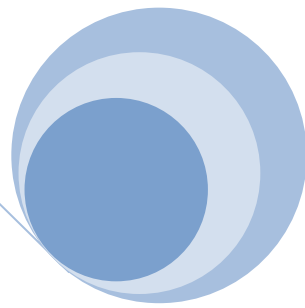
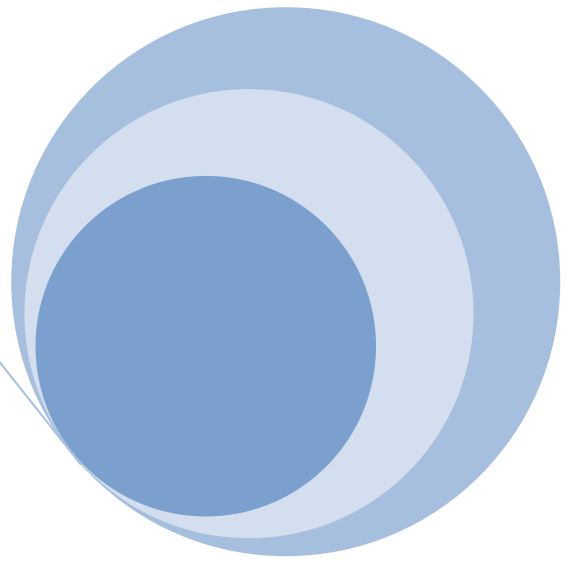


PARTIE 1



LES CAPTEURS

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES CAPTEURS3.

1. DEFINITION	3
2. NATURE DE L'INFORMATION FOURNIE PAR UN CAPTEUR	3
3. CARACTERISTIQUES D'UN CAPTEUR	4
4. CAPTEURS LOGIQUES (TOUT OU RIEN : TOR)	4
5. CAPTEURS NUMERIQUES	8

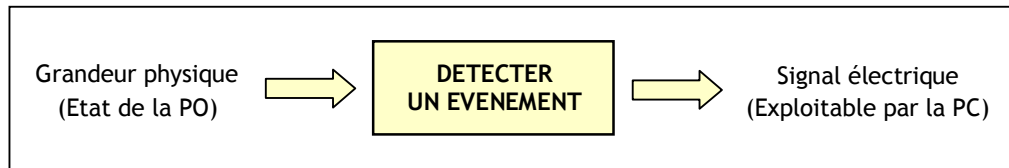
CHAPITRE 2: LES DIFFERENTES FAMILLES DE CAPTEURS11

1. CLASSIFICATION DES CAPTEURS	11
2. CAPTEURS A EFFET PIEZOELECTRIQUE	12
3. CAPTEUR A EFFET HALL	13
4. CAPTEURS A EFFET PHOTOELECTRIQUE	14
5. CAPTEURS A RESISTANCE VARIABLE PAR DEFORMATION.....	16
6. CAPTEURS DE TEMPERATURE.....	18

1. DEFINITION :

Un capteur est un composant technique qui détecte un événement physique se rapportant au fonctionnement du système (présence d'une pièce, température, etc.) et traduit cet événement en un signal exploitable par la PC de ce système. Ce signal est généralement électrique sous forme d'un signal basse tension. La figure 1 illustre le rôle d'un capteur :

Fig. 1 : Rôle général d'un capteur



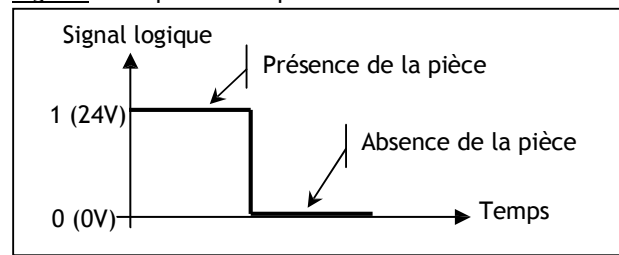
L'information détectée par un capteur peut être d'une grande variété, ce qui implique une grande variété de besoins en capteurs. On cite parmi les plus connus et fréquents, les capteurs de position, de présence, de vitesse, de température et de niveau.

2. NATURE DE L'INFORMATION FOURNIE PAR UN CAPTEUR :

Suivant son type, L'information qu'un capteur fournit à la PC peut être :

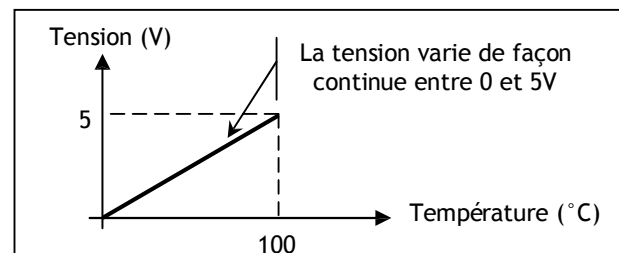
- **Logique** : L'information ne peut prendre que les valeurs 1 ou 0 ; on parle alors d'un capteur Tout ou Rien (TOR). La figure 2 montre la caractéristique d'un capteur de position :

Fig. 2 : Exemple d'un capteur TOR



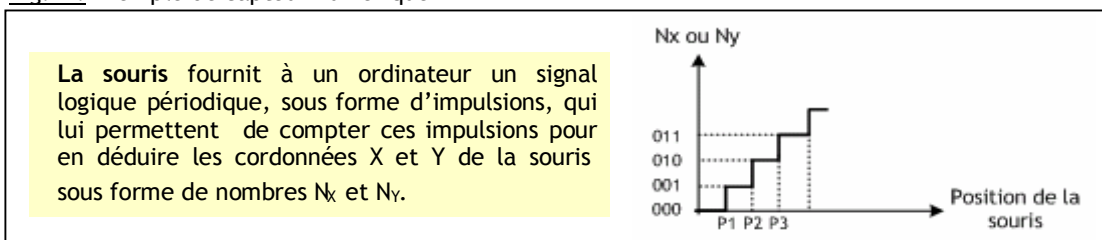
- **Analogique** : L'information peut prendre toutes les valeurs possibles entre 2 certaines valeurs limites ; on parle alors d'un capteur analogique. La figure 3 montre la caractéristique d'un capteur de température :

Fig. 3 : Exemple d'un capteur analogique



- **Numérique** : L'information fournie par le capteur permet à la PC d'en déduire un nombre binaire sur n bits ; on parle alors d'un capteur numérique. La figure 4 illustre le principe de fonctionnement de la souris :

Fig. 4 : Exemple de capteur numérique



3. CARACTERISTIQUES D'UN CAPTEUR :

Certains paramètres sont communs à tous les capteurs. Ils caractérisent les contraintes de mise en œuvre et permettent le choix d'un capteur :

- **L'étendue de la mesure** : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- **La sensibilité** : ce paramètre caractérise la capacité du capteur à détecter la plus petite variation de la grandeur à mesurer. C'est le rapport entre la variation ΔV du signal électrique de sortie pour une variation donnée $\Delta \Psi$ de la grandeur physique d'entrée : $S = \Delta V / \Delta \Psi$
- **La fidélité** : Un capteur est dit fidèle si le signal qu'il délivre en sortie ne varie pas dans le temps pour une série de mesures concernant la même valeur de la grandeur physique Ψ d'entrée. Il caractérise l'influence du vieillissement.
- **Le temps de réponse** : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie commande.

4. CAPTEURS LOGIQUES (Tout Ou Rien : TOR) :

Les capteurs TOR fournissent une information logique, généralement sous forme d'un contact électrique qui se ferme ou s'ouvre suivant l'état du capteur.

4.1- Capteurs avec contact :

Ce type de capteur est constitué d'un contact électrique qui s'ouvre ou se ferme lorsque l'objet à détecter actionne par contact un élément mobile du capteur (dispositif d'attaque). Les gammes de ce type de capteur sont très variées ; elles sont fonction des problèmes posés par leur utilisation.

Ainsi, la tête de commande et le dispositif d'attaque sont déterminés à partir de :

- La forme de l'objet : came 30°, face plane ou forme quelconque ;
- La trajectoire de l'objet : frontale, latérale ou multidirectionnelle ;
- La précision de guidage.

Les figures suivantes montrent des exemples de capteur de position :

Fig. 5 : Capteur rectiligne à poussoir

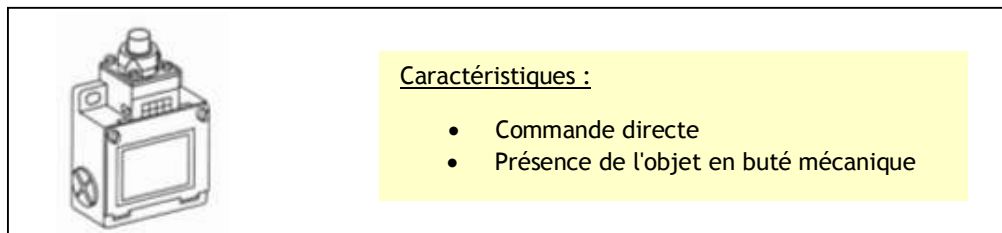


Fig. 6 : Capteur rectiligne à poussoir à galet thermoplastique

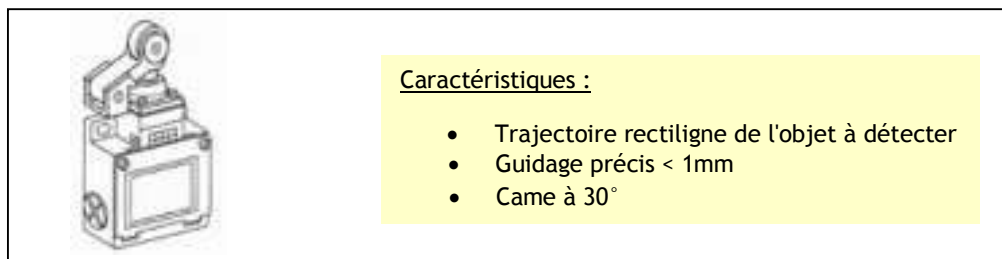


Fig. 7 : Capteur angulaire à levier à galet

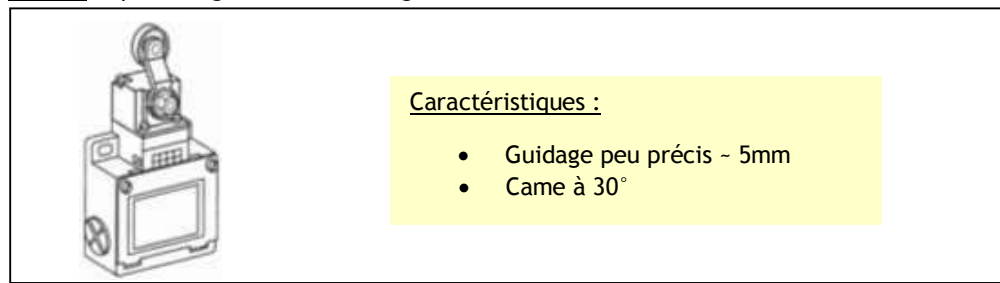
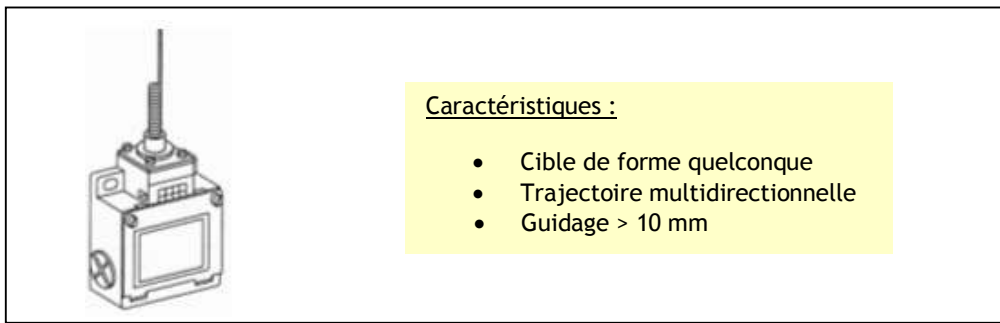


Fig. 8 : Capteur à tige souple à ressort



4.2- Capteurs sans contact :

Les capteurs sans contact ou de proximité détectent à distance et sans contact avec l'objet dont ils contrôlent la position. Un contact électrique s'ouvre alors ou se ferme en fonction de la présence ou du non présence d'un objet dans la zone sensible du capteur.

A l'inverse des capteurs avec contacts, les capteurs de proximité sont des détecteurs statiques (pas de pièce mobile) dont la durée de vie est indépendante du nombre de manœuvres. Ils ont aussi une très bonne tenue à l'environnement industriel (atmosphère polluante).

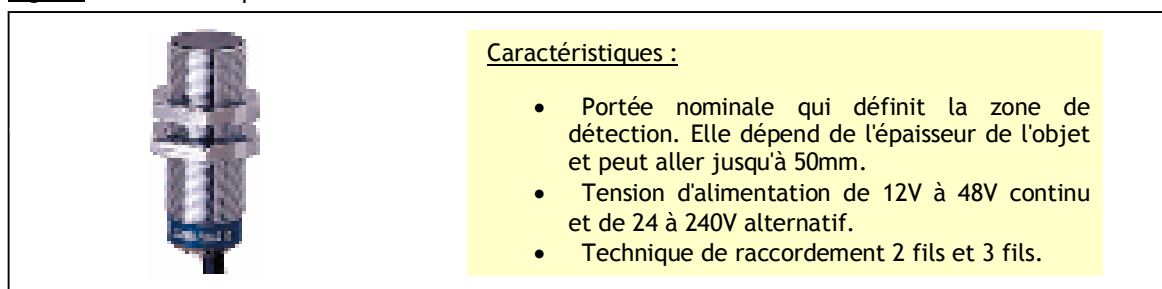
Le choix d'un détecteur de proximité dépend :

- de la nature du matériau constituant l'objet à détecter,
- de la distance de l'objet à détecter,
- des dimensions de l'emplacement disponible pour implanter le détecteur.

4.2.1- Capteurs inductifs :

La technologie des détecteurs de proximité inductifs est basée sur la variation d'un champ magnétique à l'approche d'un objet conducteur du courant électrique. Leur usage est uniquement réservé à la détection d'éléments métalliques dans les secteurs de la machine-outil, l'agro-alimentaire, la robotique, et les applications de l'usinage, la manutention, l'assemblage, le convoyage.

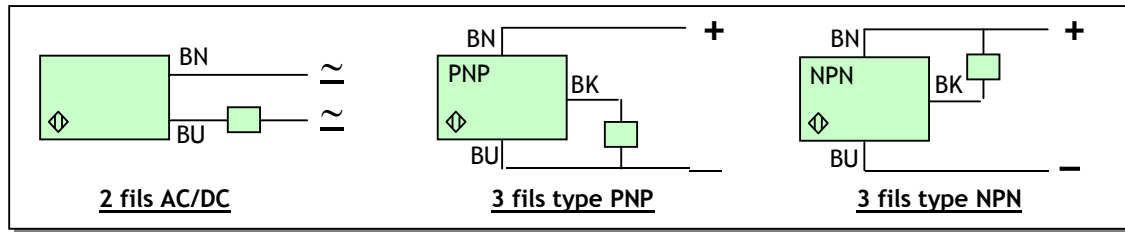
Fig. 9 : Détecteur de proximité inductif



Les détecteurs inductifs existent suivant différents modèles ; ceci en fonction de leur mode de raccordement comme c'est illustré à la figure 10 :

- 2 fils avec courant continu ou alternatif ;
- 3 fils avec courant continu type PNP ou NPN, en fonction de l'électronique interne.

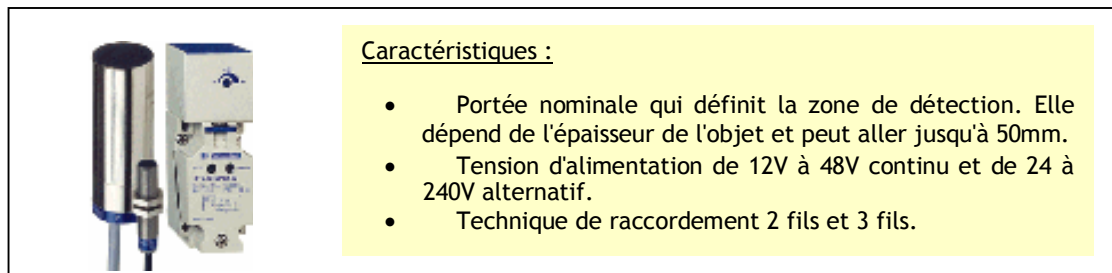
Fig. 10 : Technique de raccordement des capteurs inductifs et capacitifs



4.2.2- Capteurs capacitifs :

La technologie des détecteurs de proximité capacitifs est basée sur la variation d'un champ électrique à l'approche d'un objet quelconque. Ils permettent de détecter tout type d'objet dans les domaines de l'agro-alimentaire, de la chimie, de la transformation des matières plastiques, du bois et des matériaux de construction.

