de minimiser le courant de démarrage d'un moteur asynchrone, on utilise un démarrage à résistances statoriques. Au démarrage l'alimentation du moteur se fait via ces résistances. Après une temporisation **T** on court-circuite ces résistances pour éliminer leurs effets, le moteur est alors alimenter directement avec le réseau. Donner le circuit de puissance et de commande.

### EXERCICE N° 2 :

Donner un branchement des relais avec le moteur pour que la commande de l'un des deux relais permet de commander la rotation du moteur dans un sens ; et la commande de l'autre permet de le faire tourner dans l'autre sens.

Une utilisation de ce montage est la commande d'un store automatisé.



# CONVERTISSEUR ELECTROMECANIQUE

## 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 :

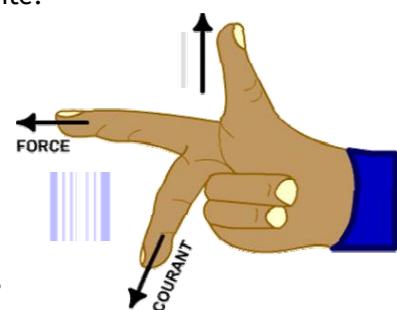
### 2.1. Loi de Laplace :

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 -).

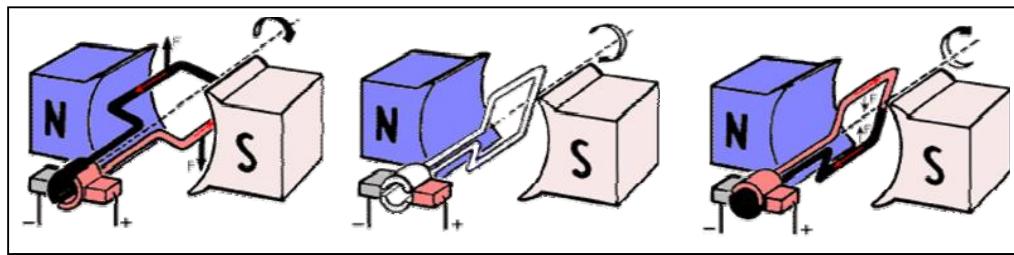
L'index détermine alors le sens de la force.

## 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.

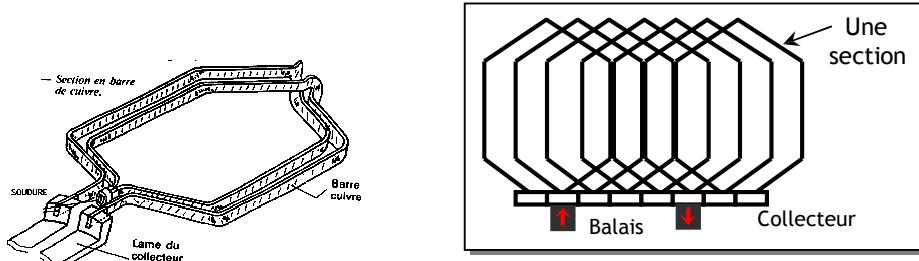
Si le flux est constant cette fcem peut s'écrire :

$$E = k \cdot n$$

### 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 :

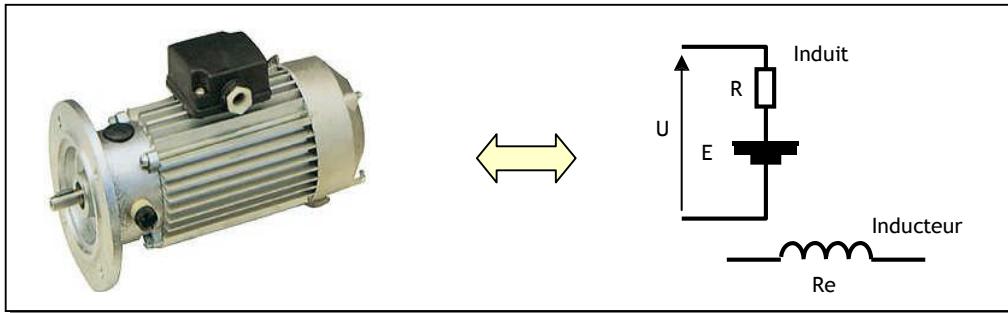
## 2.4. Couple électromagnétique :



