

## Chapitre I

### Energies hydraulique et pneumatique dans la chaîne fonctionnelle d'un système

#### 1.1 Les énergies hydraulique et pneumatique

##### 1.1.1 L'énergie

L'énergie désigne une capacité à modifier un état ou à produire un travail entraînant un mouvement ou générant, par exemple de la chaleur. C'est une quantité mesurable. Dans le système international, l'énergie s'exprime en joules, mais dans le langage courant (industriel), elle s'exprime plus souvent en kilowattheure (kWh).

Les énergies hydrauliques et pneumatiques sont des énergies stockées sous forme de fluides sous pression (liquide) ou comprimés (gaz) respectivement, ce qui en fait une application de la puissance du fluide.

##### 1.1.2 Les systèmes hydrauliques et pneumatiques

Les systèmes hydrauliques et pneumatiques sont un ensemble d'éléments utilisés pour la génération, le contrôle et la transmission de puissance grâce à l'utilisation de fluides débités (liquides) ou fluides comprimés (gaz). Les deux utilisent un type de mouvement très similaire et leurs applications utilisent globalement la même terminologie, symboles et composants de base.

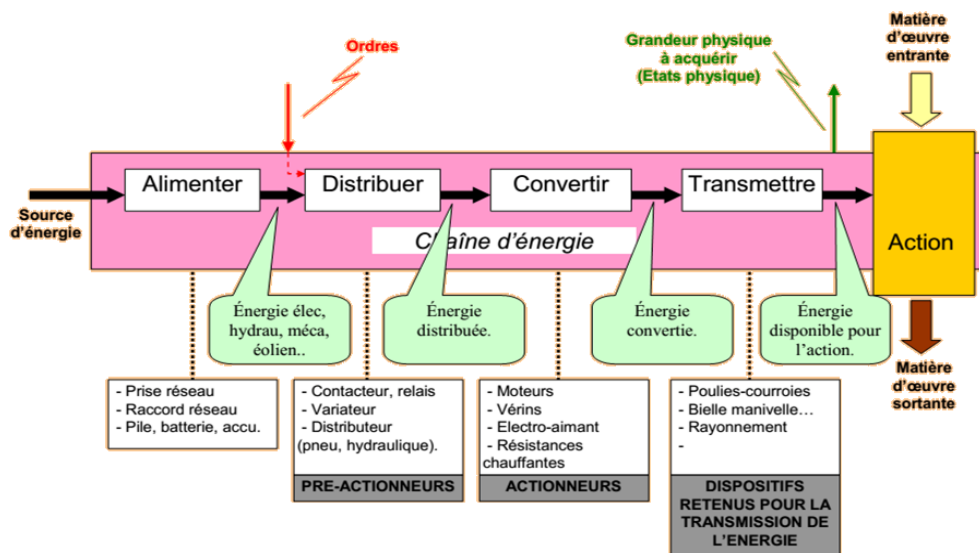
**Tableau 1.1:** Différence entre système hydraulique et pneumatique.

L'hydraulique	La pneumatique
Utilise un liquide (huile hydraulique minérale ou difficilement inflammable) pour produire un travail	Utilise un gaz comprimé pour produire un travail
Produit un travail rapide	Produit un travail régulier et lent
Utilise une pression maximale de 700 bars	Utilise une pression maximale de 10 bars
Les systèmes sont toujours des systèmes fermés	Les systèmes peuvent être des systèmes ouverts
Coûts de maintien élevé et système très coûteux.	Une durée de vie plus longue et coûts de maintien bas.
Utilise des pompes pour débiter le liquide	Utilise des compresseurs pour comprimer l'air

##### 1.1.3 La chaîne fonctionnelle :

Une chaîne fonctionnelle est un outil schématique de description du fonctionnement d'un actionneur d'un système automatisé. On distingue trois parties sur une chaîne fonctionnelle :

- une chaîne d'énergie pour commander la puissance
- une chaîne d'acquisition d'informations
- une chaîne de traitement d'informations



**Figure1.1** : La chaîne d'énergie.

### 1.1.3.1 La chaîne d'énergie (commander la puissance)

La fonction de la chaîne d'énergie a pour but d'effectuer une action ou une tâche sur la matière d'œuvre. Elle nécessite l'intervention d'un pré-actionneur et d'un actionneur.

- Le pré-actionneur envoie l'énergie aux actionneurs. Le pré-actionneur peut être un contacteur, un distributeur pneumatique ou hydraulique. il est l'interface entre le traitement des informations et les actionneurs.
- L'actionneur transforme l'énergie électrique, pneumatique ou hydraulique en énergie mécanique nécessaire au système. L'actionneur peut être un vérin, un électro-aimant.

## 1.2 La structure des systèmes hydrauliques et pneumatiques

### 1.2.1 Système d'alimentation

#### a) Pneumatique :

Le fluide de travail est de l'air comprimé. Il est obtenu avec un compresseur d'air entraîné avec un moteur électrique. L'air est aspiré puis comprimé et stocké dans une cuve sous pression. De ce réservoir partent les canalisations pour la distribution. Pour avoir de l'air comprimé, il faut :

- ☐ Comprimer le gaz
- ☐ Filtrer
- ☐ Assécher
- ☐ Lubrifier
- ☐ Réguler (pression stable et réglable)

#### b) hydraulique :

L'huile stockée dans un réservoir est aspirée par une pompe (générateur de débit) entraînée avec un moteur électrique pour alimenter le dispositif actionneur en énergie hydraulique. Pour réaliser cette transmission de puissance hydraulique, il faut :

- ☐ Préfiltrer
- ☐ Pomper (générer de débit)
- ☐ Réguler (pression stable et réglable)

### 1.2.2 Système de stockage

Dans le cas de l'huile, elle peut être stockée à pression atmosphérique dans un simple réservoir ou dans un réservoir haute pression. Dans le cas de l'air comprimé, il est stocké dans un réservoir d'air sous pression.



Figure1.2 : Les réservoirs.

### 1.2.3 Système de conditionnement

Il est nécessaire de conditionner le fluide avant de la faire circuler dans le circuit. Dans le cas de l'énergie pneumatique, il est indispensable de s'assurer de la pureté de l'air ainsi que d'un faible taux d'humidité. Pour cela on utilise d'une part des filtres permettant de filtrer l'air entrant dans le réseau en amont et en aval du compresseur. Il est aussi nécessaire d'utiliser un déshydrateur permettant de réduire le taux d'humidité.

Dans le cas d'un système hydraulique, le fluide est uniquement filtré afin d'éliminer les impuretés.