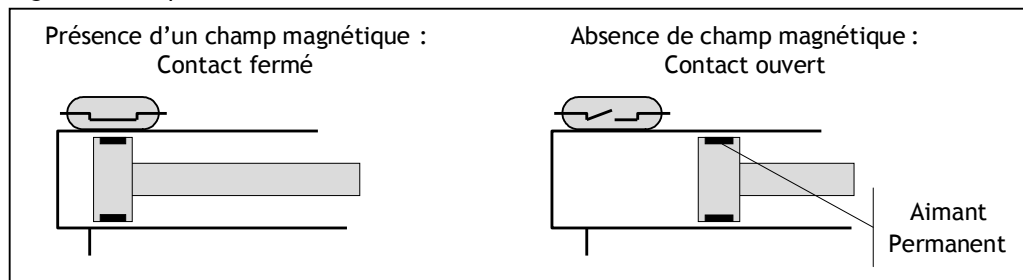
Fig. 11 : Détecteur de proximité capacitif



4.2.3- Capteurs magnétiques :

Un interrupteur à lame souple (I.L.S.) est constitué d'un boîtier à l'intérieur duquel est placé un contact électrique métallique souple sensible aux champs magnétiques. Il permet de détecter tous les matériaux magnétiques dans le domaine de la domotique pour la détection de fermeture de portes et fenêtres et le domaine pneumatique pour la détection de la position d'un vérin, etc.

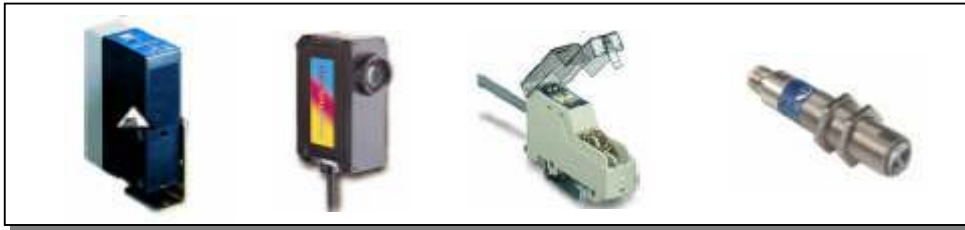
Fig. 12 : Principe de fonctionnement d'un ILS



4.3- Capteurs Photoélectriques à distance :

Les cellules photoélectriques permettent de détecter sans contact tous les matériaux opaques (non transparents), conducteurs d'électricité ou non. Ce type de capteurs se compose essentiellement d'un émetteur de lumière associé à un récepteur photosensible. La figure 13 montre une illustration de quelques capteurs photoélectriques :

Fig. 13 : Exemple de capteurs photoélectriques



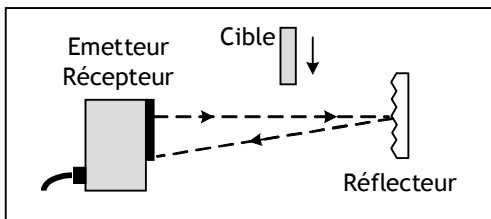
Ces détecteurs sont utilisés dans les domaines industriels et tertiaires les plus divers comme :

- La détection d'objets et de produits dans la manutention et le convoyage ;
- La détection de pièces machine dans les secteurs de la robotique et du bâtiment ;
- La détection de personnes, de véhicules ou d'animaux, etc.

Pour réaliser la détection d'objets dans les différentes applications, 3 techniques de montages sont possibles:

- **Système barrage** (figure 14) caractérisé par :
 - ✓ L'émetteur et le récepteur sont situés dans deux boîtiers séparés ;
 - ✓ La portée la plus longue pour ce type de capteur (jusqu'à 30 m) ;
 - ✓ Le faisceau est émis en infrarouge ;
 - ✓ La détection des objets opaques ou réfléchissant quelque soit le matériau ;
 - ✓ L'alignement entre émetteur et récepteur doit être réalisé avec soin.
- **Système reflex** (figure 15) caractérisé par :
 - ✓ L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier ;
 - ✓ Utilisation d'un réflecteur qui renvoie le faisceau lumineux en cas d'absence de cible ;
 - ✓ La portée peut atteindre jusqu'à 15 m ;
 - ✓ Le faisceau est émis en infrarouge ;
 - ✓ La détection des objets opaques et non réfléchissant quelque soit le matériau ;
- **Système proximité** (figure 16) caractérisé par :
 - ✓ L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier ;
 - ✓ La présence de la cible renvoie le faisceau lumineux vers le capteur ;
 - ✓ La portée dépend de la couleur de la cible, de son pouvoir réfléchissant et de ses dimensions. Elle augmente si l'objet est de couleur claire ou de grande dimension.

Fig. 15 : Montage type " Reflex "



Réflecteur



Fig. 14 : Montage type " Barrage "

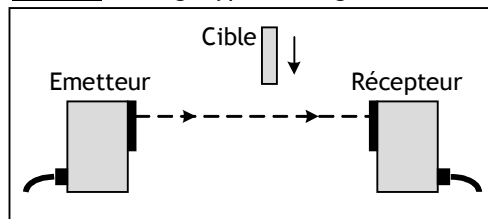
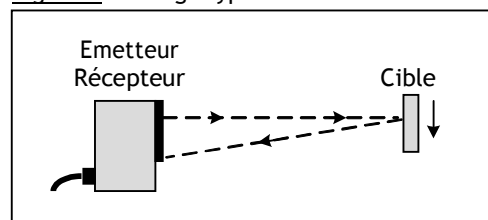


Fig. 16 : Montage type " Proximité "

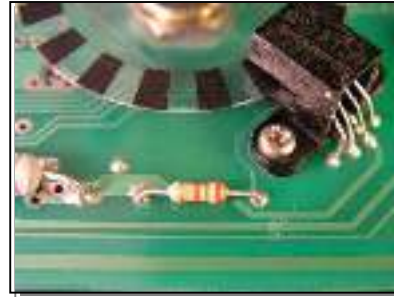
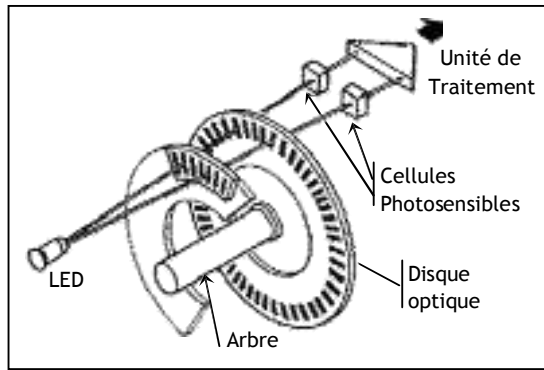


5. CAPTEURS NUMERIQUES :

5.1- Codeur optique incrémental :

Un disque rotatif comporte au maximum 3 pistes. La piste périphérique A du disque est divisée en "n" fentes régulièrement réparties. Ainsi, pour un tour complet de l'axe du codeur, le faisceau lumineux est interrompu n fois et délivre à la sortie de la cellule photosensible "n" signaux carrés. La figure 18 décrit un capteur incrémental :

Fig. 18 : Codeur optique incrémental



Pour connaître le sens de rotation du codeur, on utilise une deuxième piste B qui sera décalée par rapport à la première de 90° ($1/4$ de tour).

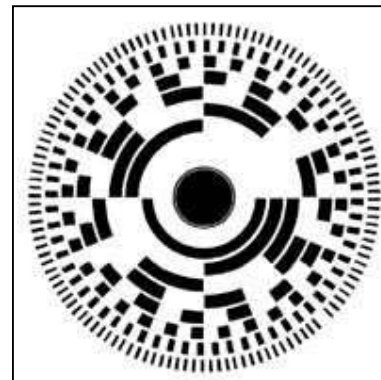
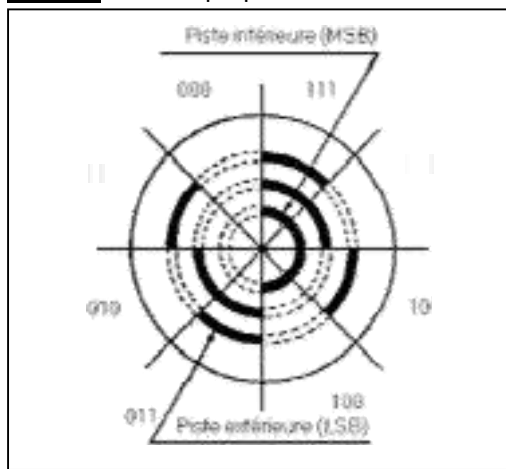
5.2- Codeur optique absolu :

Les codeurs absolus sont destinés à des applications de contrôle de déplacement et de positionnement d'un mobile par codage. Le disque du codeur comporte plusieurs pistes (jusqu'à 20). Chaque piste est alternativement opaque et transparente et possède son propre système de lecture (diode émettrice et diode réceptrice).

A chaque position angulaire de l'axe du codeur correspond un nombre binaire codé en GRAY. Dans ce code, il n'y a qu'un seul bit qui change à chaque fois pour éviter les aléas de fonctionnement. Avant toute utilisation, le mot fourni par le codeur doit donc être transcodé en binaire, car l'unité de traitement travaille en binaire pur.

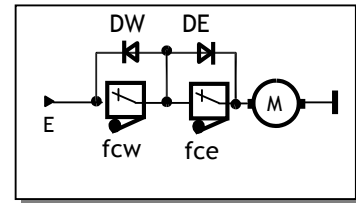
A titre pédagogique, voyons à la figure 19 les différentes combinaisons d'un codeur optique absolu binaire sur 3 bits :

Fig. 19 : Codeur optique absolu binaire 3 bits



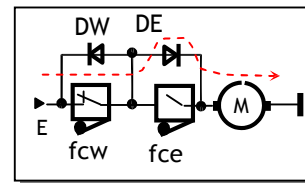
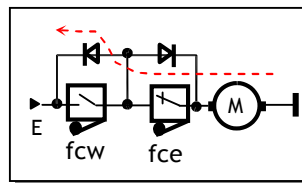
EXERCICE RESOLU

Le montage ci-contre permet de protéger un moteur à courant continu, fonctionnant avec 2 sens. La protection est contre les positions limites où le moteur peut être calé ; dans ce cas le couple augmente, ainsi le courant dans le moteur, ce qui peut détériorer le moteur. C'est le cas du moteur de la position d'antenne parabolique. La tension E est soit positive, soit négative, suivant la commande qui n'est pas représentée ici, ainsi que le système à came qui permet d'actionner les "fins de course" (fcw et fce). Analyser le fonctionnement d'un tel montage. Les fins de course sont fermées au repos.



CORRIGE :

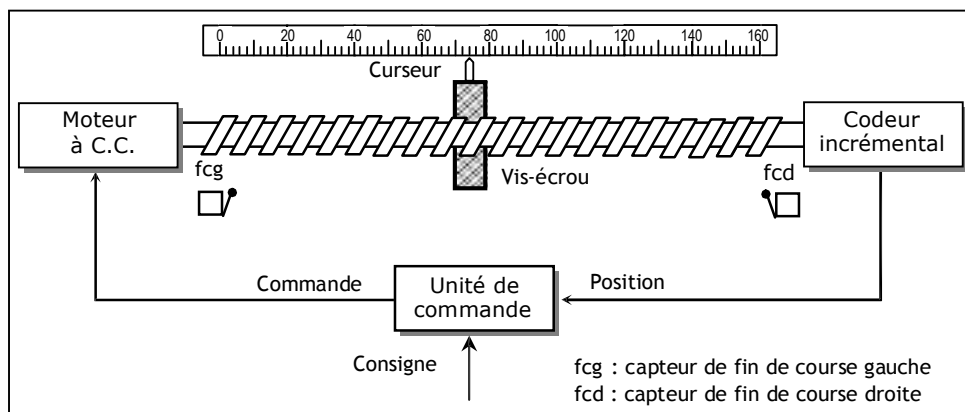
- Au repos, on suppose le moteur dans une position où ni fcw ni fce n'est actionné.
- Quand le moteur tourne vers "West" et arrive à la position limite "West" fcw s'ouvre et le moteur s'arrête. Pour tourner vers "East", Il faut alors inverser le sens.
- En inversant le sens, la diode DW joue le rôle fcw pour un court instant, après quoi fcw se ferme (voir figure ci-dessous à gauche).
- En tournant vers "East" et arrivant à la position limite "East", fce s'ouvre et le moteur s'arrête. Pour tourner vers "West", Il faut alors inverser le sens.
- Et ainsi de suite (voir figure ci-dessous à droite).



EXERCICES NON RESOLUS

Les asservissements numériques, sont abondants dans le domaine industriel. On s'intéresse dans cette étude à l'asservissement de position. La structure du système est donnée à la figure ci-dessous. Sa description est comme suit :

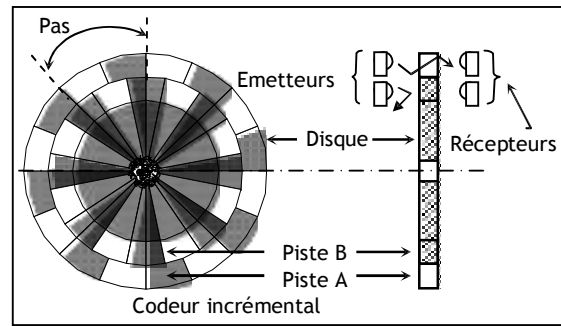
- Un curseur se déplace linéairement grâce à un système vis-écrou ;
- Le système vis-écrou est entraîné en rotation par un moteur à courant continu ;
- La position du curseur est captée par un codeur incrémental solidaire à l'axe du moteur ;
- La commande permet de comparer la position captée et la position de consigne ; si les 2 positions sont égales, on arrête le moteur.



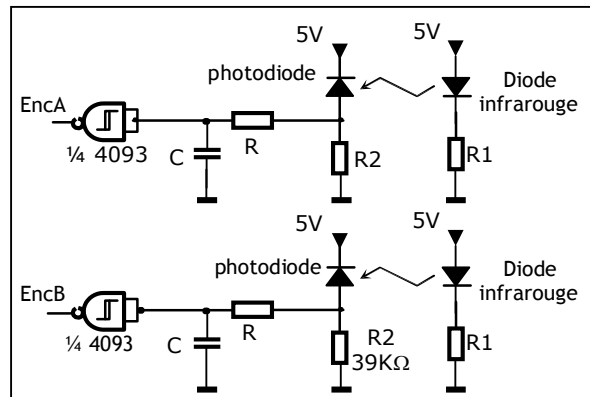
1- ETUDE DU CODEUR INCREMENTAL :

Comme le montre la figure ci-contre, la capture de la position se fait à l'aide d'un codeur incrémental constitué de :

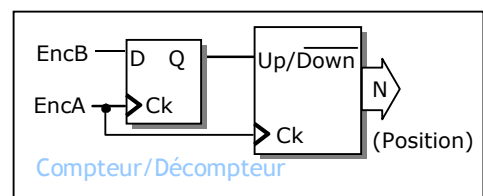
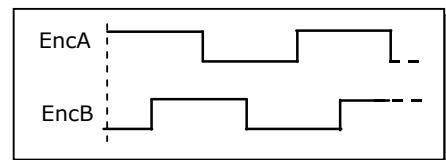
- Un disque contenant deux pistes A et B décalées et divisées chacune, en 16 secteurs équidistants et alternativement opaques et transparents ;
- Deux éléments optoélectroniques (une diode infrarouge et une photodiode) disposés de part et d'autre de chaque piste.



- 1.1- Calculer la sensibilité de ce capteur et préciser son unité.
- 1.2- Calculer le déplacement minimal du curseur détecté par ce capteur sachant que le pas de la vis est de 5 mm.
- 1.3- Quel est le rôle :
 - a/ Du circuit RC ?
 - b/ De la porte inverseuse de type "Trigger" ?



- 1.4- La photodiode est caractérisée par un courant $I_D = 100 \mu A$ en éclairage et un courant $I_D = 100 nA$ en obscurité. Sachant que $V_{IH \min} = 3,5 V$ et $V_{IL \max} = 1.5 V$ pour une porte CMOS avec $V_{CC} = 5 V$, vérifier le bon choix de R_2 .
- 1.5- On suppose que le disque a subi une rotation d'un demi-tour dans un sens et d'un demi-tour dans le sens contraire, à une vitesse constante. Compléter les chronogrammes des signaux EncA et EncB correspondants à ce mouvement sachant qu'ils débutent comme le montre la figure ci-contre.
- 1.6- Le principe de la détermination de la position du curseur consiste, en l'accumulation des impulsions fournies par une piste, à l'aide d'un compteur/décompteur selon le montage de la figure ci-contre. Le compteur est incrémenté ou décrémenté suivant le sens de rotation donné par l'état du signal EncB à chaque transition positive du signal EncA.



- a/ Que représente alors le signal Q ?
 - b/ Combien de tours fera le disque, pour que le curseur parcourra la course maximale de la vis, qui est de 160 mm ?
 - c/ En déduire le nombre de bits nécessaire pour représenter la position.
- 1.7- Proposer un montage pour l'unité de traitement de ce système sachant qu'on peut utiliser un des signaux (EncA , EncB) comme signal d'horloge et l'autre comme signal (Comptage/décomptage).