La puissance électromagnétique totale est le produit fcem avec le courant induit  $I$  :  $P_e = E \cdot I$ . On sait que la relation qui lit le couple avec la puissance est :  $C = P_e / \Omega$  (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 :

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

### 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).

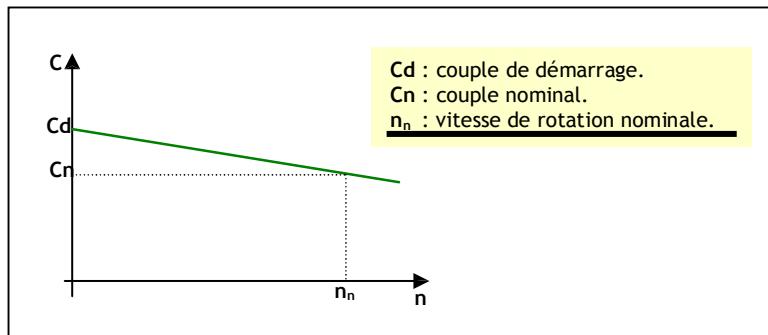
$$\begin{aligned} U &= E + R \cdot I \\ E &= k \cdot n \\ C &= (k/2\pi) \cdot I = k' \cdot I \end{aligned}$$

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

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

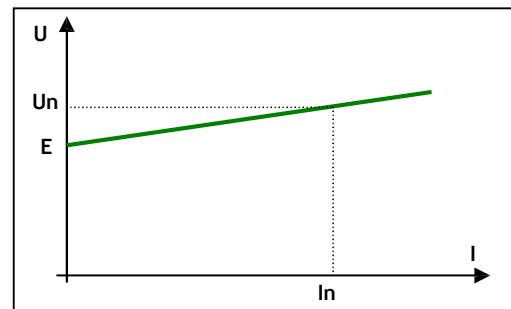
$$C = k' \cdot \left( \frac{U}{R} - \frac{k \cdot n}{R} \right)$$

Cette caractéristique est représentée dans la courbe ci contre :



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

$$U = E + R \cdot I$$



### 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 :

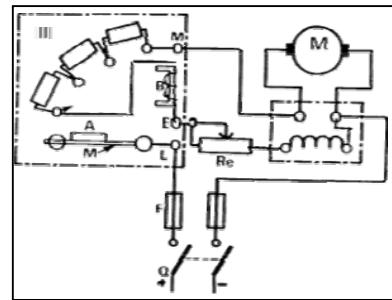
$$U = R \cdot I_D \quad (I_D : \text{courant au démarrage}).$$

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

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

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 :

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

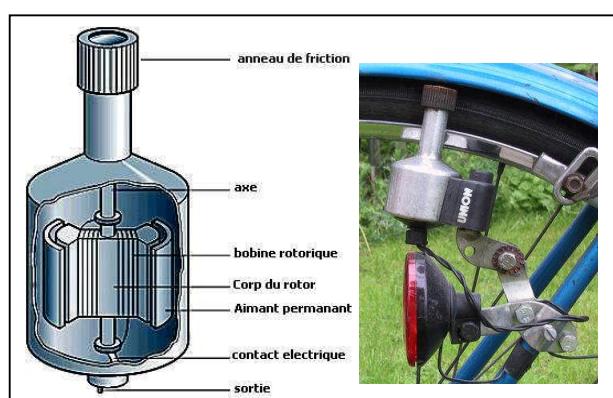
## 6. REVERSIBILITE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU :

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.