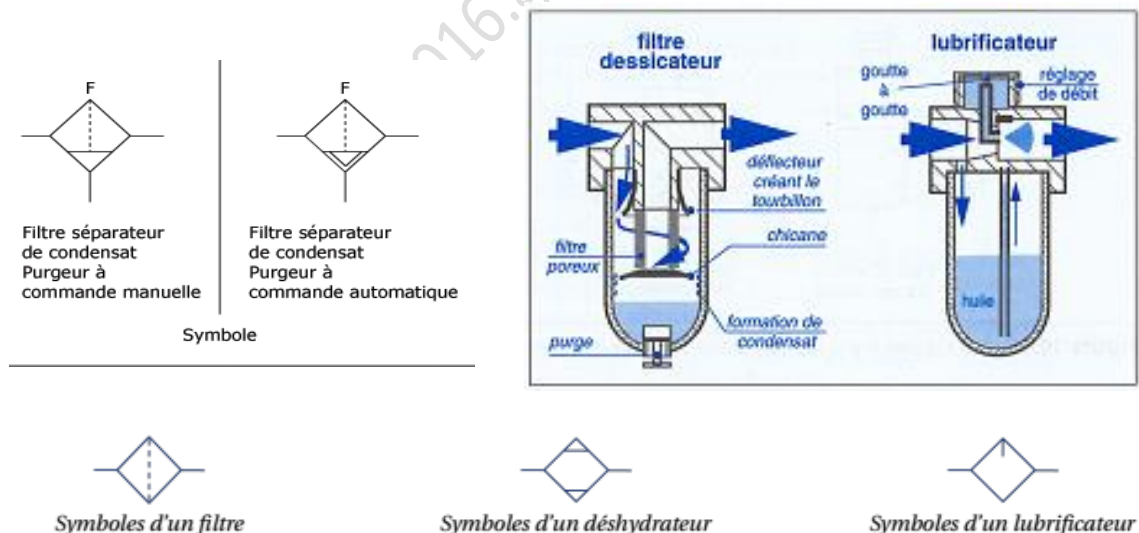


Figure1.3 : Les appareils de conditionnement de l'air comprimé.

### 1.2.4 Système de sécurité

Afin de maîtriser la pression dans les conduites, on peut avoir recours à des manomètres afin d'avoir une information sur la pression. Les régulateurs de pression permettent quant à eux d'évacuer l'air du système lorsque la pression est trop grande. Les limiteurs ou régulateurs de débit (de vitesse) permettent de maîtriser le débit de fluide.

#### **1.2.4.1 Les limiteurs ou régulateurs de débit (de vitesse)**

#### **1.2.4.2 Le clapet anti-retour**

#### **1.2.4.3 Les limiteurs de pression**

Les limiteurs de pression se classent dans deux catégories principales :

**a - Limiteur de pression à action directe**

**b - Limiteur de pression à action indirecte**

### **1.2.5 Système de mesure**

#### **1.2.5.1 Le manomètre**

Le manomètre est un instrument qui permet de mesurer la pression dans un système fluide. La lecture de cette pression causée par la force appliquée sur une surface, est lue sous deux échelles (les plus communs) c'est-à-dire le bar ou en kPa. Cette lecture n'inclue pas la pression atmosphérique.

##### **A - Le manomètre mécanique à aiguille ( type tube de Bourdon)**



**Figure 1.6 : Le manomètre.**

**B - Le manomètre numérique :** en fait, il s'agit davantage d'un capteur de pression à affichage intégré.

#### **1.2.5.2 Le capteur de pression**

Il est constitué d'une membrane, d'une cellule céramique ou autre dispositif en contact avec le fluide sous pression et d'une partie électronique. Il nécessite un module supplémentaire pour interpréter la lecture.

##### **A - Le capteur à seuil de pression pneumatique**

Le capteur à chute de pression est un capteur qui est principalement utilisé pour capter les fins de courses d'un vérin. Ce capteur est généralement placé sur l'entrée et la sortie d'air d'un vérin.

## **1.3 Types de convertisseurs d'énergie**

### **1.3.1 Les pompes (étudié en 1<sup>er</sup> semestre)**

### **1.3.2 Les vérins (ou actionneurs)**

#### **1.3.2.1 Vérin pneumatique ou hydraulique**

C'est un actionneur dynamique qui convertit l'énergie pneumatique ou hydraulique en énergie mécanique de translation.

### 1.3.2.2 Types de vérins

#### A - Simple effet

Se dit d'un vérin dont on ne peut commander le mouvement de la tige que dans un seul sens (en général la sortie). Le mouvement dans l'autre sens se produit grâce à un ressort. Le vérin simple effet est monostable.

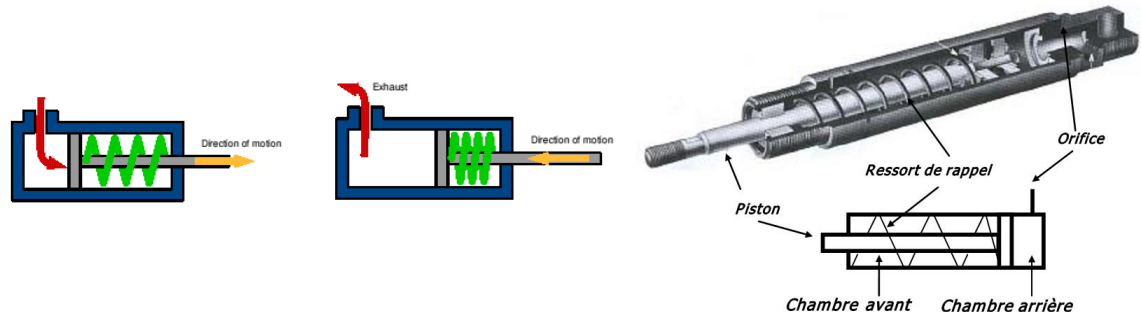


Figure1.8 : Vérin simple effet.

#### B - Double effet

Se dit d'un vérin dont la tige est commandée dans les 2 sens (sortie, entrée). Un vérin double effet est bistable.