1. GENERALITES:

Si l'on s'intéresse aux phénomènes physiques mis en jeu dans les capteurs, on peut classer ces derniers en deux catégories.

- Capteurs actifs
- Capteurs passifs

1.1- Capteurs actifs :

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement.

Les effets physiques les plus rencontrés en instrumentation sont :

- **Effet thermoélectrique** : Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures T_1 et T_2 , est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique $e(T_1, T_2)$.
- **Effet piézo-électrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.
- **Effet d'induction électromagnétique** : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique).
- **Effet photo-électrique** : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique.
- **Effet Hall** : Un champ magnétique B et un courant électrique I créent dans le matériau une différence de potentiel U_H .
- **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes.

Tableau 1 : Grandeurs d'entrée et de sortie et effet utilisé pour les capteurs actifs

Grandeur physique mesurée	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Photoémission	Courant
	Effet photovoltaïque	Tension
	Effet photo-électrique	Tension
Force	Piézo-électricité	Charge électrique
Pression		
Accélération	Induction électromagnétique	Tension
Vitesse		
Position (Aimant)	Effet Hall	Tension
Courant		

1-2- Capteurs passifs :

Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

- Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile.
- Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (Armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable).

Tableau 2 : Type de matériau utilisé et caractéristique électrique des capteurs passifs

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique	Type de matériau utilisé
Température	Résistivité	Métaux : platine, nickel, cuivre ...
Très basse température	Constante diélectrique	Verre
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité	Alliage de Nickel, silicium dopé
	Perméabilité	Alliage ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto résistants : bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

2. CAPTEURS A EFFET PIEZOELECTRIQUE:

2-1- L'effet piézoélectrique:

Une force appliquée à une lame de quartz induit une déformation qui donne naissance à une tension électrique.

Fig. 1 : L'effet piézoélectrique

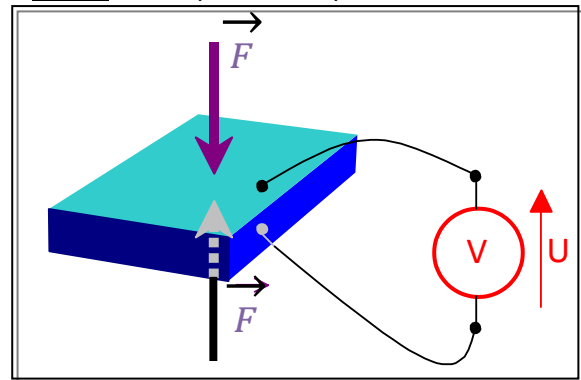
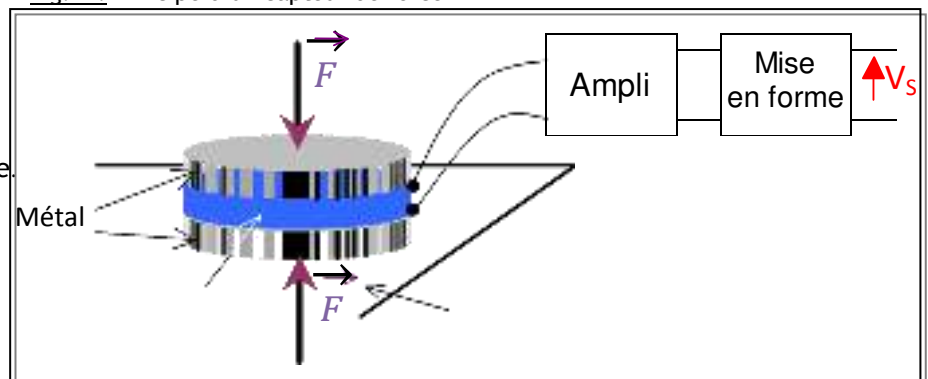


Fig. 2 : Principe d'un capteur de force

2-2- Capteur de force:

La tension V_S de sortie sera proportionnelle à la force F :
 $V_S = k \cdot (F+F) = 2k \cdot F$ avec k constante.



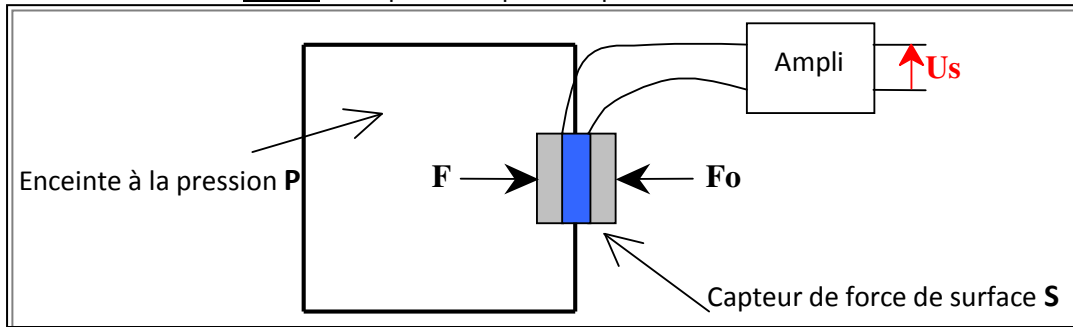
2-3- Capteur de pression:

Définition : Lorsqu'un corps (gaz, liquide ou solide) exerce une force F sur une paroi S (surface); on peut définir la pression P exercée par ce corps avec la relation ci- dessous :

$$P = \frac{F}{S} \text{ Sachant que : } 1 \text{ Pascal (Pa)} = \frac{1 \text{ Newton}}{1 \text{ m}^2}$$

Le capteur de force est inséré dans la paroi d'une enceinte où règne une pression P . Une face du capteur est soumise à la force F (pression P) et l'autre face est soumise à la force F_0 (pression extérieure P_0).

Fig. 3 : Principe d'un capteur de pression



On a $F = P.S$; $F_0 = P_0.S$ et $u_s = k.(F+F_0)$ (capteur de force, $k = \text{constante}$).

Donc $u_s = k.S (P + P_0) = k' (P + P_0) \Rightarrow u_s = k' (P + P_0)$.

Il s'agit ici d'un capteur de pression qui mesure la somme de la pression extérieure P_0 et de la pression de l'enceinte P .

2-4- Capteur d'accélération:

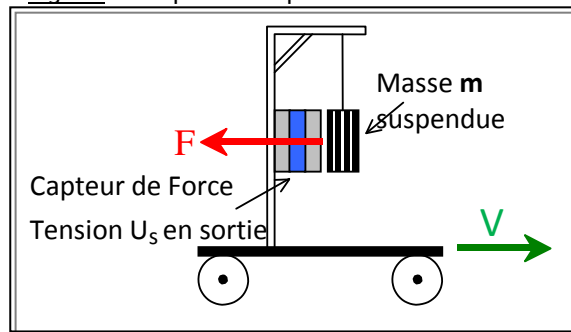
L'augmentation de vitesse V du véhicule donne une accélération a qui induit une force F exercée par la masse sur le capteur.

On a donc :

$$F = m.a \text{ mais } u_s = 2k.F$$

$$\text{et donc } u_s = 2k.m.a$$

Fig. 4 : Principe d'un capteur d'accélération



2-5- Capteur ultrason:

La réception d'un son engendre une variation de pression à la surface du récepteur. Un capteur de pression sur cette surface donnera donc une tension image du signal ultrasonore.

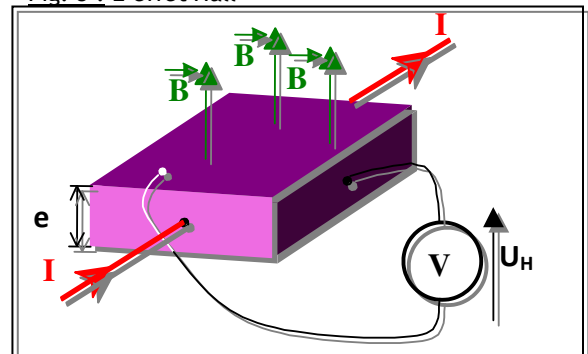
3. CAPTEURS A EFFET HALL:

3-1- L'effet Hall:

Un barreau de semi-conducteur soumis à un champ magnétique uniforme B et traversé par un courant I , est le siège d'une force électromotrice U_H sur deux de ses faces.

La tension de Hall U_H est définie par la relation ci- contre :

Fig. 5 : L'effet Hall



$$U_H = R_H \frac{I \cdot B}{e}$$

R_H : constante de Hall (dépend du semi-conducteur)

I : intensité de la source de courant (A)

B : intensité du champ magnétique (T)

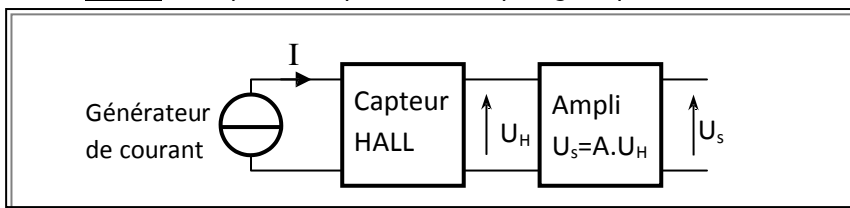
e : épaisseur du barreau de silicium.

Si on maintient le courant I constant, on a donc une tension U_H proportionnelle au champ magnétique B :

$$U_H = k \cdot B \text{ avec } k \text{ constante égale à } R_H \frac{I}{e}$$

3-2- Capteur de champ magnétique:

Fig. 6 : Principe d'un capteur de champ magnétique



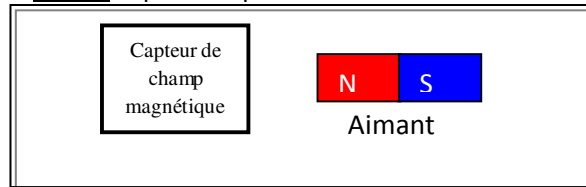
La sensibilité de ce capteur pourra être ajustée en agissant sur I et sur A .

3-3- Autres applications:

3.3.1 Capteur de proximité:

Le capteur détecte l'approche de l'aimant placé au préalable sur un objet.

Fig. 7 : Capteur de proximité



3.3.2 Mesure de l'intensité d'un courant électrique sans "ouvrir " le circuit:

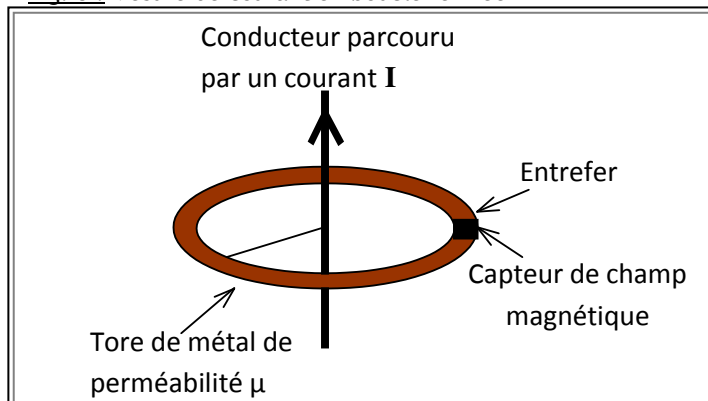
Fig. 8 : Mesure de courant en boucle fermée

Le courant I crée un champ magnétique

proportionnel à ce courant : $B = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{r}$

Le capteur donne une tension $U_s = k \cdot B = k' \cdot I$ avec k et k' constantes.

C'est le principe des pinces ampèremétriques (mesure de forts courants de 1000A et plus).



4. CAPTEURS A EFFET PHOTOELECTRIQUE:

4-1- L'effet photoélectrique:

Un semi-conducteur est un matériau pauvre en porteurs de charges électriques (isolant). Lorsqu'un photon d'énergie suffisante excite un atome du matériau, celui-ci libère plus facilement un électron qui participera à la conduction.

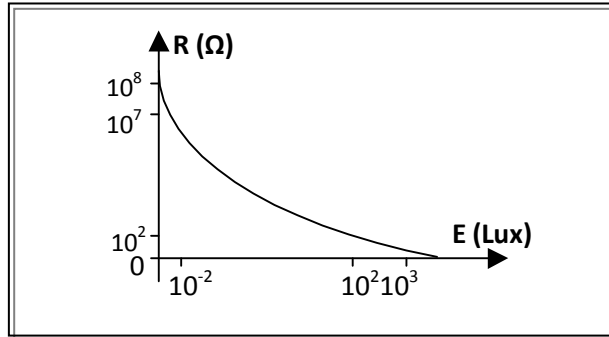
4-2- Les photorésistances:

Une photorésistance est une résistance dont la valeur varie en fonction du flux lumineux qu'elle reçoit.

Exemple:

- Obscurité : $R_0 = 20 \text{ M}\Omega$ (0 lux)
- Lumière naturelle : $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ (500 lux)
- Lumière intense : $R_2 = 100 \Omega$ (10000 lux).

Caractéristique lumière/tension:



Avantages :

- Bonne sensibilité
- Faible coût et robustesse.

Inconvénients :

- Temps de réponse élevé
- Bande passante étroite
- Sensible à la chaleur.

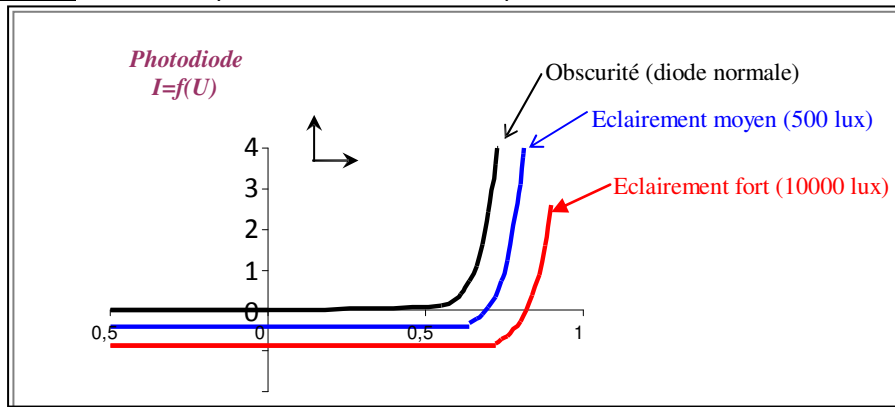
Utilisation : Détection des changements obscurité-lumière (éclairage public).

4-3- Les photodiodes:

Une photodiode est une diode dont la jonction PN peut être soumise à un éclairage lumineux.

Courbe : Le graphe $I = f(U)$ pour une photodiode dépend de l'éclairement en (Lux) de la jonction PN.

Fig. 9 : Caractéristique courant/tension d'une photodiode en fonction de l'éclairement



On constate que lorsque la diode est éclairée, elle peut se comporter en générateur ($I = 0$, $U = 0,7V$ pour 1000lux). On a donc affaire à une photopile (effet photovoltaïque).

Avantages :

- Bonne sensibilité
- Faible temps de réponse (bande passante élevée).

Inconvénients :

- Coût plus élevé qu'une photorésistance
- Nécessite un circuit de polarisation précis

Utilisations :

- Transmission de données
 - ⇒ Télécommande IR
 - ⇒ Transmission de données par fibre optique
 - ⇒ Détection de passage
- Roue codeuse
 - ⇒ Mesures d'angle et de vitesse
 - ⇒ Comptage d'impulsions (souris de PC)

Fig. 10 : Emetteur/Récepteur infrarouge

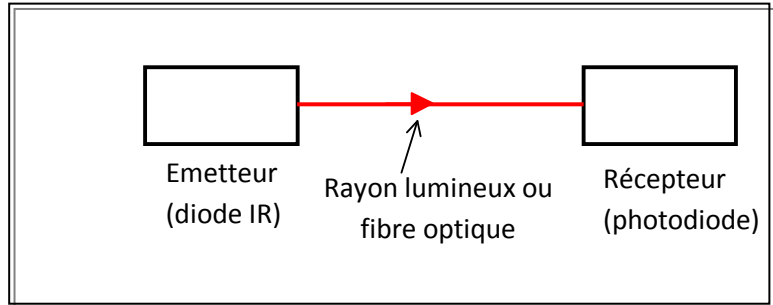
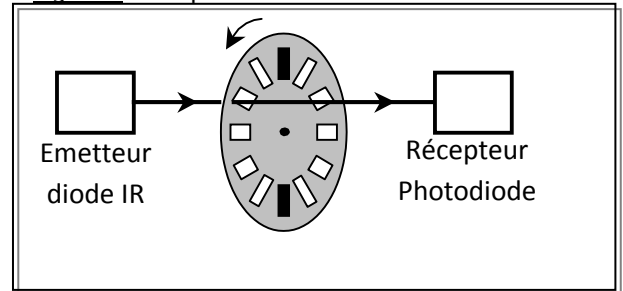


Fig. 11 : Principe de la roue codeuse



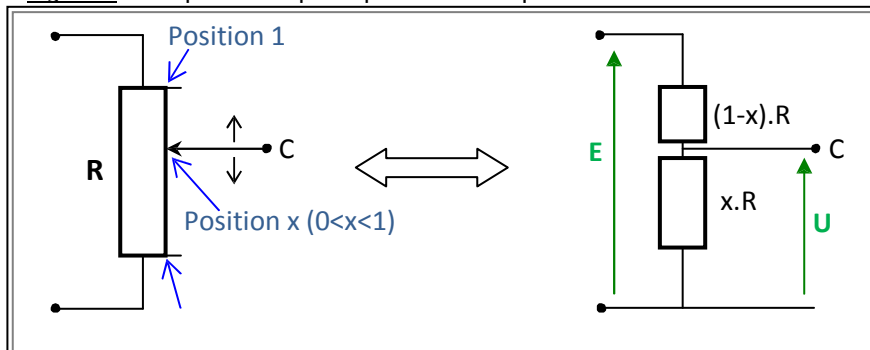
5. CAPTEURS A RESISTANCE VARIABLE PAR DEFORMATION :

5-1- Capteurs potentiométriques de déplacement:

5.1.1 Principe:

Pour mesurer la position d'un objet, il suffit de le relier mécaniquement au curseur C d'un potentiomètre (schéma ci-dessous).