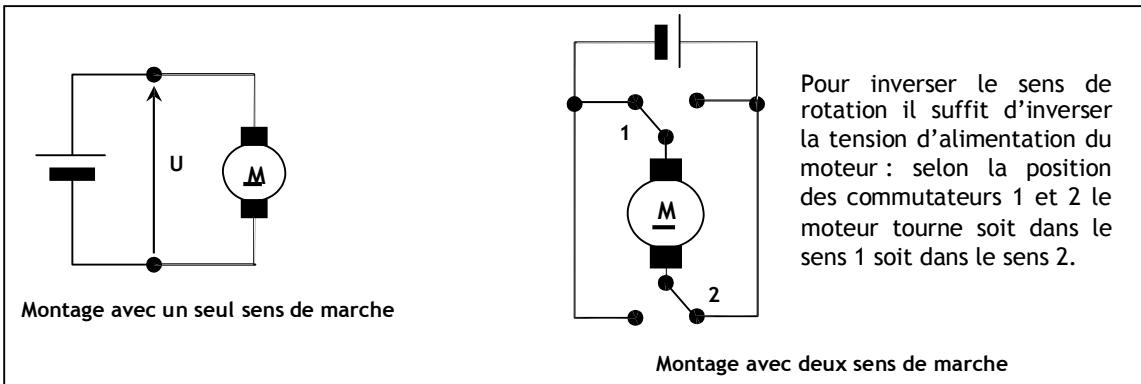
De ce principe découle le fonctionnement en génératrice de la machine à courant continu.

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.



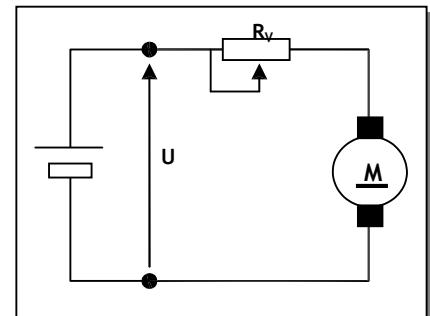
## 7. ALIMENTATION DU MOTEUR :



## 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 applications 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  $T_p = 1 \text{ mN}$  (constant quelque soit la vitesse) ; la charge mécanique accouplée oppose un couple résistant  $T_r$  de  $10 \text{ mN}$  à  $157.08 \text{ rad/s}$ .

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

#### CORRIGE :

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

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

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 :

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

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

# LES MOTEURS PAS A PAS

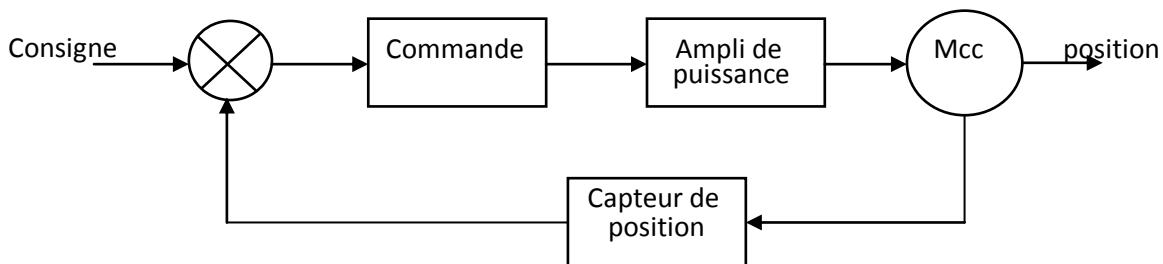
## CHAPITRE 3

### INTRODUCTION :

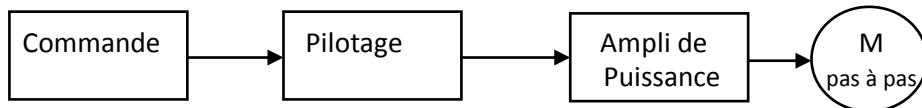


"Un moteur pas à pas transforme des impulsions de commande en une rotation de n° pas du rotor : il permet donc un positionnement précis sans boucle d'asservissement (via potentiomètre, codeur ...).