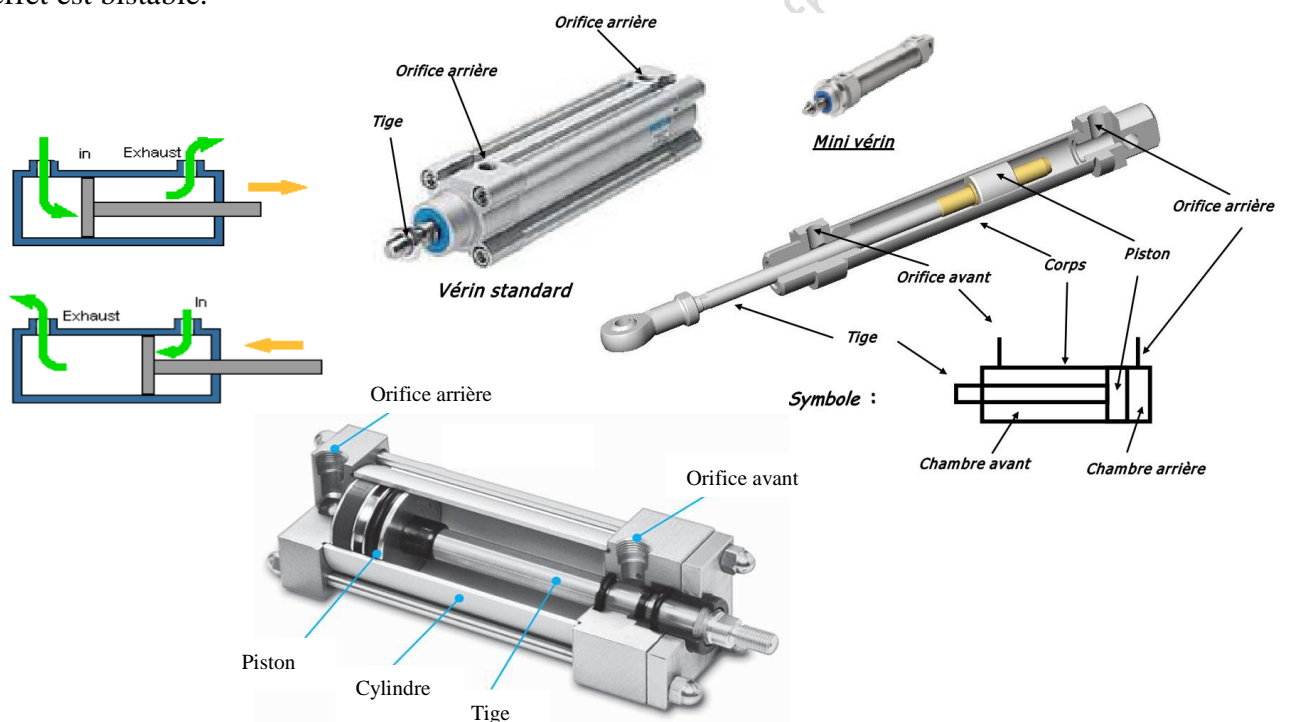


Figure1.9 : Vérin double effet.

### 1.4 Les distributeurs (ou pré-actionneurs)

Le distributeur a pour fonction, comme son nom l'indique, de distribuer l'énergie de puissance (air comprimé ou huile) vers l'actionneur (vérins). Il permet aussi d'ouvrir le passage du fluide dans un sens comme dans l'autre. Un distributeur est constitué d'un tiroir mobile se déplaçant dans un bloc. Il est pourvu de plusieurs orifices suivant le besoin de l'installation.



La commande du distributeur peut être manuelle, pneumatique ou électrique.

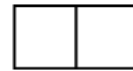


Les distributeurs sont définis par deux caractéristiques fonctionnelles :

- Le nombre d'orifices principaux nécessaires au fonctionnement des différents types d'actionneurs.
- Le nombre de positions, généralement 2, définissant l'une l'état repos l'autre l'état travail. Il est possible d'avoir 3 positions, il y aura alors deux positions travail et une position repos.

Un distributeur est symbolisé par :

- Des cases qui indiquent le nombre de positions (2 ou 3)



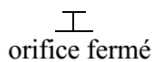
- Des flèches et des Tés qui indiquent le nombre d'orifices ou de voies (2, 3, 4 ou 5)



- Des organes de commandes (hydraulique, manuel ou électrique, ressort)



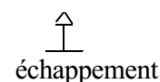
1 voie



orifice fermé



source de pression



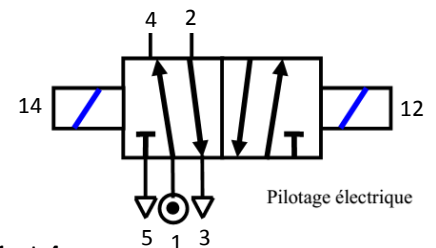
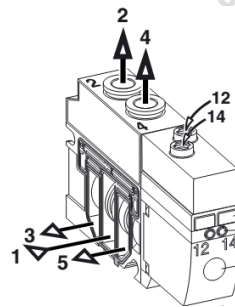
échappement

### Exemple :

#### **Distributeurs à tiroir cylindrique 5/2 bistable**

#### Description externe :

- 1 = orifice d'alimentation (pression)
- 2 et 4 = orifices d'utilisation (câblés par exemple sur un vérin)
- 3 et 5 = orifices d'échappement
- 12 et 14 = commande (ou pilote) mettant en communication 1 et 2, ou 1 et 4.

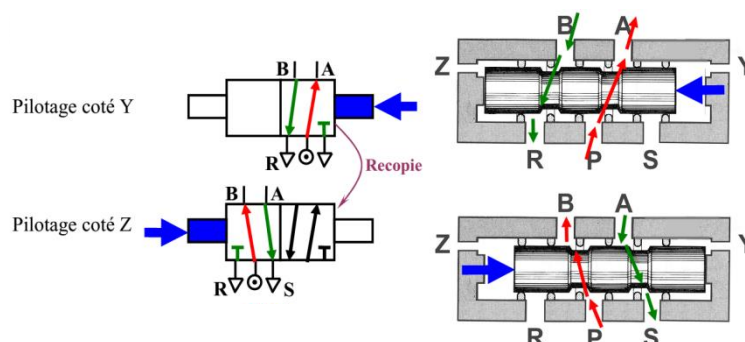


#### Description interne et fonctionnement :

Le circuit pneumatique de puissance :

- L'orifice 1 (ou P) correspond à la source de pression.
- Les orifices 3 et 5 (R et S) correspondent à la  $P_{atm}$ .
- Enfin 2 et 4 (A et B) sont reliés à l'utilisation (ex: vérin double effet).

Le tiroir permet la mise en relation des canalisations. Son déplacement est obtenu par un pilotage :



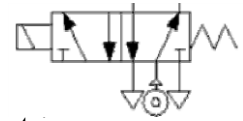


### a - Les distributeurs monostables

Si le distributeur possède une commande par ressort, il est monostable (ou à simple pilotage). Seule la position obtenue grâce au ressort est stable. En l'absence d'un signal de pilotage extérieur, le tiroir se déplace automatiquement dans la position du ressort.

#### Exemple :

Distributeur 5 orifices 2 positions monostable piloté par une commande électrique. Le rappel se fait par ressort. La position stable est la position repos (ressort détendu).