Fig. 12 : Principe d'un capteur potentiométrique



On applique une tension continue E entre les extrémités A et B du potentiomètre. La tension U en sortie aura l'expression suivante : $U = E \cdot \frac{x.R}{R}$

La tension U en sortie est donc proportionnelle à la position x du curseur.

Avantages :

- Simplicité d'utilisation
- Faible coût.

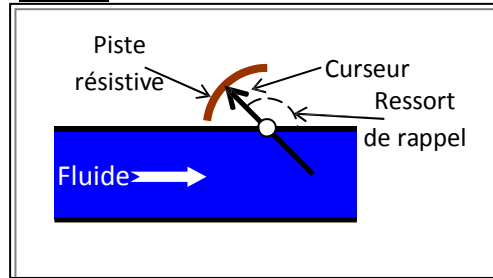
Inconvénients :

- Usure mécanique

5.1.2 Utilisations:

- Mesure de déplacement rectiligne
- Mesure d'angles de rotation
- Mesure de débit de fluide : Le débit du fluide exerce une force sur un clapet relié au curseur d'un potentiomètre. La tension en sortie du potentiomètre augmente avec la vitesse d'écoulement.

Fig. 13 : Mesure de débit



5-2- Capteurs à jauges d'extensiométrie:

5-2-1. Principe:

La résistance d'un conducteur est donnée par la « fameuse » relation :

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- ρ : Résistivité en $\Omega \cdot m$
- L : longueur en m
- S : section en m^2

La déformation du conducteur (jauge) modifie la longueur l entraînant une variation de la résistance R .

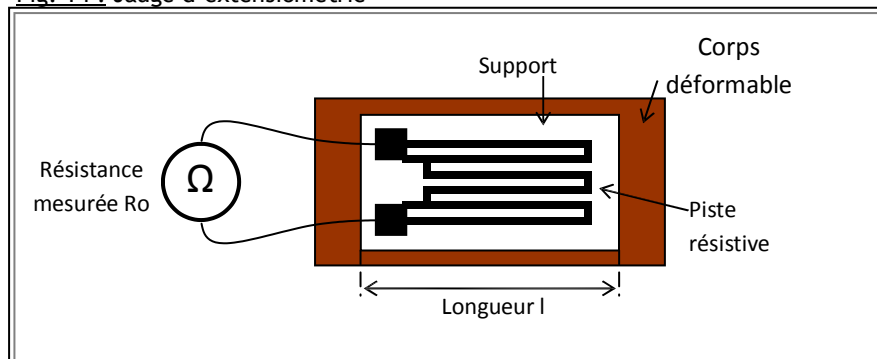
La relation générale pour les jauges est $\frac{\Delta R}{R_0} = K \frac{\Delta l}{l}$ où K est le facteur de jauge.

5-2-2 Fonctionnement d'une jauge simple:

La jauge est constituée d'une piste résistive collée sur un support en résine. Le tout est collé sur le corps dont on veut mesurer la déformation.

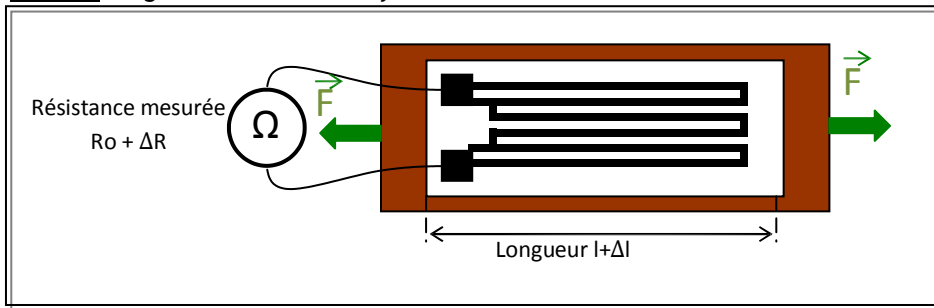
- Corps au repos (pas d'allongement)

Fig. 14 : Jauge d'extensiométrie



- Corps ayant subi un étirement (effort de traction)

Fig. 15 : Jauge d'extensiométrie ayant subi un étirement



Remarque : Dans le cas d'une contraction, la résistance de la jauge serait $R_0 - \Delta R$.

- Conditionneur de signal (pont de Wheatstone)

La tension de sortie v du pont a l'expression suivante :

$$V = E \left[\frac{R_0 + \Delta R}{R_0 + R_0 + \Delta R} - \frac{R}{R + R} \right] = E \left[\frac{\Delta R}{4R_0 + \Delta R} \right]$$

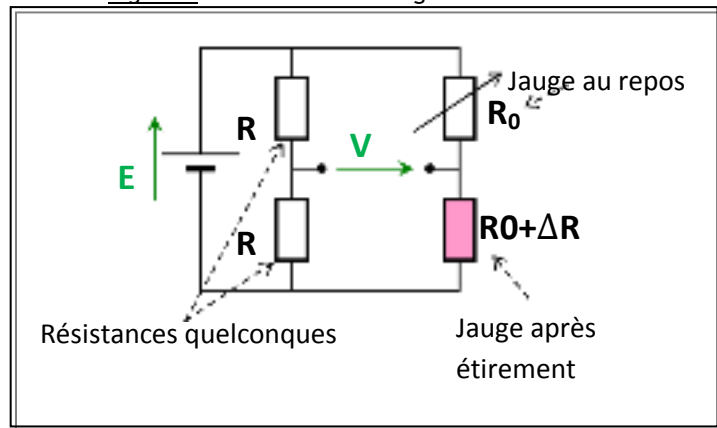
En général, la variation R est petite devant R_0 ; la relation se simplifie alors pour devenir quasi-linéaire :

$$V \approx E \left[\frac{\Delta R}{4R_0} \right]$$

La tension de sortie v du pont a l'expression suivante :

$$V = E \left[\frac{R_0 + \Delta R}{R_0 + R_0 + \Delta R} - \frac{R}{R + R} \right] = E \left[\frac{\Delta R}{4R_0 + \Delta R} \right]$$

Fig. 16 : Conditionneur de signal



En général, la variation R est petite devant R_0 ; la relation se simplifie alors pour devenir quasi-linéaire :

$$V \approx E \left[\frac{\Delta R}{4R_0} \right]$$

Remarque : On peut améliorer la sensibilité et la linéarité du dispositif en utilisant un pont à 2 résistances et 2 jauges symétriques $R_0 + R$ et $R_0 - R$.

Il est même possible d'utiliser un pont à 4 jauges symétriques pour avoir une parfaite linéarité.

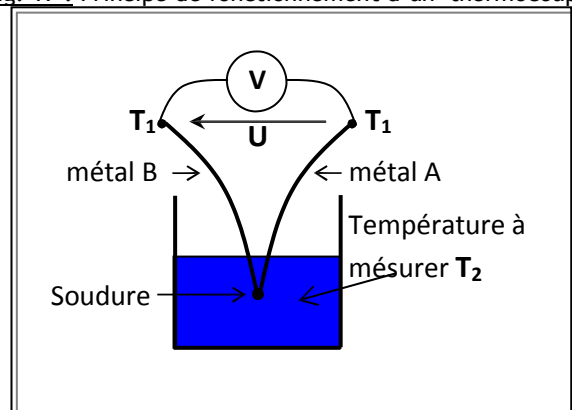
6. CAPTEURS DE TEMPERATURE :

6-1- Thermomètre à thermocouple:

On constate que si la température T_2 est différente de T_1 alors il apparaît une tension U aux bornes des deux fils soumis à la température T_1 .

Le phénomène inverse est aussi vrai : si on applique une tension, alors il y aura un échauffement ou un refroidissement au point de liaison des deux conducteurs (modules à effet Peltier).

Fig. 17 : Principe de fonctionnement d'un thermocouple



Application: Mesure des hautes températures : 900 à 1300 °C.

6-2- Thermistance:

Une thermistance est un composant dont la résistance varie en fonction de la température. En première approximation, la relation entre résistance et température est la suivante :

$$R_{\theta} = R_0(1 + a\theta)$$

R_{θ} : La résistance à la température

R_0 : La résistance à la température 0°C

a : Le coefficient de température.

Remarque:

- si $a > 0$ alors on a une thermistance CTP ($R \nearrow$ quand $\theta \nearrow$)
- si $a < 0$ alors on a une thermistance CTN ($R \searrow$ quand $\theta \nearrow$).

Application: On insère la thermistance dans un pont de jauge. On obtient ainsi une tension V en sortie du pont $V = K.(\theta - \theta_0)$. Si on prend $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$, on obtient $V = K. \theta$.

On peut aussi alimenter la thermistance avec un générateur de courant. La tension à ses bornes sera donc proportionnelle à la résistance.

6-3- Capteurs à sortie numérique directe:

On trouve actuellement sur le marché, des capteurs de température à sortie numérique directe de type série. Il s'agit notamment des capteurs DALLAS qui sont classés en deux catégories :

6-3-1 Les capteurs à sortie I2C (2 fils) DS1621:

Ce capteur DS1621 peut mesurer une température variant de -55°C à 125°C avec une précision de 0,5°C. Pour transmettre la mesure (9 bits), il utilise la norme I2C qui consiste à transmettre en série les bits de mesure sur la ligne SDA en synchronisation avec la ligne SCL (horloge).

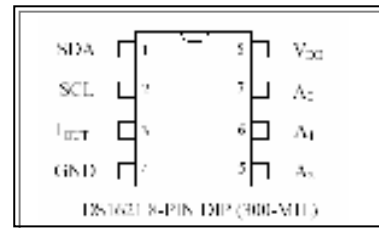


Tableau 3

TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIPS		
TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	01111101 00000000	7D00h
+25°C	00011001 00000000	1900h
+½°C	00000000 10000000	0080h
+0°C	00000000 00000000	0000h
-½°C	11111111 10000000	FF80h
-25°C	11100111 00000000	E700h
-55°C	11001001 00000000	C900h

Le DS1621 possède aussi d'autres fonctions :

- Il est adressable physiquement sur 3 bits (A0, A1 et A2), ce qui permet d'en utiliser 8 sur la même ligne SDA-SCL.
- Il possède une fonction thermostat qui permet de commander un chauffage (températures TH et TL) par l'intermédiaire de la ligne TOUT même lorsque le capteur est déconnecté du matériel informatique.

6-3-1 Les capteurs à sortie I2C (2fils) DS1621:

Ce capteur DS1820 peut mesurer une température variant de -55°C à 125°C avec une précision maximale de 0,125°C.

Pour transmettre la mesure (résolution réglable de 9 à 12 bits), il utilise la norme 1-Wire qui consiste à transmettre en série sur un seul fil, le résultat de la mesure.

La ligne VD peut être connectée à la masse GND et la ligne DQ supportera à la fois l'alimentation et la transmission des données, d'où l'appellation 1 Wire.

Il suffit donc de deux fils (DQ et GND) pour alimenter et communiquer avec ce capteur.

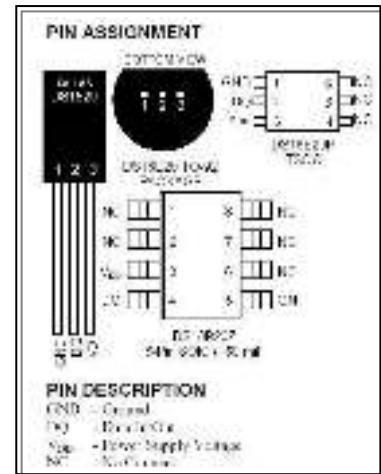


Tableau 4

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C	0000 0101 0101 0000	0550h*
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
-10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
-40.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
+0.5°C	1111 1111 1111 1000	FF78h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Fh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FF6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

*The power on reset register value is +85°C.

Le DS1621 possède aussi d'autres fonctions :

- Il est doté d'une adresse (numéro de série) affectée en usine et définitive. Elle est codée sur 8 octets ce qui permet d'utiliser, en théorie, un très grand nombre de DS1820 sur la même ligne.
- Une alarme de température peut être paramétrée et la consultation de celle-ci se fait par lecture d'une zone mémoire (adresse - donnée).

The background features three large, overlapping orange circles of varying shades (dark orange, medium orange, and light orange) and three thin orange lines that intersect to form a triangular shape. The text is positioned within this triangular area.

PARTIE 2

LES ACTIONNEURS PNEUMATIQUES ET HYDRAULIQUES

Rien n'est facile, mais tout vaut la peine d'être essayé

BACHELARD

LES ACTIONNEURS PNEUMATIQUES ET HYDRAULIQUES

CHAPITRE 1 : L'ENERGIE PNEUMATIQUE 23

- 1. CONSTITUTION D'UNE INSTALLATION PNEUMATIQUE 23
- 2. PRODUCTION DE L'ENERGIE PNEUMATIQUE 24
- 3. PRINCIPES PHYSIQUES 25

CHAPITRE 2 : LES PREACTIONNEURS PNEUMATIQUES 25

- 1. FONCTION 25
- 2. CONSTITUANTS D'UN DISTRIBUTEUR 25
- 3. LES PRINCIPAUX DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES 25
- 4. LES DISPOSITIFS DE COMMANDE 26
- 5. APPLICATION: PRESSE PNEUMATIQUE 27

CHAPITRE 3 : LES ACTIONNEURS PNEUMATIQUES 29

- 1. LES VERINS 29
- 2. LE GENERATEUR DE VIDE OU VENTURI 31

CHAPITRE 4 : LES ACTIONNEURS HYDRAULIQUES 33

- 1. DEFINITION 33
- 2. PRINCIPAUX TYPES DE VERINS 33
- 3. DIMENSIONNEMENT DES VERINS 33
- 4. APPLICATION 33

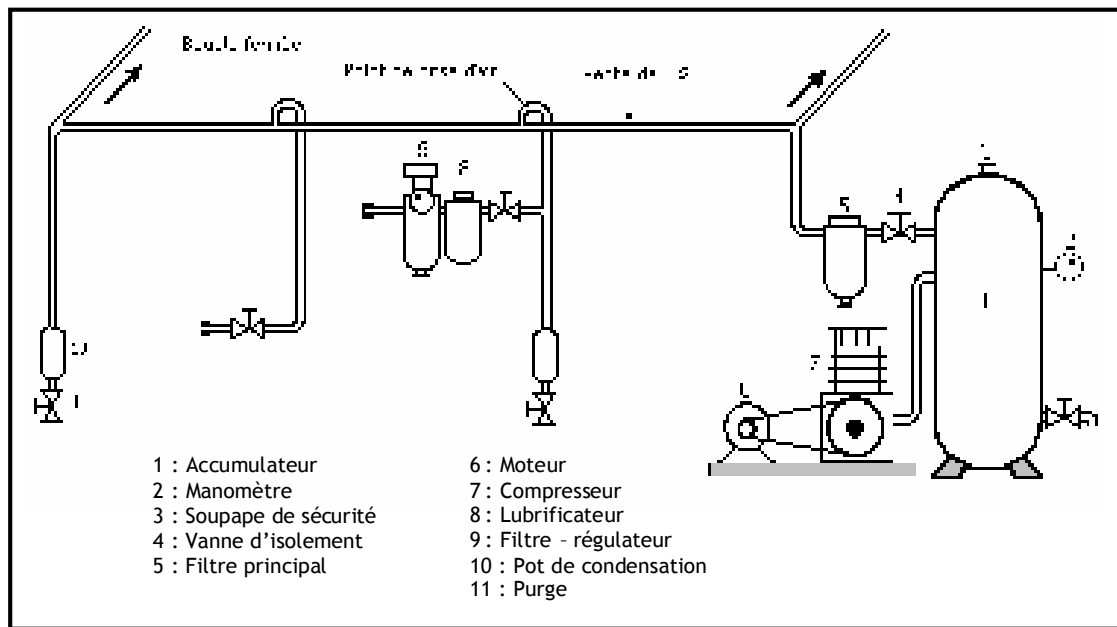
INTRODUCTION :

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 trois phases principales : la compression, stockage et distribution de l'air comprimé.