- **Principe de commande en position d'un moteur à courant continu**



- **Principe de commande d'un moteur pas à pas**



On constate que le système est beaucoup plus simple. En effet, à chaque impulsion du signal de commande correspond au niveau du rotor un déplacement angulaire bien défini appelé « pas ».

Un moteur pas à pas est caractérisé par sa résolution ou encore son nombre de pas par tour. Il peut avoir une valeur comprise entre 0,9° et 90°. Les valeurs les plus couramment rencontrées sont :

- 0,9° : soit 400 pas par tour
- 1,8° : soit 200 pas par tour
- 3,6° : soit 100 pas par tour
- 7,5° : soit 48 pas par tour
- 15° : soit 24 pas par tour

La vitesse de rotation est fonction de la fréquence des impulsions. On distingue 3 groupes de moteur pas à pas :

- ✓ les moteurs à aimant permanent
- ✓ les moteurs à reluctance variable
- ✓ les moteurs hybrides

### 1. Moteur à aimant permanent:

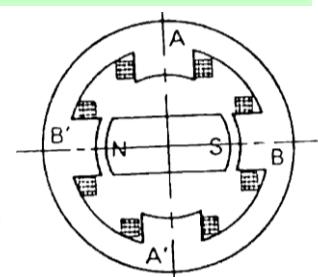
#### 1.1. Constitution :

Un moteur à aimant permanent comprend :

- un rotor bipolaire constitué d'un aimant permanent (partie mobile)
- un stator à deux paires de pôles (partie fixe)

#### 1.2. Fonctionnement :

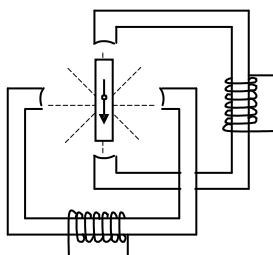
Les bobines diamétralement opposées constituent les phases. Elles sont connectées entre le pôle Sud et un pôle Nord.



En inversant les sens des courants dans une phase, on permute les pôles engendrés par une bobine. Le rotor se déplace alors et prend une nouvelle position d'équilibre stable.  
Selon la conception des enroulements, on distingue deux grands types de moteurs pas à pas :

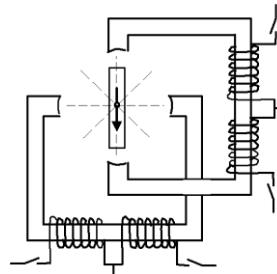
### Le moteur bipolaire

Les enroulements du stator n'ont pas de point milieu. Chaque borne de chaque enroulement est alimentée par une polarité positive puis négative (d'où le terme bipolaire).



### Le moteur unipolaire

Les enroulements sont à point milieu. Les bornes sont toujours alimentées par une polarité de même signe (d'où le terme unipolaire).

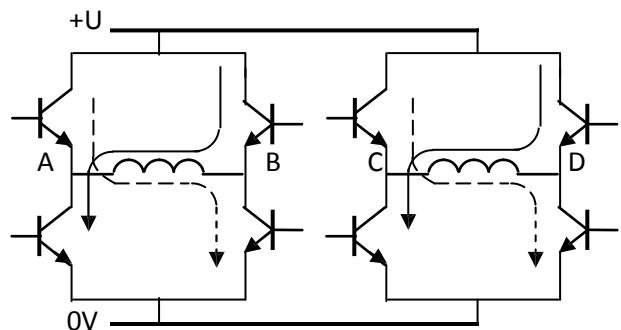


#### 1.3. Alimentation :

Le principe de fonctionnement des moteurs pas à pas repose sur la commutation successive des enroulements stator (ou phase). Pour cela, une impulsion électrique est traduite par un séquenceur agissant sur une électronique de commutation (drivers ou transistors de puissance) qui distribue les polarités dans les enroulements. Une seule commutation provoque un seul pas quelle que soit la durée de l'impulsion (supérieur à une valeur minimale).