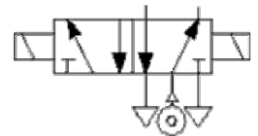


### b – Les distributeurs bistables

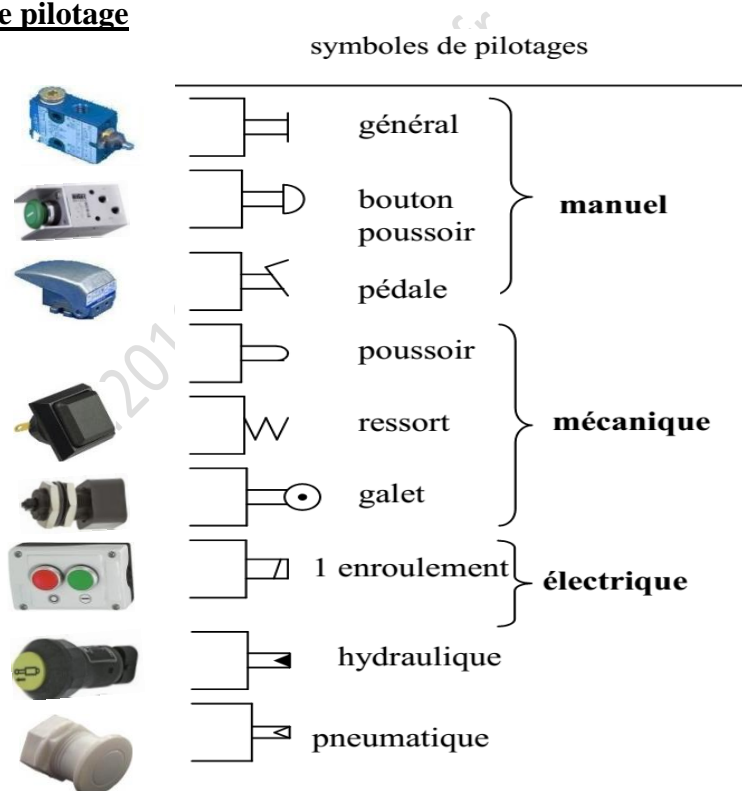
Le distributeur bistable possède deux pilotages de même nature. Les deux positions sont des positions stables. En l'absence d'un signal de commande extérieur, le tiroir ne bouge pas et reste dans la position qu'il occupe.

#### Exemple :

Distributeur 5 orifices 2 positions bistable piloté par deux pilotes électriques. Il n'y a pas de ressort et il y a deux positions stables.



### 3.2.3 – Les commandes de pilotage

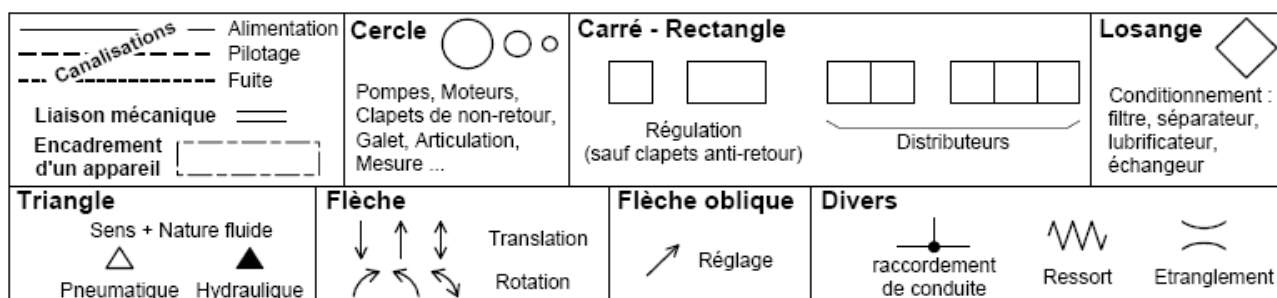


## **1.4 Schématisation conventionnelles des éléments hydrauliques et pneumatiques**

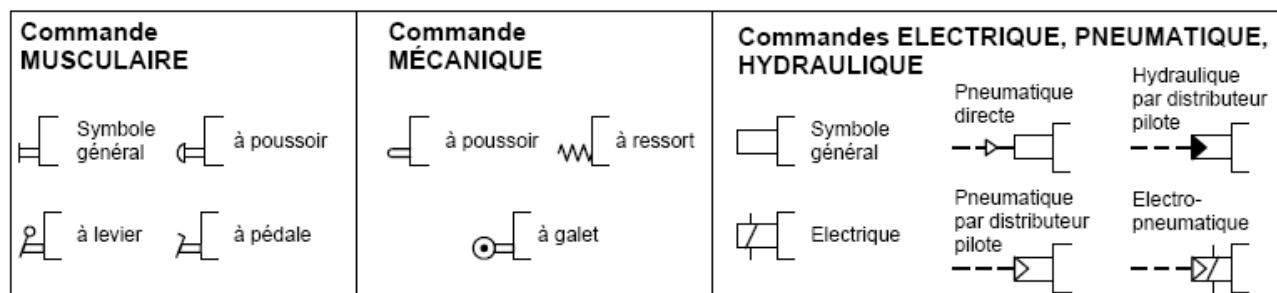
La **schématisation** de l'ensemble d'éléments hydrauliques et pneumatiques permet de donner une représentation simplifiée à l'aide de **symboles** afin de faciliter :

- l'analyse du fonctionnement ;
- l'étude des différents mouvements.