1. Constitution d'une installation pneumatique:

Une installation pneumatique est composée de :

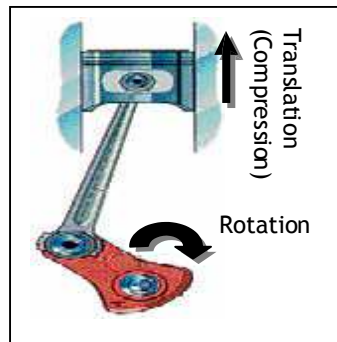
1. un générateur d'air comprimé (compresseur)
2. un réservoir de capacité proportionnelle au débit de l'installation
3. un réseau de canalisations
4. des appareils auxiliaires assurant diverses fonctions :
 - réglage des caractéristiques de l'air : détendeur, régulateur de pression, etc.
 - conditionnement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

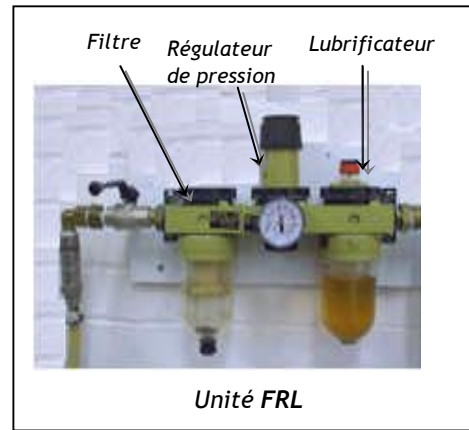
- une vanne d'isolement
- un robinet de purge,
- un manomètre.



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 mano-régulateur** : pour régler et réguler la pression de l'air.
- **un lubrificateur** : pour éviter la corrosion et à améliorer le glissement.

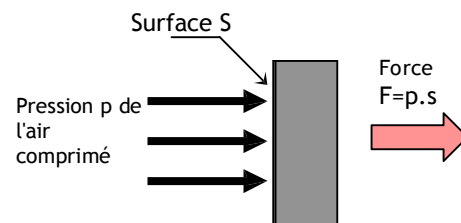


3. PRINCIPES PHYSIQUES :

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

$$F = P.S.$$

- F est la force résultante en Newton
- p est la pression en Pascals (Pa)
- S est la surface en m².



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

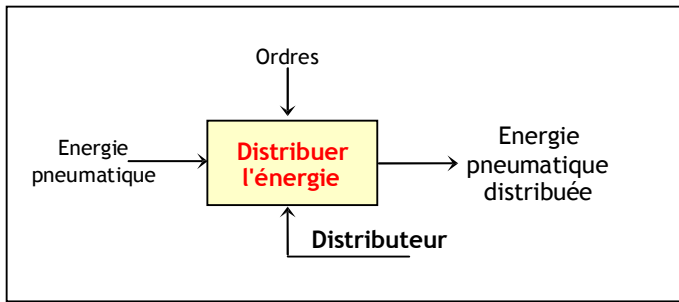
- **1 bar = 10⁵ Pa.**
- **1 bar = 100000 N/m²**

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 :

Rôle d'un distributeur pneumatique



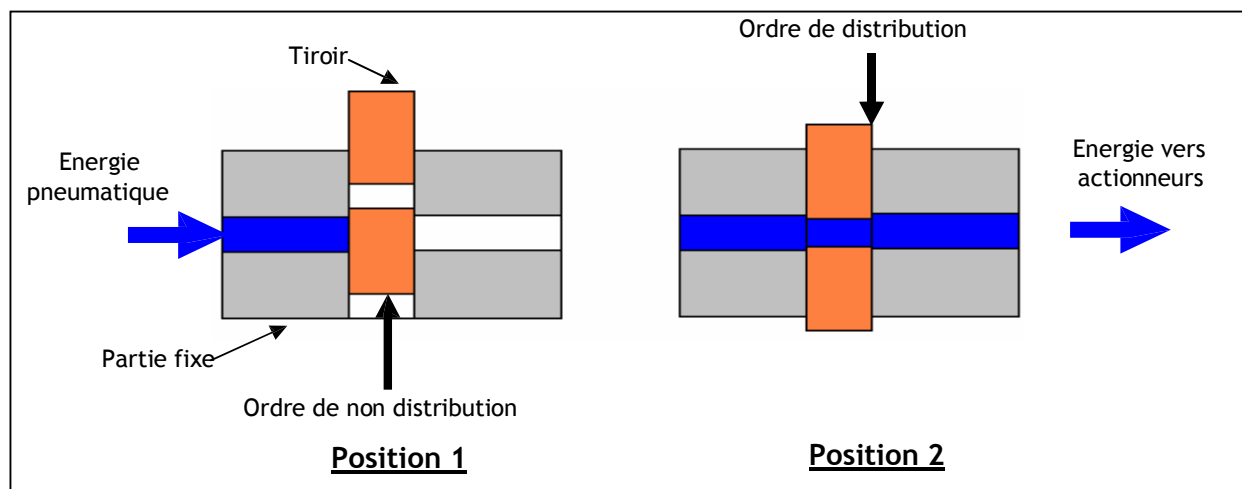
Distributeur électropneumatique



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 direct (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.

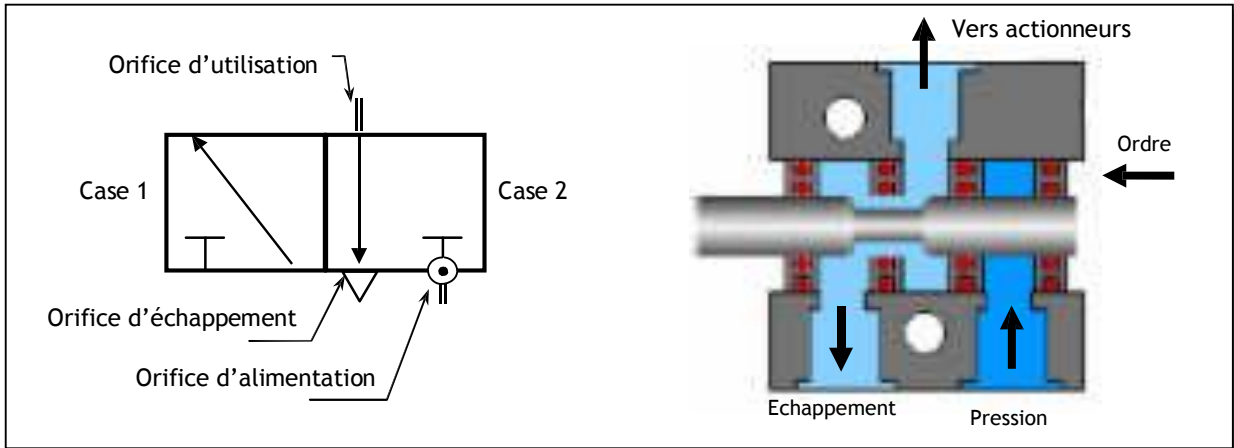


3. LES PRINCIPAUX DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES:

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 :



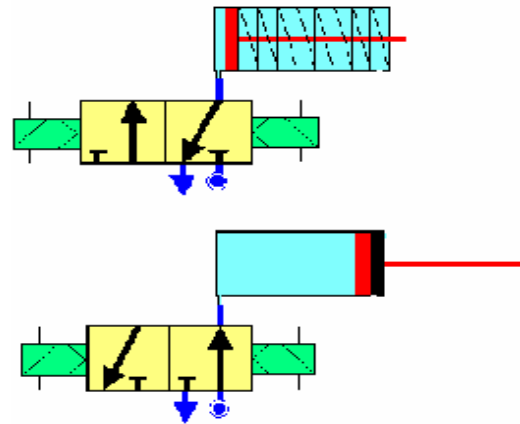
Exemples :

Distributeurs 3/2 et 5/2

Distributeur 3/2



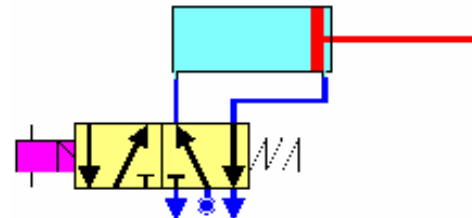
- En position repos, l'orifice d'alimentation du vérin est relié à l'orifice d'échappement : la tige est maintenue donc rentrée ;
- En position travail, provoquée par un ordre de la PC, l'orifice d'alimentation du vérin est mis en liaison avec la source d'air comprimé. Par conséquent, la tige sort.



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 :

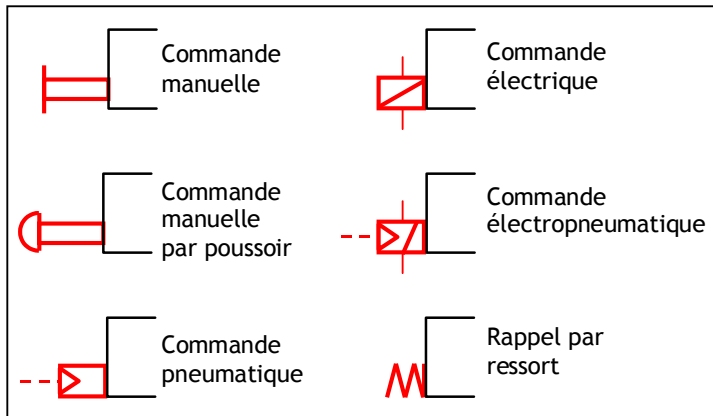
- D'un distributeur monostable si le retour du tiroir à sa position initiale est assuré par un ressort de rappel ;
- d'un distributeur bistable si le tiroir reste dans l'état que lui a imposé le dernier ordre envoyé par la PC

Distributeur à commande électrique

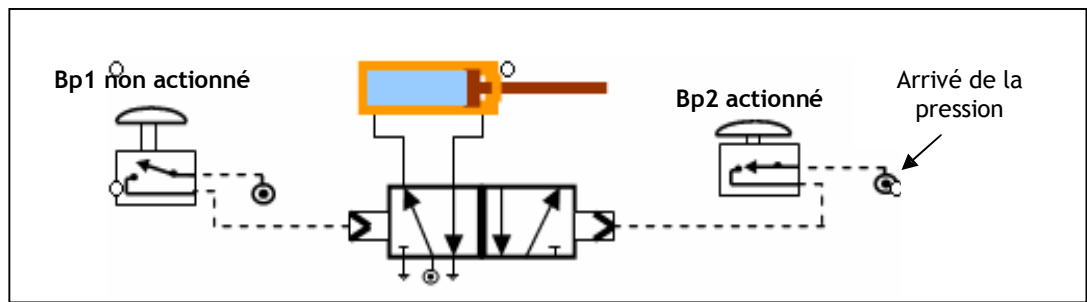


La commande du distributeur est représentée par un rectangle accolé à la case qu'elle commute et complétée par un ou plusieurs symboles schématisant la technologie utilisée.

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



Exemples: distributeur à pilotage pneumatique

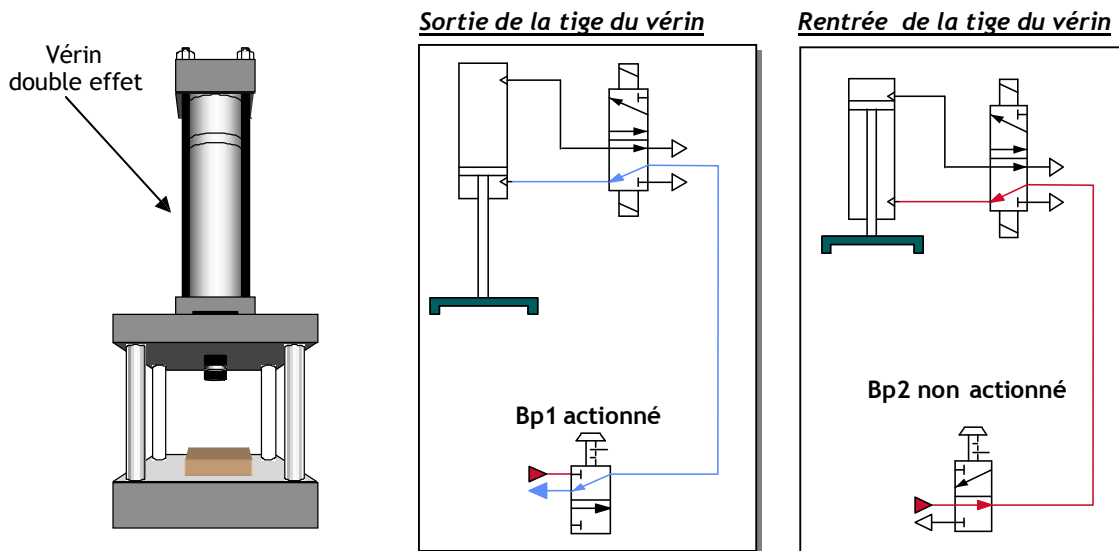


5. APPLICATION: PRESSE PNEUMATIQUE

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:



EXERCICE NON RESOLU

Dans une usine de fabrication de voiturettes miniature, on désire le fonctionnement suivant :

- L'opérateur place sur un gabarit le châssis, les essieux de roues avant et arrière, ainsi que la coque.
- Lorsque cela est prêt, il appuie sur un bouton poussoir, ce qui a pour effet de faire descendre le vérin de sertissage, qui remonte dès qu'il est arrivé en bout de course.

En appelant

V- le mouvement de rentrée de tige

h le capteur haut

b le capteur bas

m le bouton poussoir,

La première équation s'écrit :

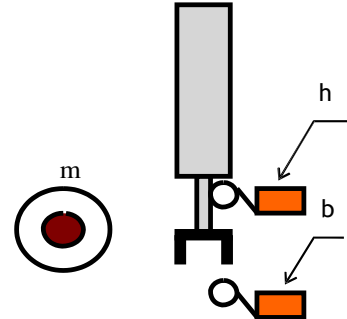
$$V+ = h.m$$

La deuxième équation s'écrit :

$$V- = b$$

1. Etablir le schéma de câblage en utilisant un distributeur bistable 5/2 et un vérin double effet.
2. Modifier le câblage de manière à ce que la sortie du vérin ne se fasse qu'après appui simultané sur deux boutons poussoirs m et r (pour améliorer la sécurité, l'opérateur devra appuyer sur un bouton avec chaque main, de manière à éviter « d'oublier » une main sous le vérin).

N.B les capteurs a et b sont des capteurs pneumatiques (distributeur 2/2).



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

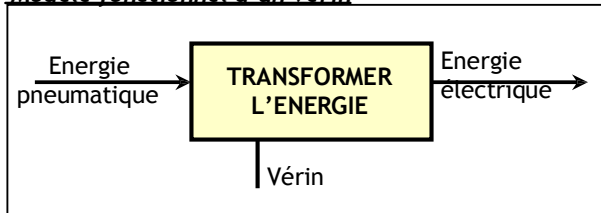


1. LES VERINS :

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

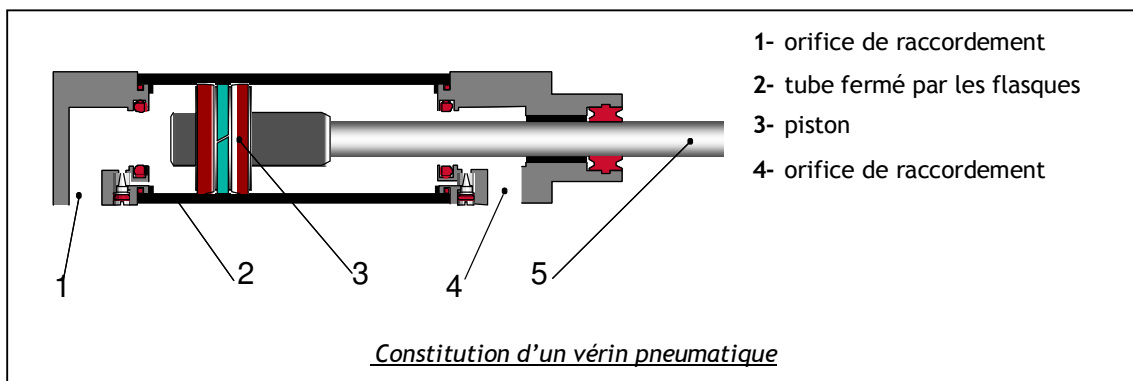


Vérin standard



1.1. Constitution et principe de fonctionnement :

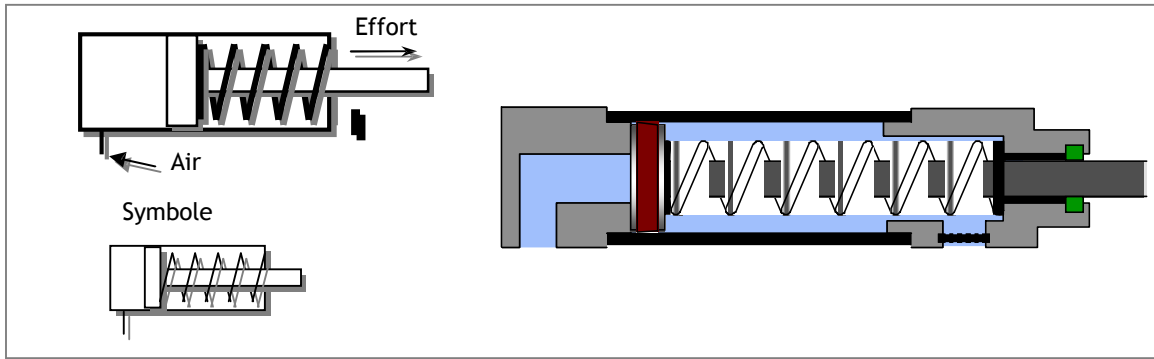
Un vérin est constitué d'un cylindre, fermé aux deux extrémités, à l'intérieur duquel se déplace librement un piston muni d'une tige, sous l'effet des forces dues à la pression de l'air comprimé. Pour faire sortir la tige, on applique la pression sur la face arrière du piston et pour la faire rentrer,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



1.2. Types usuels des vérins:

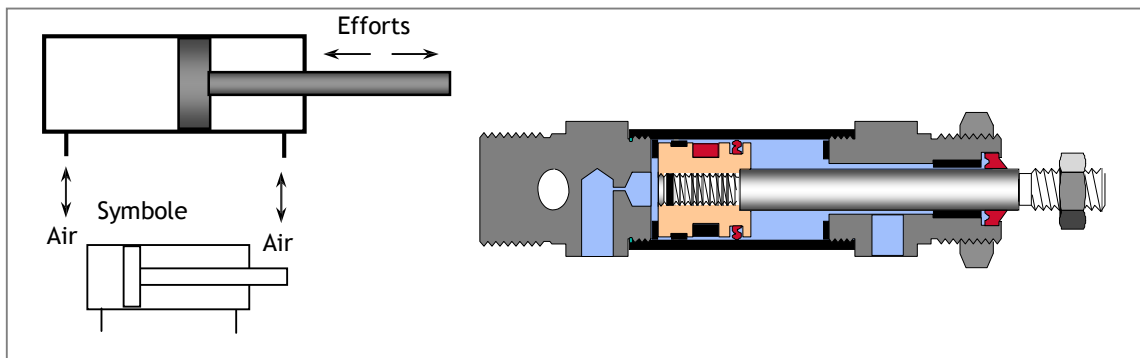
1.2.1. Vérin simple effet:

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.