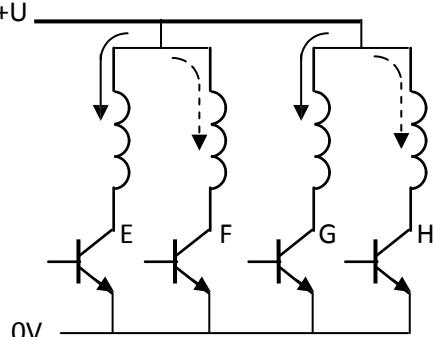
##### 1.3.1. Moteurs à deux phases (ou bipolaire):

Ce sont des moteurs comportant des enroulements qui sont alimentés soit dans un sens, soit dans l'autre. Chaque bobine est parcourue successivement par des courants inverses nécessitant une commande bipolaire.



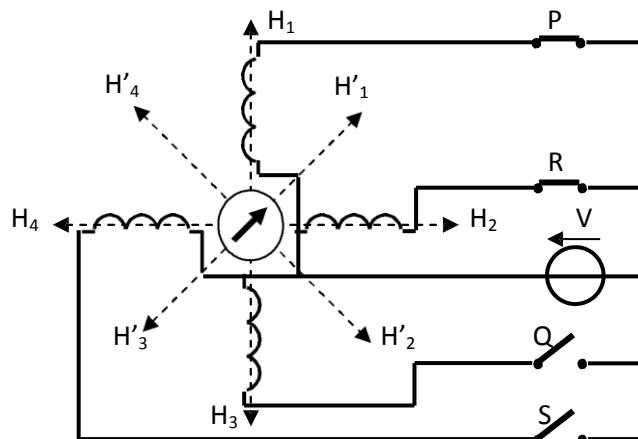
##### 1.3.2. Moteurs à quatre phases (ou unipolaire):

Ce sont des moteurs comportant des bobines à point milieu ; dans chacune d'elles le courant circule toujours dans le même sens. Il suffit d'une commande unipolaire.



- **Ordre d'alimentation des phases :**

Les signaux de commande d'un moteur à 2 ou 4 phases sont absolument identiques.



- **Commande en mode 1 :**

L'excitation individuelle des bobines crée les champs suivants :

$$\begin{array}{l} P \rightarrow H_1 \\ R \rightarrow H_2 \\ Q \rightarrow H_3 \\ S \rightarrow H_4 \end{array}$$

D'où le cycle de commutation suivant :

P	R	Q	S	Moteur
1	0	0	0	↑
0	1	0	0	→
0	0	1	0	↓
0	0	0	1	←

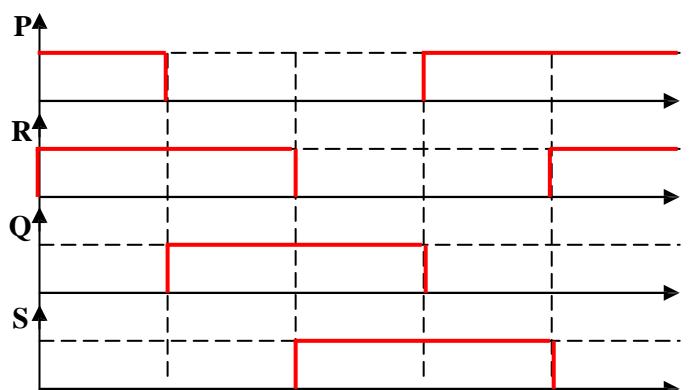
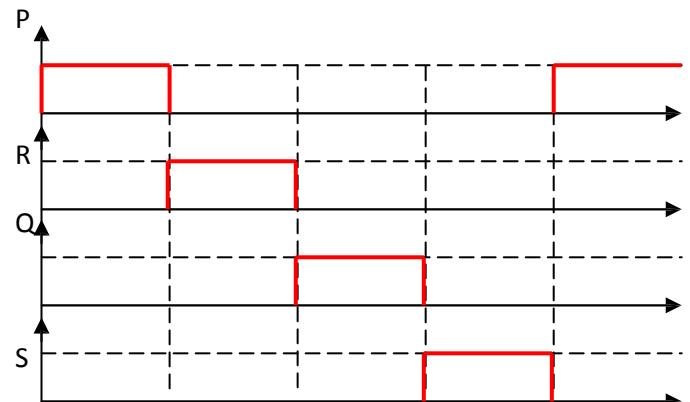
- **Commande en mode 2 :**