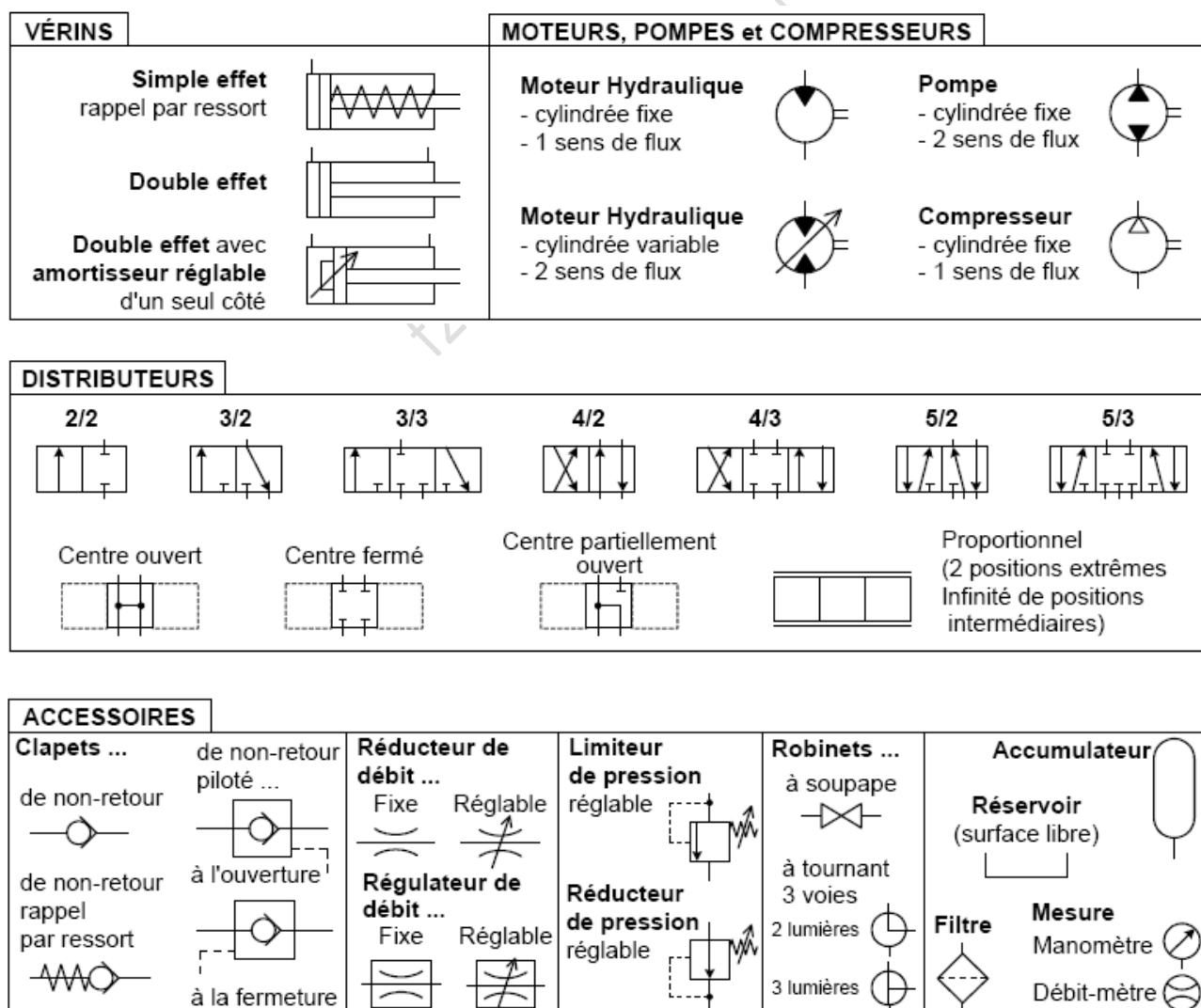
### 1. Les symboles de bases :



### 2. Les symboles de commandes :



### 3. Les symboles pour les actionneurs - préactionneurs - accessoires :





## **Chapitre II**

### **Les circuits d'hydrauliques industriels**

#### **2.1 Description générale**

L'hydraulique est la science qui traite des problèmes posés par l'emploi des liquides en mouvement ou au repos. Les systèmes hydrauliques se retrouvent partout dans les installations industrielles et leur utilisation dans plusieurs secteurs de la mécanique appliquée nécessite avant tout de bonnes connaissances de base en mécanique des fluides et sur les systèmes qui les emploient.

Un circuit hydraulique est constitué au minimum de :

- Une centrale hydraulique génératrice de puissance hydraulique (de débit)
- Eléments de distribution de débit (distributeur, conduites rigides, raccords...)
- un actionneur (vérin),
- éléments de protection (filtres, limiteur de pression...)
- éléments de régulation (manomètre, vannes...)

#### **Domaines d'application de l'hydraulique**

- ✓ Les Machine-outil : presses à découper, presses à emboutir, presses à estamper, commande d'avance et de transmission de mouvements, ...
- ✓ Les engins de travaux publics : pelleteuse, niveleuse, bulldozer, chargeuse,...
- ✓ La manutention : chariot élévateur, ...

#### **Les avantages des systèmes hydrauliques**

- ✓ La transmission de forces ;
- ✓ Une très bonne régulation de la vitesse des actionneurs, du fait de l'incompressibilité du fluide ;
- ✓ Une grande durée de vie des composants, du fait de la présence de l'huile.

#### **Les inconvénients des systèmes hydrauliques**

- ✓ Les risques d'accident dus à la présence de pressions élevées (50 à 700 bars);
- ✓ Les fuites entraînant une diminution du rendement ;
- ✓ Les pertes de charge dues à la circulation du fluide dans les tuyauteries ;
- ✓ Une technologie coûteuse (composants chers, maintenance préventive régulière).

## 2.2 Schématisation du circuit hydraulique

Pour transmettre l'énergie d'un point à un autre, il faut constituer un circuit hydraulique.

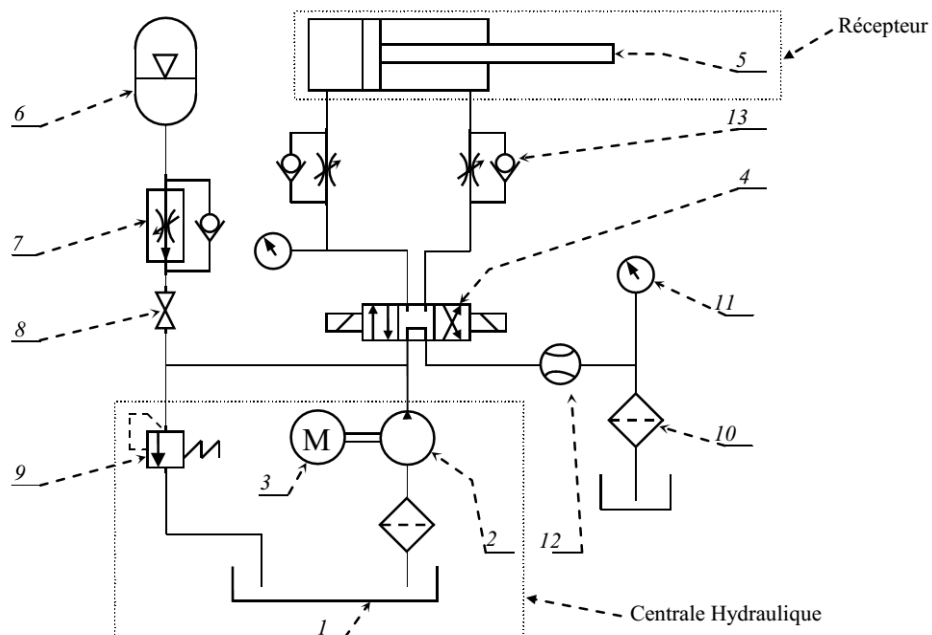


Figure 2.1 : Exemple d'un circuit hydraulique de transmission de

Rep	Désignation	Fonction
1	Réservoir	Stocker le fluide
2	Pompe hydraulique	Générer la puissance hydraulique
3	Moteur électrique	Actionner la pompe
4	Distributeur	Distribuer la puissance hydraulique au vérin
5	Vérin double effet	Transformer la puissance hydraulique en puissance mécanique
6	Accumulateur	Stocker l'énergie hydraulique
7	Régulateur de débit	Régler le débit et la vitesse du fluide
8	vanne	Autoriser ou interrompre le passage du fluide
9	Limiteur de pression	Protéger l'installation contre les surpressions
10	filtre	Nettoyer l'huile
11	Manomètre	Mesurer la pression
12	Débitmètre	Mesurer le débit
13	Clapet anti-retour	Autoriser le passage du fluide dans un seul sens

On ajoute des tuyaux ou des flexibles entre tous ces composants capables de résister aux fortes pressions et enfin le fluide hydraulique qui transmettra l'énergie.