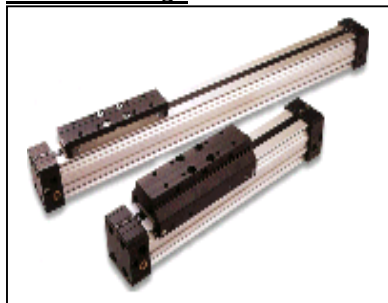
Vérin pneumatique avec capteur de fin de course (ILS)

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 :

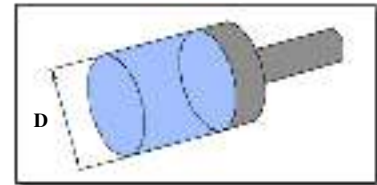
Le fonctionnement d'un vérin dépend des caractéristiques suivantes :

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

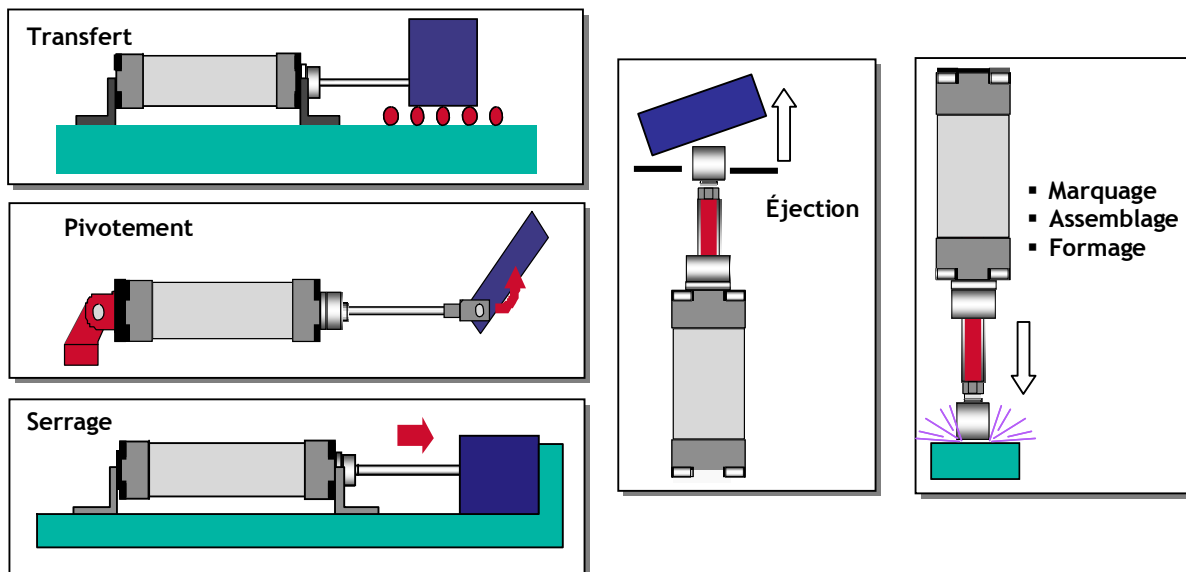
Le choix et le dimensionnement d'un vérin s'effectuent en fonction de l'effort à transmettre.

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



1.5. Exemple d'utilisation des vérins pneumatiques:

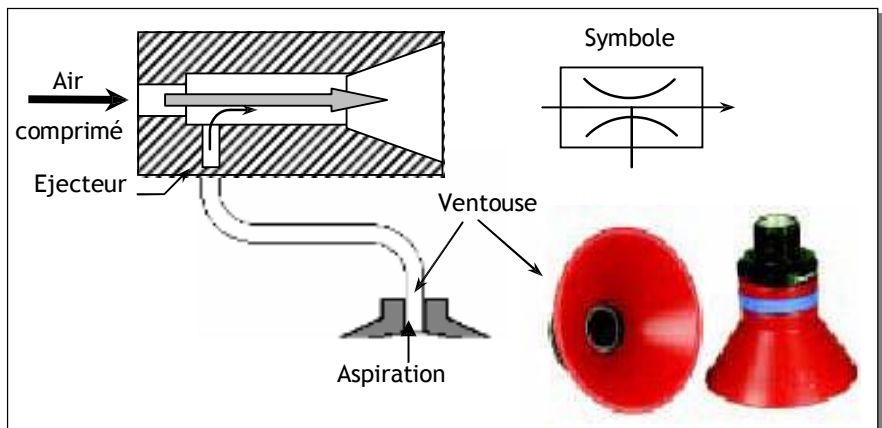


2. LE GENERATEUR DE VIDE OU VENTURI :

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.

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 :

- 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- 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 %.

INTRODUCTION :

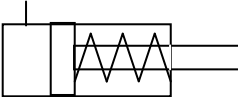
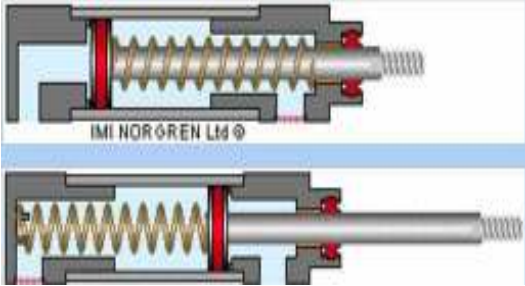
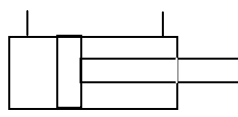
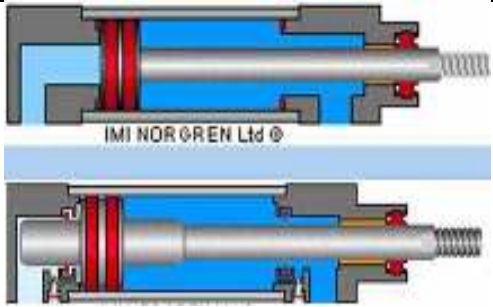
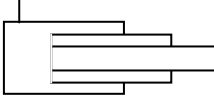
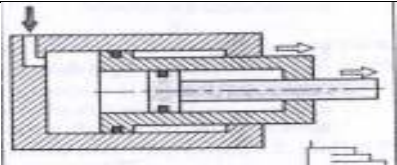
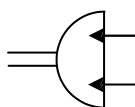
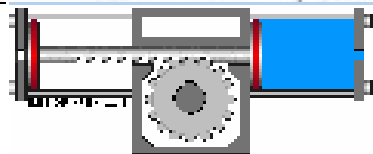
Les convertisseurs hydrauliques transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique. On distingue:

- 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 :

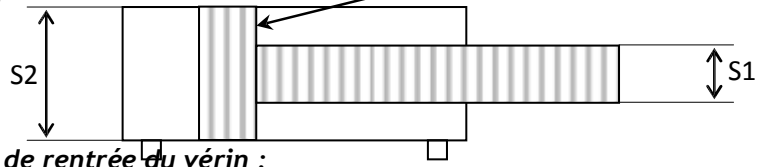
	Symboles	Schémas
<p>Vérin simple effet</p> <p>L'ensemble tige piston se déplace dans un seul sens sous l'action du fluide sous pression. Le retour est effectué par un ressort ou charge.</p> <p>Avantages : économique et consommation de fluide réduite.</p> <p>Inconvénients : encombrant, course limitée.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

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 .

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



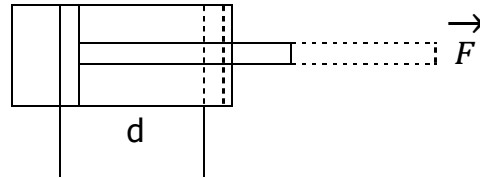
Pour déterminer les vitesses de sortie et de rentrée du vérin :

Notons :

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

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

➤ 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 : η

$$\eta = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance dépensée}}$$

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 cm². Ce vérin reçoit un débit de 24 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 cm². Il reçoit un débit 36 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 3

LES ACTIONNEURS ELECTRIQUES

Pour progresser, Il ne suffit pas de vouloir agir, il faut d'abord savoir dans quel sens agir.

Gustave LE BON

PARTIE 3

LES ACTIONNEURS ELECTRIQUES

CHAPITRE 1 : LES PREACTIONNEURS ELECTRIQUES 37

1. LE RELAIS	37
2. LE CONTACTEUR	39
3. LE SECTIONNEUR	40
4. LES FUSIBLES	41
5. LE RELAIS THERMIQUE	41

CHAPITRE 2 : CONVERTISSEUR ELEC TROMECHANIQUE 44

1. ORGANISATION DE LA MACHINE	44
2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	44
3. MODELE ELECTRIQUE SIMPLE DU MOTEUR A COURANT CONTINU	46
4. DEMARRAGE DU MOTEUR A COURANT CONTINU	46
5. BILAN DES PUISSANCE	47
6. REVERSIBILITE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU	47
7. ALIMENTATION DU MOTEUR	48
8. FONCTIONNEMENT A VITESSE VARIABLE	48

CHAPITRE 3 : LES MOTEURS PAS A PAS 50

INTRODUCTION	50
1. MOTEUR A AIMANT PERMANANT	50
2. MOTEUR A RELUCTANCE VARIABLE	53
3. MOTEUR HYBRIDE	54

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.



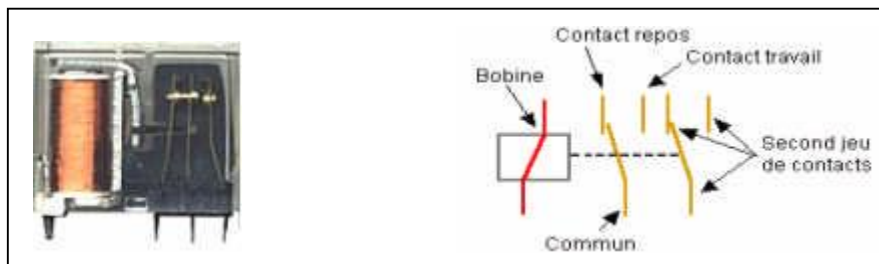
1. LE RELAIS

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.

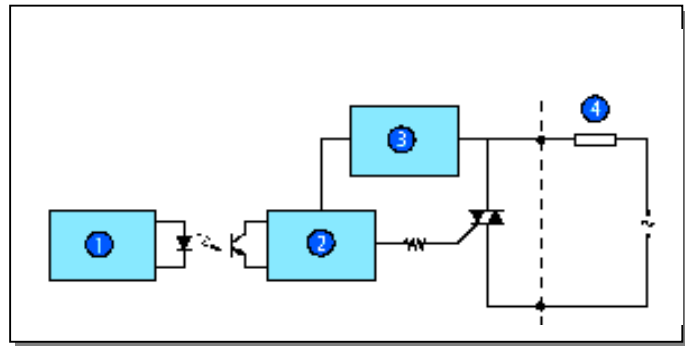
1.2. Relais statique :

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 :



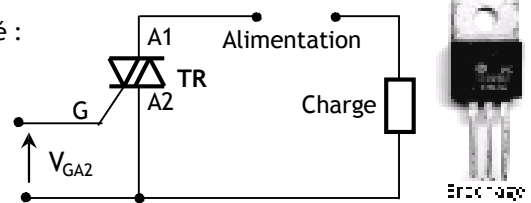
1. Le circuit d'entrée correspond à l'unité de traitement ;
2. Le circuit de mise à niveau ;
3. Le circuit de détection de passage de zéro permet de ne commuter le relais que si la tension secteur est pratiquement nulle ; ainsi on évitera les rayonnements dus à une commutation d'une grande valeur ;
4.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

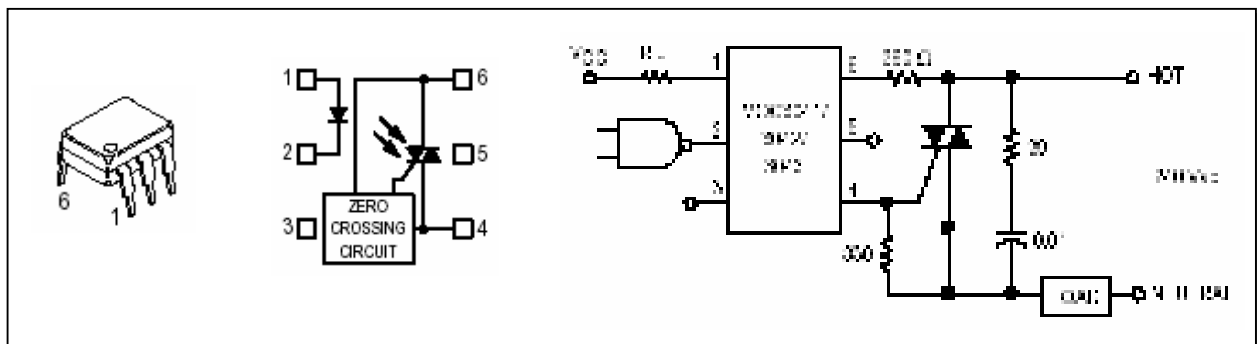


1.2.2. Caractéristiques fondamentales :

- 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 :



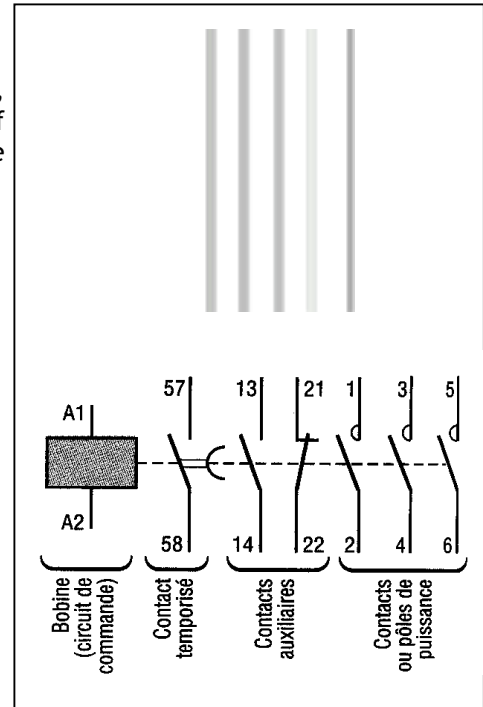
- Si l'unité de commande, ici matérialisée par une porte NAND, fournit un 0 à la sortie de cette porte, la diode infrarouge conduit, ce qui fait conduire l'optotriac interne, qui à son tour commande le triac extérieur, qui devient comme un circuit fermé ; la charge (LOAD) est alors alimentée par 240V 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'ajouter 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°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 " I_e " et de la tension nominale d'emploi " U_e " ; 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 - Inversion du sens de marche - Freinage par contre courant - Marche par "à coups"	DC4	Moteurs série
		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

Tableau 6

charges non inductives courant maximal (à 30 °C) catégorie d'emploi AC-1 A	nombre de pôles		contacts aux laires instantanés		réf. de base à compléter par le repère de la tension (2) tension (1)
	N	Y	N	Y	
Raccordement par vis-à-lairs ou connecteurs					
25	3	.	1	1	LC1 D09... ou LC1 D12... LC1 D10...
32	3	.	1	1	LC1 D25...
40	3	.	1	1	LC1 D32...
50	3	.	1	1	LC1 D32... ou LC1 D38...
63	3	.	1	1	LC1 D40...
80	3	.	1	1	LC1 D50... ou LC1 D65... (8) LC1 D80...
125	3	.	1	1	LC1 D85... (9) ou LC1 D115...
200	3	.	1	1	LC1 D115... ou LC1 D150... (1)

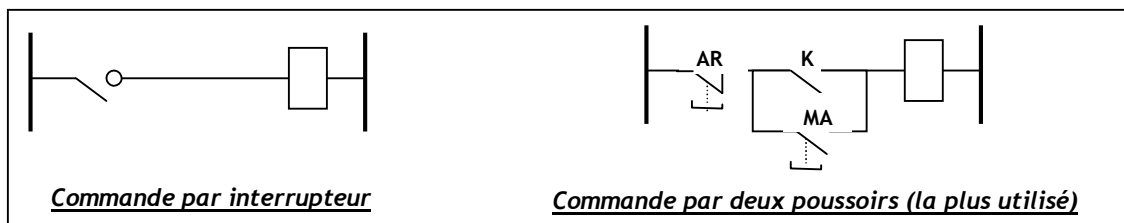
Exemple de choix : Un circuit de chauffage est composé par deux charges résistives triphasés. Chaque charge consomme un courant de 10A par phase sous une tension $U = 380V$.