L'excitation par paire des bobines crée les champs suivants :

$$\begin{array}{l} P-R \rightarrow H'_1 \\ R-Q \rightarrow H'_2 \\ Q-S \rightarrow H'_3 \\ S-P \rightarrow H'_4 \end{array}$$

D'où le cycle de commutation suivant :

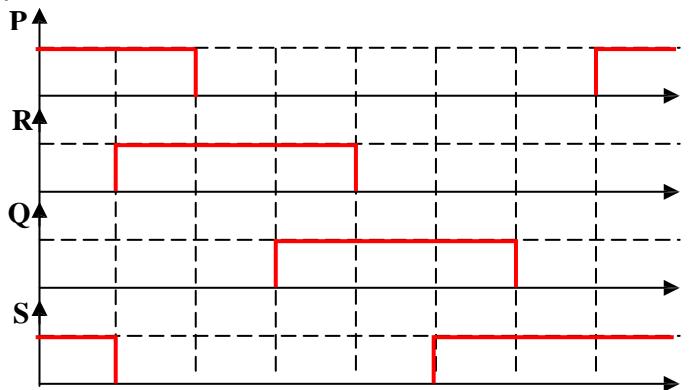
P	R	Q	S	Moteur
1	1	0	0	↑
0	1	1	0	→
0	0	1	1	↓
1	0	0	1	←



▪ **Commande en mode 1-2 :**

La combinaison des deux modes permet de doubler le nombre de pas, le rotor s'alignant successivement face à un pôle et entre 2 pôles.

P	R	Q	S	Moteur
1	0	0	0	↑
1	1	0	0	↗
0	1	0	0	→
0	1	1	0	↘
0	0	1	0	↓
0	0	1	1	↙
0	0	0	1	←
1	0	0	1	↖



**1.4. Caractéristiques :**

- Nombre de pas par tour plus faible, dû à la difficulté de loger les aimants du rotor.
- Construction plus élaborée.
- Couple moteur élevé, dû à la puissance des pôles aimantés (Couple proportionnel au courant).
- Sens de rotation lié à l'ordre d'alimentation des bobines et au sens du courant dans les bobines.

**2. Moteur pas à pas à réductance variable :**

**2.1. Constitution :**

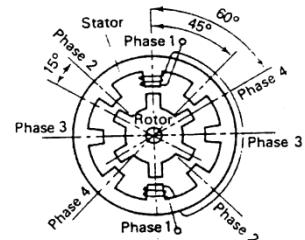
Ce moteur comporte une denture dont le pas n'est pas le même au stator et au rotor ; le rotor n'est pas aimanté.

**Exemple :**

Stator 8 pôles et rotor 6 pôles

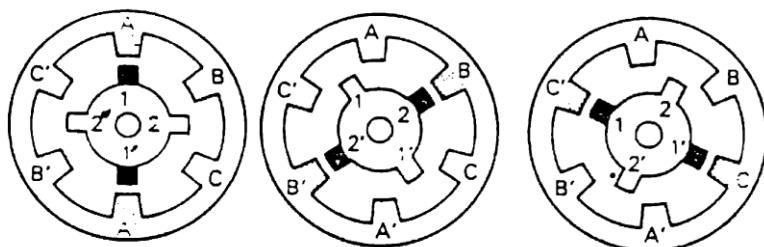
Pas statorique :  $\alpha_s = 360^\circ / 8 = 45^\circ$

Pas rotorique :  $\alpha_r = 360^\circ / 6 = 60^\circ$



**2.2. Fonctionnement :**

Quand on alimente les bobines AA', puis BB' et enfin CC', le rotor se place de telle façon que le flux qui le traverse soit maximal ; la réductance est donc minimale.