## 2.3 Les grandeurs de l'hydraulique

### 2.3.1 La pression et la force

En hydrostatique, la pression est créée par la résistance du liquide à la compression. Une pression appliquée à n'importe quel point par un liquide en milieu fermé est transmise sans perte dans toutes les directions du récipient (**Théorème de PASCAL**), figure 2.1. Cette pression s'exerce perpendiculairement en contacts avec le fluide.

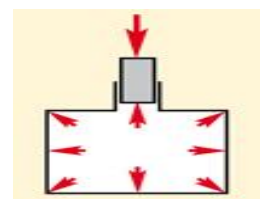


Figure 2.2 : Distribution de la pression.

### 2.3.2 Le débit

En hydraulique industrielle, le débit (Q) et la section (S) sont les deux paramètres les plus importants. Il faut les évaluer correctement afin d'obtenir un circuit dont le fonctionnement et le rendement seront acceptables selon les critères fixés par l'industrie.

\* Le débit **Q** C'est un volume de liquide déplacé par unité de temps  
Unité : m<sup>3</sup>/s      unité pratique : l/min , cm<sup>3</sup>/s

$$Q = V * S \quad (2.1)$$

Q = le débit volumique de fluide ; V = vitesse du fluide ; S = section de la conduite.

Le débit d'une pompe hydraulique, par exemple, dépend de deux facteurs importants :

- la cylindrée de la pompe;
- et la vitesse de rotation de la pompe.

### 2.3.3 La cylindrée

La cylindrée d'une pompe hydraulique est le volume ou la quantité de fluide que celle-ci refoule par rotation. (Le symbole: C ou Cyl).

$$Cyl = \frac{Q}{N} \quad (2.2)$$

Avec : Cyl = cylindrée en litre/tour [ l/tr ] ; N = vitesse de rotation en tour/minute [ tr/mn ] ;  
Q = débit en litre/minute [ l/mn ].

### 2.3.4 La vitesse de rotation

Une rotation signifie que l'arbre d'accouplement de la pompe effectue un tour complet ou 360°. (Le symbole: N).

### 2.3.5 La puissance

La puissance est la quantité de travail (travail = force x déplacement) fournie en une seconde. La puissance hydraulique (exprimée en Watts), est la puissance fournie au fluide lors de son passage dans la pompe.

La puissance hydraulique égale à :

$$P = Q * p \quad (2.3)$$

Avec :

P = puissance en Watt [ W ] ; p = pression en pascal [ Pa ] ou [ N/m<sup>2</sup> ] ; Q = débit en [m<sup>3</sup>/s]

Ou :

$$P = \frac{Q * p}{600} \quad (2.4)$$

Avec :

P = puissance en KiloWatt [kW] ; p = pression en [bars] ; Q = débit en litre/minute [l/min]

### 2.3.6 Les pertes de charge

Les pertes de charge représentent la chute de pression totale due aux divers frottements inévitables subis par le fluide en mouvement et s'expriment en Pascals. Les pertes de charge sont directement liées à la vitesse du fluide et on distingue deux types de pertes de charge :

a - **Les pertes de charge linéaires ou régulières** qui sont dues aux frottements du fluide sur la paroi interne de la conduite.

$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{L}{D} \quad (2.5)$$

$\rho$  : Masse volumique du fluide en  $[\text{kg/m}^3]$  ;  $v$  : Vitesse moyenne de l'écoulement en  $[\text{m/s}]$

$D$  : Diamètre interne de la conduite en  $[\text{m}]$  ;  $L$  : Longueur de la conduite  $[\text{m}]$

$\lambda$  : Coefficient de perte de charge linéaire ou coefficient de frottement de la conduite. Son équation est déterminée selon le régime de l'écoulement (laminaire ou turbulent). Il varie fortement avec le nombre de Reynolds :

- ❑ Pour les écoulements laminaires ( $Re < 2300$ ), il peut être calculé analytiquement à partir de l'équation de Hagen-Poiseuille comme suit :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.6)$$

avec :  $Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\nu}$

- ❑ Pour les écoulements turbulents (conduites lisses) ( $Re > 2300$ ), il peut être calculé analytiquement par la formule Blasius :

$$\lambda = \frac{0.316}{(Re)^{0.25}} \quad (2.7)$$

Pour les écoulements turbulents (conduites rugueuses), il peut être calculé analytiquement par la formule de Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (2.8)$$

$\varepsilon$  : rugosité absolue ;  $(\varepsilon/D)$  : rugosité relative

L'inconvénient de cette formule est qu'elle est à relation implicite et donc assez peu maniable car l'inconnue ( $\lambda$ ) figure dans les deux membres de l'équation. Un outil informatique est fortement recommandé pour faciliter l'obtention du résultat.

b - **Les pertes de charges singulières** qui sont dues aux différentes singularités du réseau (les raccords, coudes, vannes, réductions, etc...).

$$\Delta h = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (2.9)$$

$K$  : Coefficient dépendant de la forme de la singularité.

La valeur de  $K$  est donnée par des tableaux expérimentaux.

**La perte de charge totale est la somme des pertes linéaires et singulières.**

## 2.4 La centrale hydraulique

La centrale hydraulique (appelé aussi groupe hydraulique), figure 2.3, est un générateur de débit et pas de pression. La pression augmente lorsqu'il y a résistance à l'écoulement. Elle est constituée essentiellement d'un réservoir d'huile, d'un moteur et d'une pompe et d'un système de filtration.