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.

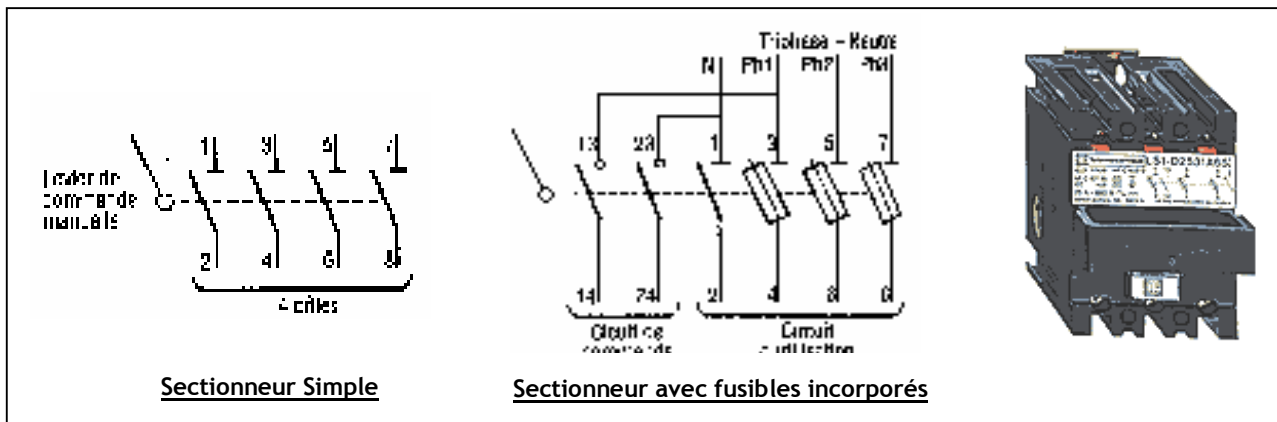
Généralement, dans une chaîne d'énergie électrique, le préactionneur ne s'utilise pas seul, mais associé à une classe d'appareillage typique : sectionneur, relais thermique, etc.

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.

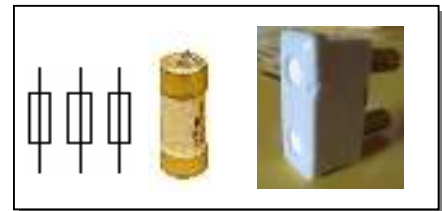
On trouve également des sectionneurs qui servent en plus de porte-fusible. On les désigne par "Sectionneurs porte-fusible" :



4. LES FUSIBLES

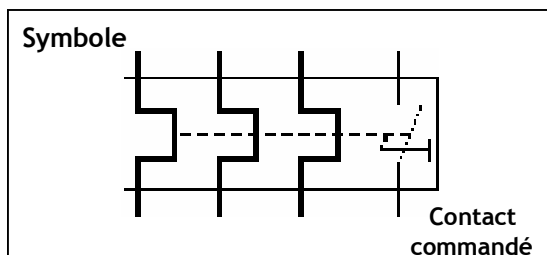
Les fusibles sont des appareils de protection dont la fonction est d'ouvrir un circuit par fusion d'un élément calibré, lorsque le courant dépasse une valeur précise, pendant un temps donné. On trouve :

- La classe gI 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.



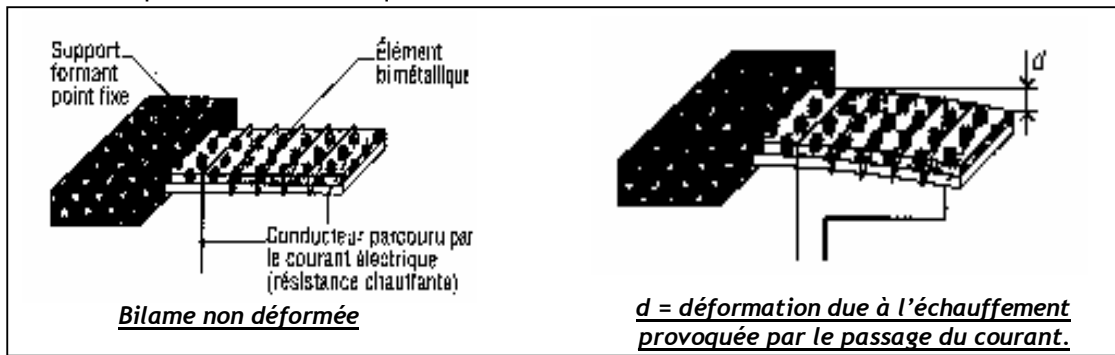
5. LE RELAIS THERMIQUE

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.

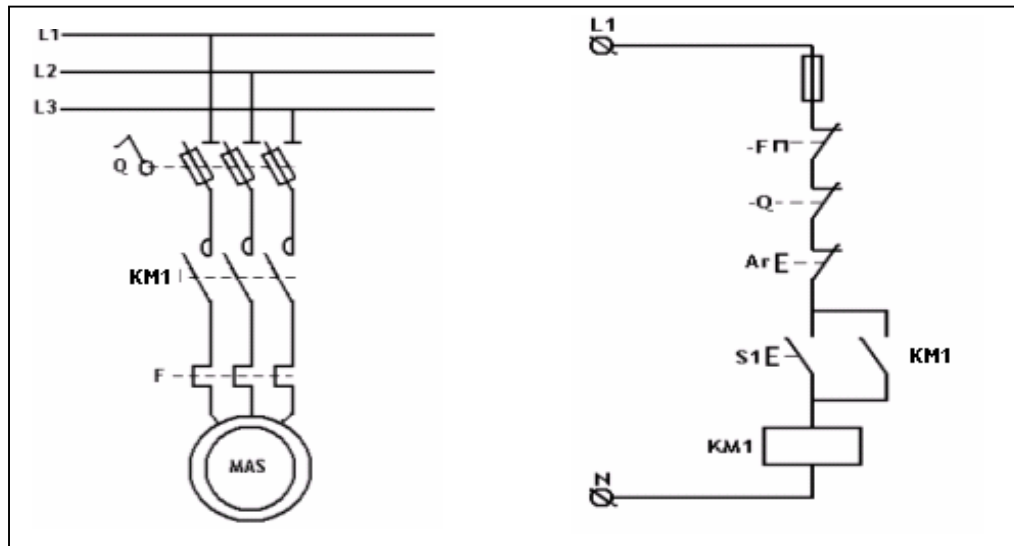
Ce contact étant convenablement placé dans le circuit de commande va couper l'alimentation de la bobine du contacteur qui va ouvrir ses pôles de puissances et interrompre le passage de l'énergie électrique au travers du récepteur. C'est donc l'appareillage de commande qui coupe le circuit de puissance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



EXERCICE RESOLU

EXERCICE N° 1 :

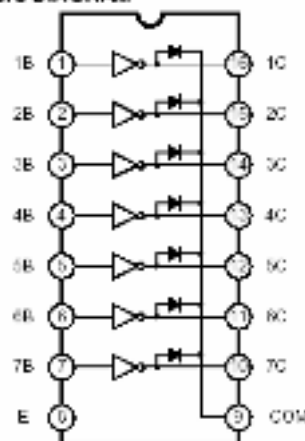
Pour distribuer l'énergie vers l'actionneur, typiquement un moteur triphasé, le schéma suivant est généralement adopté. Décrire le fonctionnement du montage :



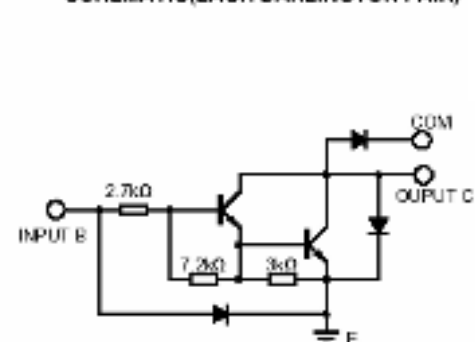
EXERCICE N° 2 :

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)

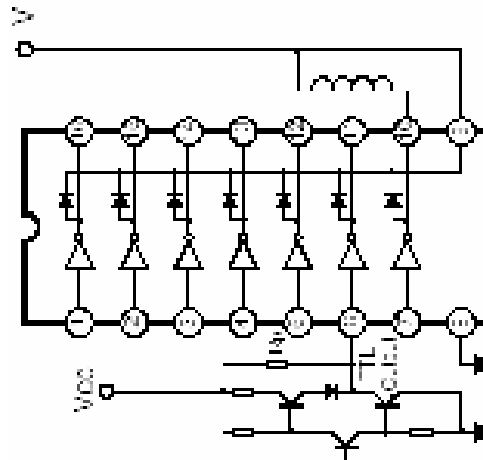


CORRIGE :

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 précoupe ».

EXERCICE N° 2 :



EXERCICES NON RESOLUS

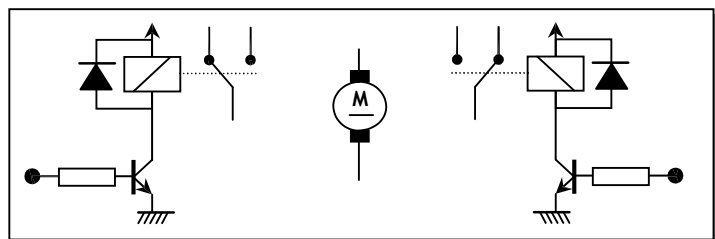
EXERCICE N° 1 :

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 alimenté 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 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 :

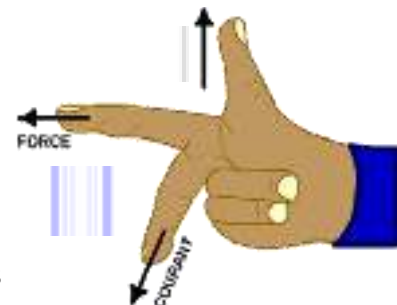
2.1. Loi de Laplace :

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 -).

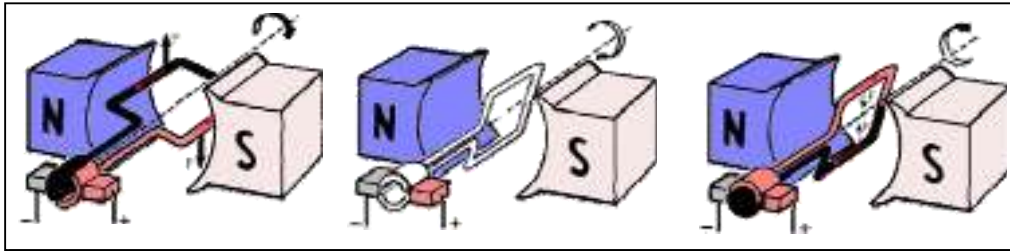
L'index détermine alors le sens de la force.

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.

φ : flux sous un pôle.

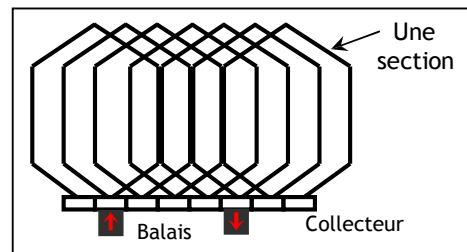
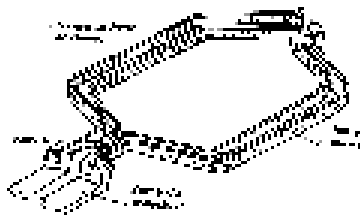
Si le flux est constant cette fcem peut s'écrire :

$$E = k \cdot n$$

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 :

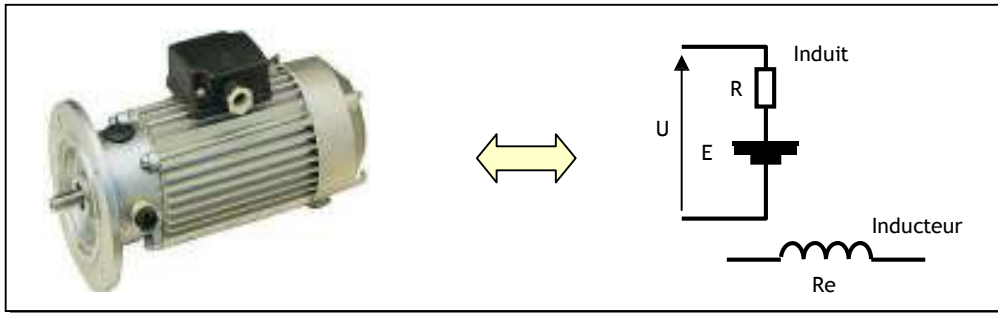
2.4. Couple électromagnétique :



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 Ω 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).

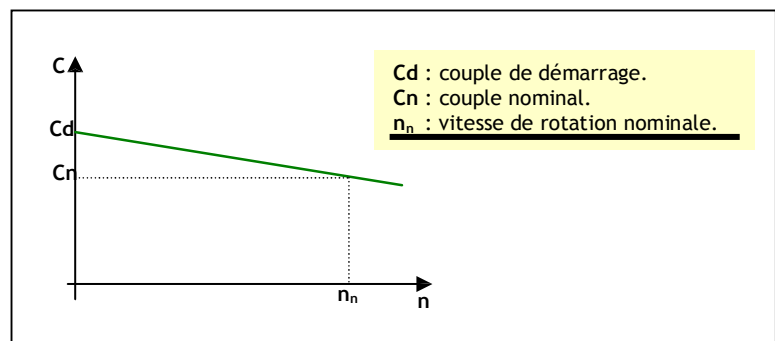
$$\begin{aligned} U &= E + R.I \\ E &= k.n \\ C &= (k/2\pi).I = k'.I \end{aligned}$$

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

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

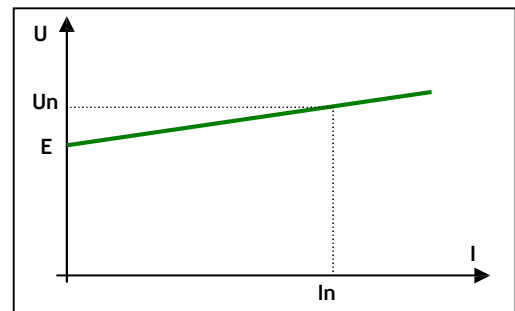
$$C = k'.\left(\frac{U}{R} - \frac{k.n}{R} \right)$$

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 :

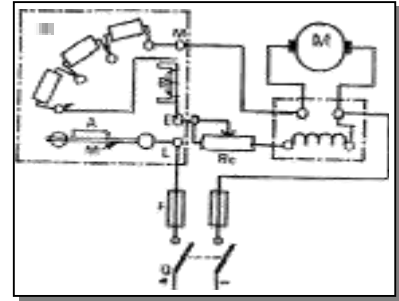
$$U = R.I_d \text{ (} I_d \text{ : courant au démarrage).}$$

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 :

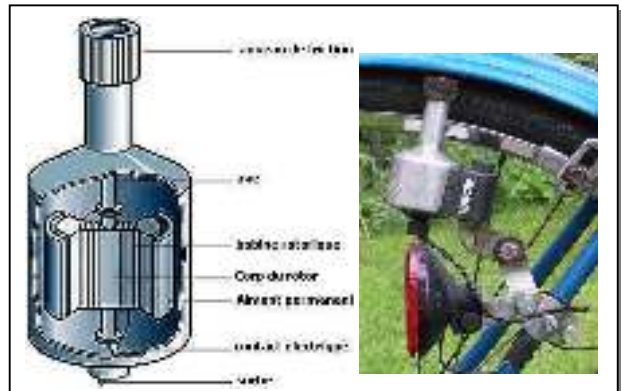
$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

6. REVERSIBILITE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU :

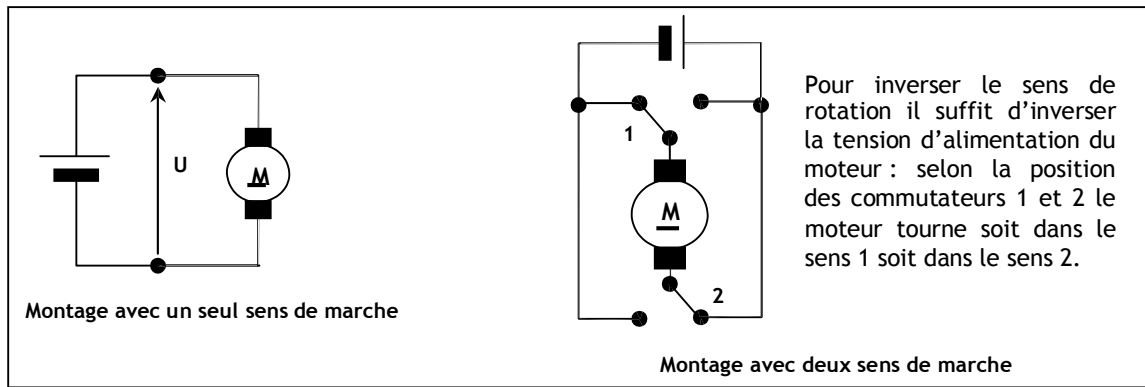
La loi de Faraday énonce que si un conducteur se déplace dans un champ magnétique il est le siège d'une fem (force électromotrice) induite qui représente la variation du flux dans le temps à travers cette spire.