Pour rendre la réductance variable, le rotor et le stator auront des encoches disposées de telle façon qu'il n'existe qu'une seule possibilité pour diminuer la réductance compte-tenu de la bobine alimentée.

Le nombre de pas par tour est donné par la relation :  $N_p = 360 / \alpha_r - \alpha_s$

- $\alpha_r$  : Pas dentaire rotorique (en degrés)
- $\alpha_s$  : Pas dentaire statorique (en degrés)

### 2.3. Caractéristiques :

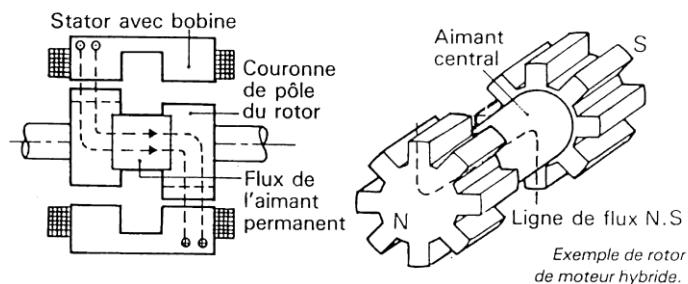
- Nombre de pas par tour important (bonne résolution) ;
- Construction assez facile ;
- Couple moteur (proportionnel au carré du courant dans les bobines) assez faible ;
- Sens de rotation lié à l'ordre d'alimentation des bobines.

Ce moteur présente une simplicité de construction mais du fait de son faible couple moteur, il est le plus souvent remplacé par des moteurs pas à pas à aimant permanent ou hybrides.

## 3. Moteur pas à pas hybride :

### 3.1. Constitution :

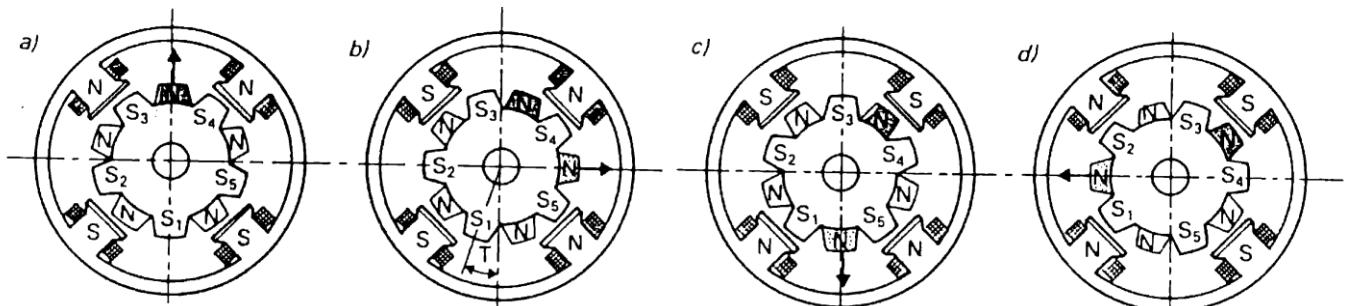
Il existe des dispositions très variables selon les constructeurs et le nombre de pas par tour (résolution).



### 3.2. Fonctionnement :

Son fonctionnement est sensiblement identique à celui du moteur à aimant permanent.

Les figures suivantes montrent les positions successives du rotor après l'alimentation des bobines du stator.