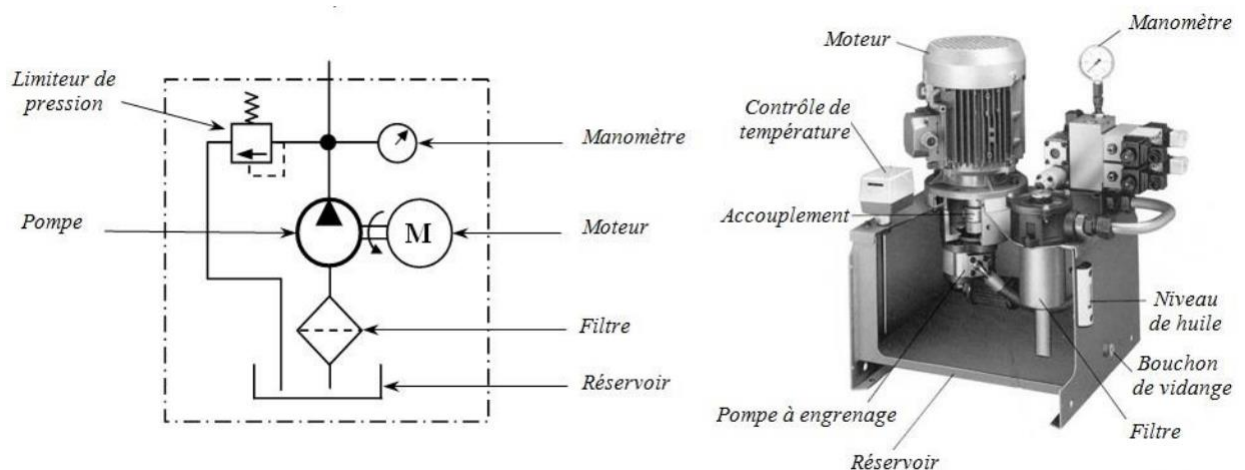


Figure 2.3 : Une centrale hydraulique de transmission de

### 2.4.1 Le réservoir

#### a - Rôle

Son rôle principal est de **stocker l'huile**. Sa capacité dépend généralement du débit de la pompe. Le volume total de fluide stocké dans le réservoir est de l'ordre de 3 à 5 fois la valeur du débit maximal utilisé (en l/min) de la pompe, figure 2.4.



Figure 2.4 : Réservoir de la centrale hydraulique.

Le réservoir assure également plusieurs rôles dans un système hydraulique :

- **Désaération.** L'air emprisonné dans l'huile va mettre un certain temps à remonter et à se séparer. Pour cela le volume d'huile doit être suffisant pour que la pompe aspire de l'huile...sans air.

- **Refroidissement.** Au contact de l'air ambiant frais, les parois vont jouer le rôle de radiateur permettant ainsi d'évacuer une partie des calories.
- **Décantation.** Au même titre que l'air, l'eau doit avoir le temps de se séparer de l'huile et se déposer au fond du réservoir. Il faut donc prévoir une purge au point bas.

## b - Constitution

L'équipement minimum que l'on trouve sur un réservoir, figure 2.5, se compose :

- d'un orifice de remplissage avec tamis,
- d'un reniflard avec filtre d'aération,
- d'orifice de purge,
- d'un préfiltre (crépine) à l'aspiration des pompes,
- d'un témoin de niveau d'huile.

Le **reniflard** a pour rôle de maintenir une pression à l'intérieur du réservoir proche de la pression atmosphérique (ou légèrement supérieure) en permettant les entrées et sortie d'air nécessaires sans introduire de pollution. On retrouve donc sur cet équipement le **filtre à air** qui retient les particules et un **filtre dessiccant (réduisant l'humidité)** qui assèche l'air.

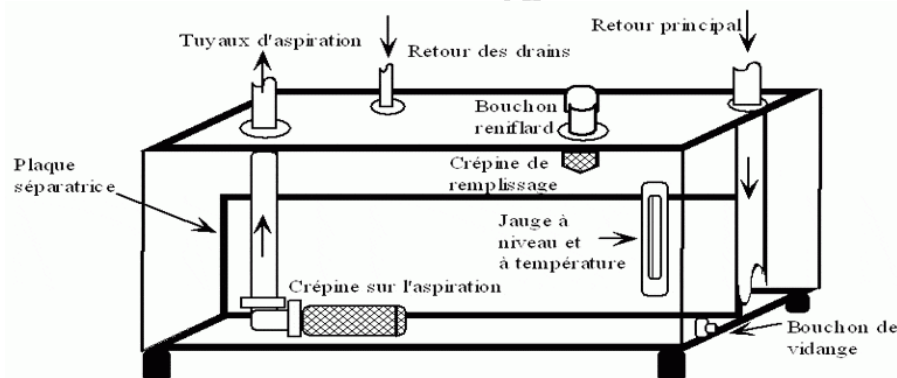


Figure 2.5 : Réservoir hydraulique.

### 2.4.2 Le filtre

Le but de la filtration est de séparer les constituants d'un mélange liquide-solide par passage à travers un milieu filtrant qui retient les particules solides pour éviter les grippages et les rayures.

Il existe 3 techniques de filtration :

- **Par tamisage** : le fluide passe dans un filtre (papier, toile, fibres,...)  
Inconvénient : occasionne des pertes de charge singulières élevées ;
- **Par effet magnétique** : les particules magnétiques sont attirées  
Inconvénient : ne retient que les particules magnétiques ;



- **Par décantation** : les particules tombent dans la réserve

Inconvénient : la masse volumique de la particule doit être supérieure à celle du fluide.

Remarque : Le filtre à tamisage est le filtre le plus utilisé.

### 2.4.3 Le manomètre

### 2.4.4 La pompe

### 2.4.5 Le moteur hydraulique

Eléments étudiés dans le 1<sup>er</sup> semestre

## 2.5 Les récepteurs hydrauliques

Le récepteur hydraulique convertit l'énergie de puissance hydraulique en énergie mécanique de translation ou de rotation.



Leurs principales caractéristiques sont :

- La course
- La force
- La vitesse

### 2.5.1 Le vérin hydraulique

Le vérin est composé d'un cylindre dans lequel se trouve un piston qui sépare le volume du cylindre en deux chambres hermétiques et isolées. L'introduction d'un fluide sous pression dans une des chambres permet le déplacement du piston qui transmet son mouvement à une tige rigide sortant du vérin. L'étanchéité des chambres est permise grâce à des joints. L'étanchéité du vérin est importante car elle influe directement sur son rendement et sa durée de vie.

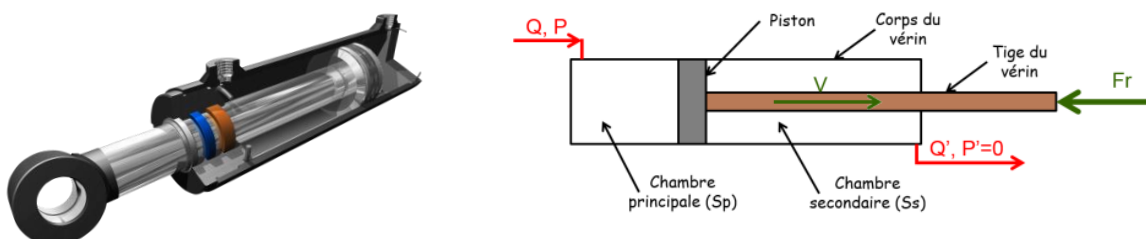


Figure 2.6 : Le vérin hydraulique.

Le vérin hydraulique transforme une énergie hydraulique (un débit ou une pression) en énergie mécanique. Il se distingue des vérins pneumatiques qui sont actionnés par air comprimé. Le fluide utilisé est le plus souvent de l'huile sous pression, jusqu'à 350 bars.