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.



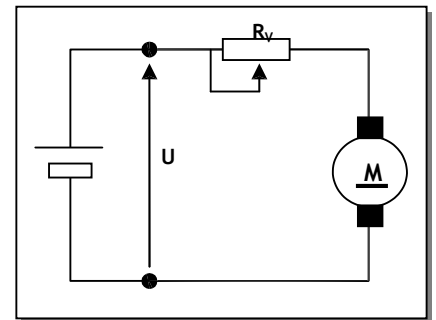
7. ALIMENTATION DU MOTEUR :



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. $I_D = U/R$ AN $I_D = 240$ A.

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

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

$I = 2 \cdot \pi \cdot C/k$ AN $I = 13$ A.

Donc $P_j = R \cdot I^2$ AN $P_j = 85.6$ W.

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

$P_a = U \cdot I$ AN $P_a = 1560$ W.

Calcul des pertes constantes :

$P_c = T_p \cdot \Omega$ AN $P_c = 157.08$ W.

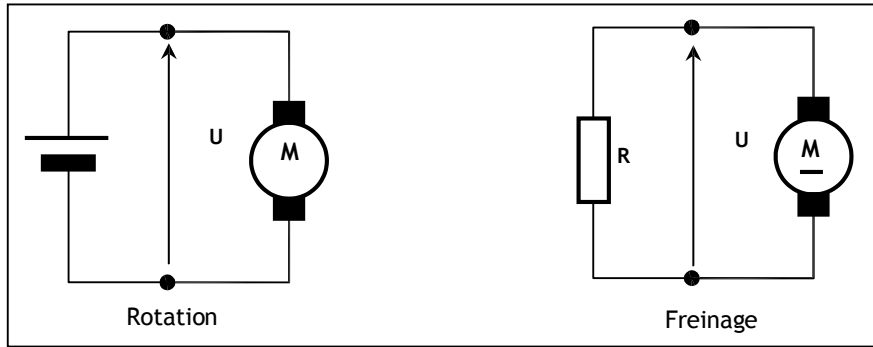
Donc $\eta = (P_a - P_c - P_j)/P_a$ AN $\eta = 84.4$ %

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.

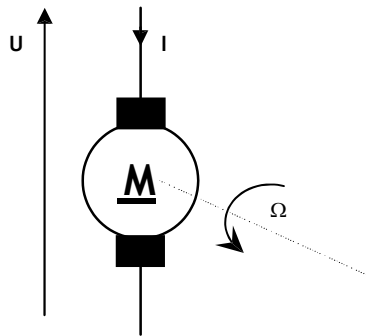
Donner un montage avec contacteurs permettant un démarrage deux sens de marche avec un freinage rhéostatique. La console de commande contient 4 boutons poussoirs :

- 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,
- Ω 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,

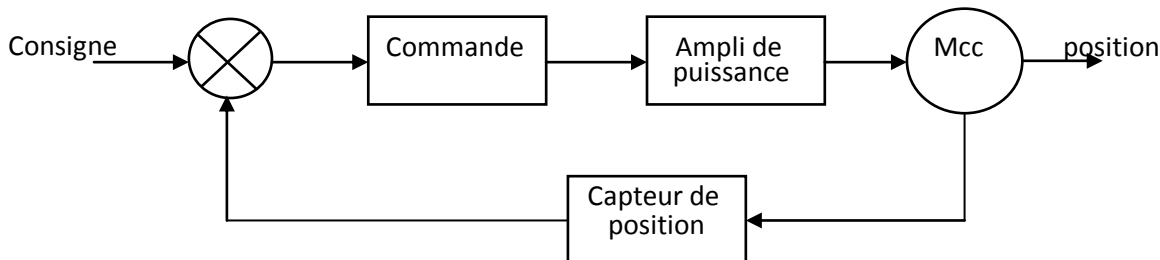
- 1.1. Etablir l'expression du moment du couple électromagnétique,
- 1.2. Pour le courant nominal d'intensité I_n , calculer les valeurs numériques de la tension d'alimentation U et du moment du couple électromagnétique pour les fréquences de rotation
 - a) $n = 0$
 - b) $n = 50 \, \text{tr/s}$
- 1.3 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 Ω 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 $1.25 I_n$?

INTRODUCTION :

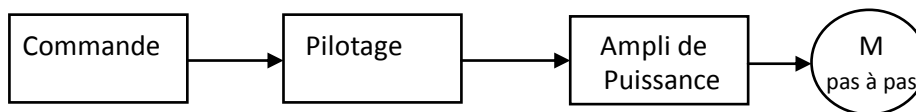


"Un moteur pas à pas transforme des impulsions de commande en une rotation de n pas du rotor : il permet donc un positionnement précis sans boucle d'asservissement (via potentiomètre, codeur ...).

- 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 $0,9^\circ$ et 90° . Les valeurs les plus couramment rencontrées sont :

- $0,9^\circ$: soit 400 pas par tour
- $1,8^\circ$: soit 200 pas par tour
- $3,6^\circ$: soit 100 pas par tour
- $7,5^\circ$: 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:

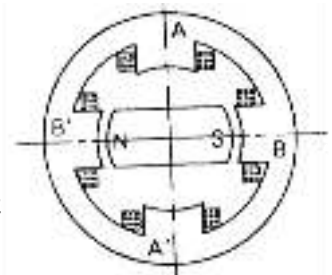
1.1. Constitution :

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 :

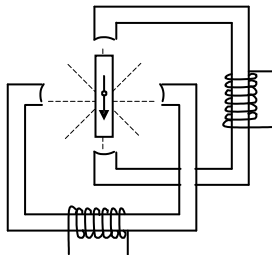
Les bobines diamétralement opposées constituent les phases. Elles sont connectées à un pôle Sud et un pôle Nord.



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 :

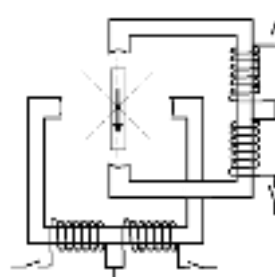
Le moteur bipolaire

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).

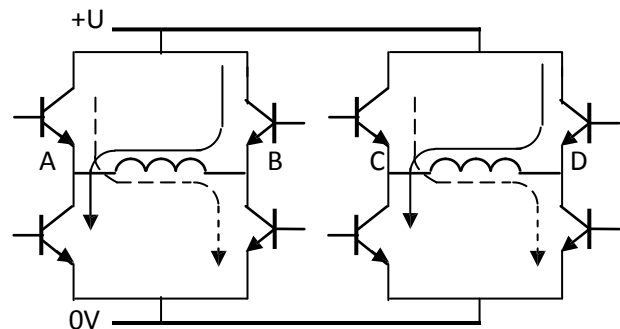


1.3. Alimentation :

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).

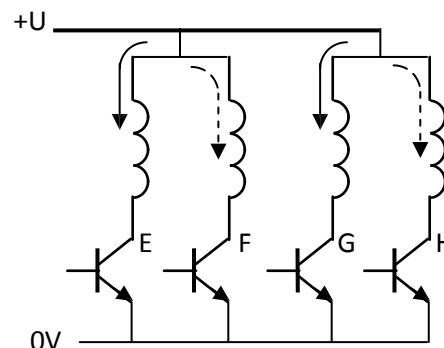
1.3.1. Moteurs à deux phases (ou bipolaire):

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.



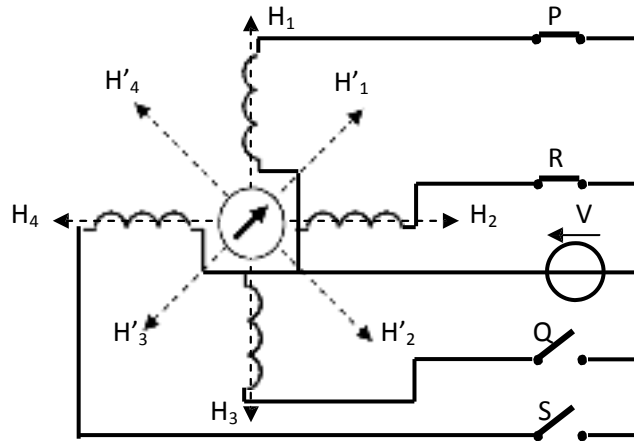
1.3.2. Moteurs à quatre phases (ou unipolaire):

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.



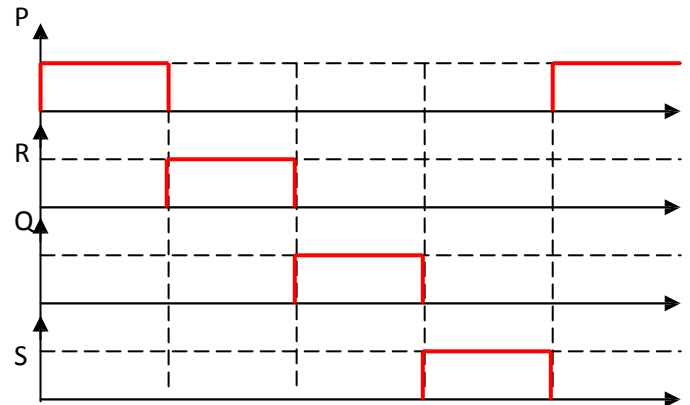
▪ **Commande en mode 1 :**

L'excitation individuelle des bobines crée les champs suivants :

P → H₁
R → H₂
Q → H₃
S → H₄

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	←



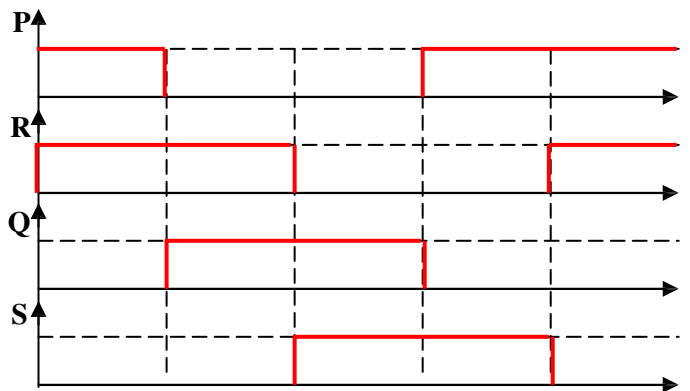
▪ **Commande en mode 2 :**

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

P-R → H'₁
R-Q → H'₂
Q-S → H'₃
S-P → H'₄

D'où le cycle de commutation suivant :

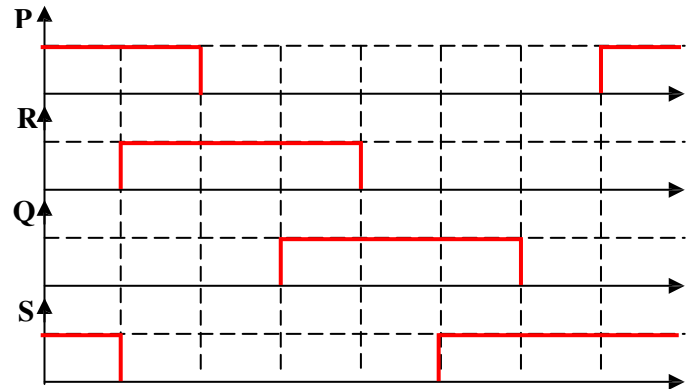
P	R	Q	S	Moteur
1	1	0	0	↗
0	1	1	0	↘
0	0	1	1	↙
1	0	0	1	↖



▪ **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 réluctance variable :

2.1. Constitution :

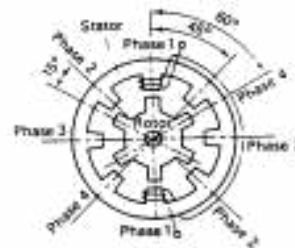
Ce moteur comporte une denture dont le pas n'est pas le même au stator et au rotor ; le rotor n'est pas aimanté.

Exemple :

Stator 8 pôles et rotor 6 pôles

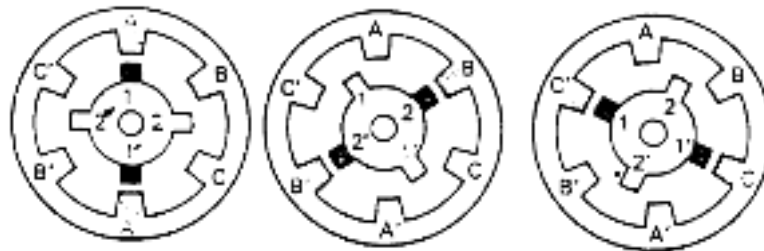
Pas statorique : $\alpha_s = 360^\circ / 8 = 45^\circ$

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 réluctance est donc minimale.



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

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

- α_r : Pas dentaire rotorique (en degrés)
- α_s : Pas dentaire statorique (en degrés)

2.3. Caractéristiques :

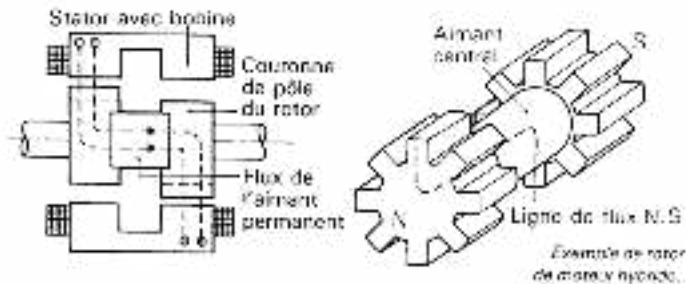
- Nombre de pas par tour important (bonne résolution) ;
- Construction assez facile ;
- Couple moteur (proportionnel au carré du courant dans les bobines) assez faible ;
- Sens de rotation lié à l'ordre d'alimentation des bobines.

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 :

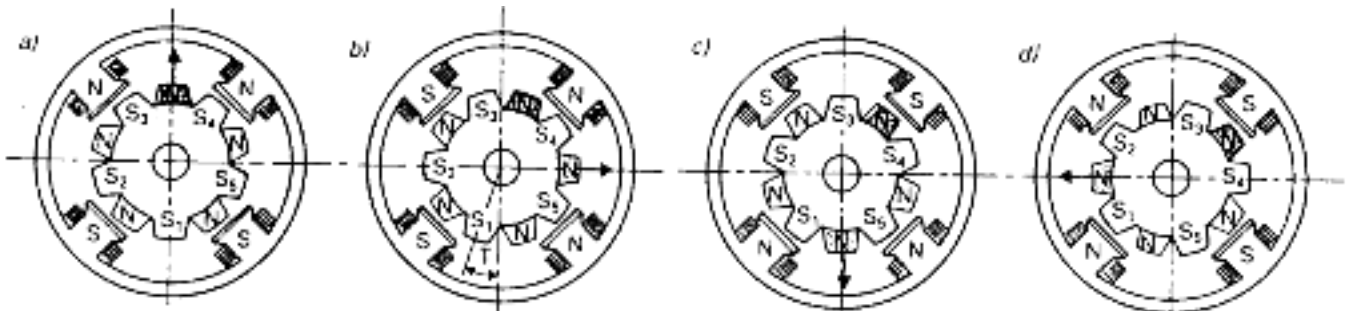
3.1. Constitution :

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.