### 3.3. Caractéristiques :

- Très bonne résolution.
- Couple moteur élevé dû à l'aimantation du rotor (proportionnel au courant).
- Sens de rotation lié à l'ordre d'alimentation des bobines et au sens du courant

### 3.4. Applications industrielles :

De nombreuses applications industrielles utilisent les moteurs pas à pas : en robotique (servomécanisme), en micro-informatique (lecteurs de disquettes, disque dur ...), dans les imprimantes et tables traçantes, dans le domaine médical : pousse seringue (le moteur pas à pas permet un débit régulier pour la perfusion) etc.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Georges Asch et Collaborateurs, «Les capteurs en instrumentation industrielle», 5<sup>ème</sup> édition Dunod, 1999.
- [2] Ian R. Sintclair, «Sensors and transducers», NEWNES, 2001.
- [3] G. Lacroux, «Les actionneurs électriques pour la robotique et les asservissements», Lavoisier 1994.
- [4] Guy Gauthier, « Problèmes solutionnés de GPA668 Capteurs et actionneurs», Ecole De Technologie Supérieure, session 2012.
- [5] Guy Gauthier, « Notes de cours de GPA668 Capteurs et actionneurs », Ecole De Technologie Supérieure, session 2012.
- [6] SAHRAOUI Mohamed, « Capteurs de Température et Capteurs de Niveau », cours pour le module: Capteurs et Métrologie, Université Mohamed KHIDER Biskra, 2012/2013.
- [7] BENSAID Samir, « Capteurs et Actionneurs », cours pour L3 Génie électrique, Université de Bouira, 2014.
- [8] Dominique Placko, « Mesure et instrumentation. De la physique du capteur au signal électrique », Volume 1, Hermès-Lavoisier, 1970 .
- [9] Georges Asch, E. Chambérod, Patrick Renard, Gunther, «Acquisition de données : Du capteur à l'ordinateur », 2<sup>ième</sup> édition, Dunod, 2003.

---

## RÉSUMÉ : ACTIONNEURS INDUSTRIELS

**Français:** Ce document pédagogique offre une étude approfondie des différents types d'actionneurs utilisés dans les systèmes automatisés, en les comparant aux capteurs et transducteurs. Le polycopié est structuré en deux parties principales : la première traite des actionneurs **pneumatiques et hydrauliques**, détaillant la production d'énergie, les pré-actionneurs (distributeurs) et les vérins. La seconde partie se focalise sur les actionneurs **électriques**, incluant les relais, les contacteurs, ainsi que les moteurs à courant continu et les moteurs pas à pas. À travers des exemples pratiques comme la presse pneumatique ou la robotique (ASIMO), le cours permet d'apprendre à choisir et dimensionner l'instrumentation adaptée à une application industrielle spécifique.

**MOTS-CLÉS :** Actionneurs, Pneumatique, Hydraulique, Électrique, Moteurs, Vérins, Mécatronique, Systèmes Embarqués.

## ABSTRACT: INDUSTRIAL ACTUATORS

**English:** This educational document defines actuators as the "muscles" of mechatronic systems, converting electrical or fluid energy into mechanical motion. The curriculum covers **pneumatic and hydraulic systems**, focusing on air compression and various types of cylinders, as well as **electrical actuators**, including DC motors and stepper motors. The course aims to teach students how to select and size industrial instruments through theoretical principles and practical application exercises.

**KEYWORDS:** Actuators, Pneumatics, Hydraulics, Electrical Motors, Cylinders, Mechatronics, Embedded Systems, Automation.

### ملخص: المشغلات الصناعية

العربية: يُعرف هذا المستند التعليمي المشغلات (Actuators) بأنها «عضلات» الأنظمة الميكاتronية، حيث تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية أو طاقة المائع إلى حركة ميكانيكية. يشمل المنهج الدراسي الأنظمة الهوائية والهيدروليكي، مع التركيز على ضغط الهواء وأنواع الأسطوانات المختلفة، بالإضافة إلى المشغلات الكهربائية، بما في ذلك محركات التيار المستمر والمحركات الخطوطية. يهدف المساق إلى تعليم الطلاب كيفية اختيار وتحديد حجم الأدوات الصناعية من خلال المبادئ النظرية وتمارين التطبيق العملي.

الكلمات المفتاحية: مشغلات، أنظمة هوائية، هيدروليكي، محركات كهربائية، رافعات، ميكاترونیك، أنظمة مدمجة، أجهزة صناعية.

---