Un vérin est un actionneur qui **transforme** une **puissance hydraulique** ( $Q \times P$ ) en **puissance mécanique** au travers du déplacement linéaire d'une tige ( $Fr \times V$ ). On obtient donc directement un mouvement de translation.

La pression  $P$  dans la chambre principale pour un effort résistant  $Fr$  sur la tige est donné par :

$$P = Fr / Sp \text{ (pour un rendement } \eta=1) \quad (2.10)$$

La vitesse de sortie de la tige dépend du débit  $Q$  entrant et de la section de la chambre principale :

$$V = Q / Sp \quad (2.11)$$

En sortie de la chambre secondaire, on a :

- un débit  $Q' = V \times Ss$
- une pression  $P' = 0$ .

### ❑ Les différents types de vérins

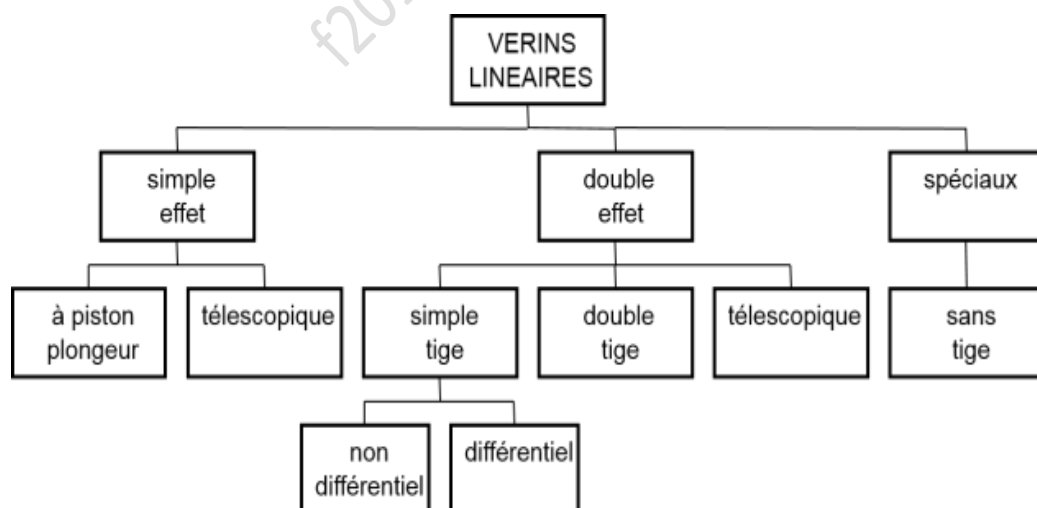


Figure 2.7 : Types de vérins.

En plus des vérins à simple effet et double effet, on trouve aussi :

### ⌘ Vérin à double tige

Ces vérins peuvent être utilisés avec :

- le corps fixe et la tige mobile
- ou inversement, la tige fixe et le corps mobile

Les vitesses et les forces sont identiques dans les 2 sens de fonctionnement.

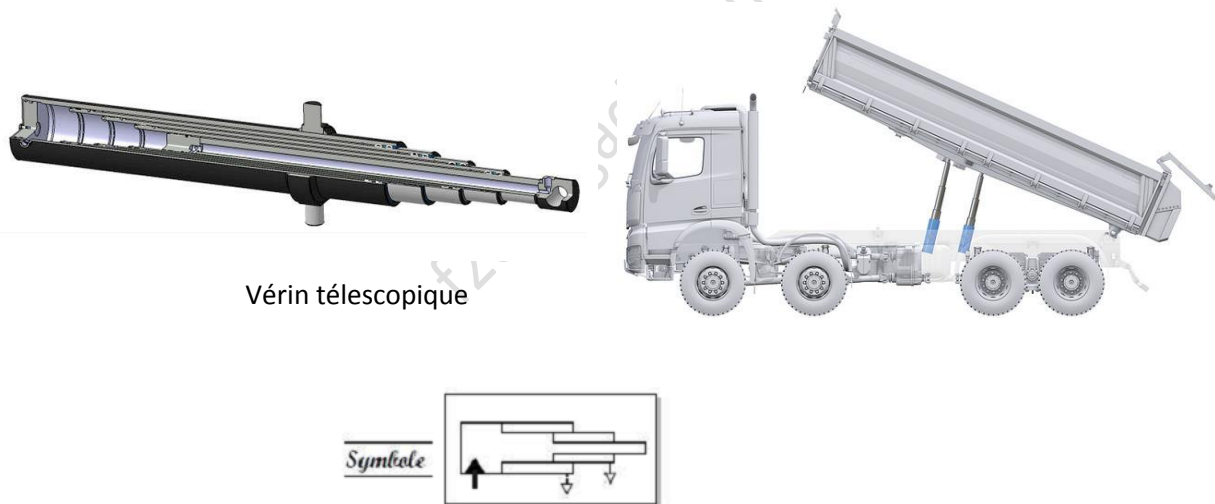


**Figure 2.8 :** Vérins hydrauliques à double tige.

### ✿ Vérins télescopiques

Ces vérins peuvent être à simple ou double effet. La pression nécessaire au déplacement de la charge dépend de l'étage en cours de mouvement. (Diamètre de tige variable).

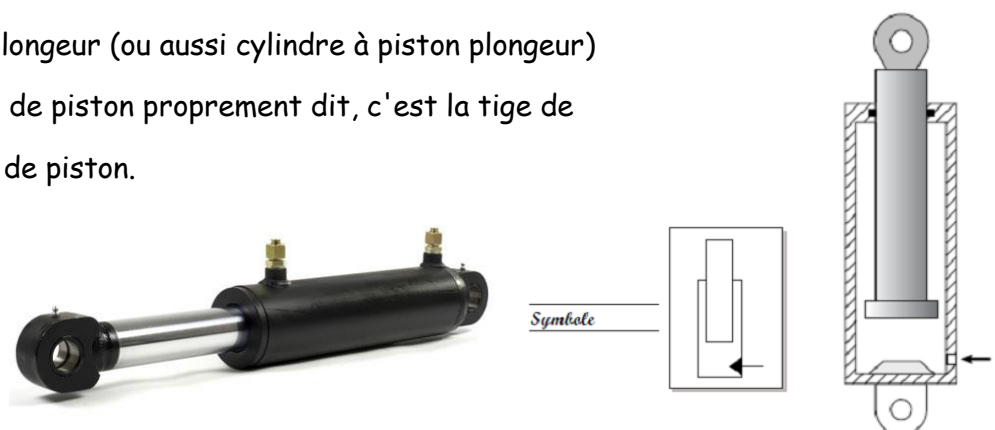
Les tiges sortent de manière séquentielle, de la plus grosse à la plus petite.



**Figure 2.9 :** Vérin hydraulique télescopique.

### ✿ Vérin à piston plongeur

Un cylindre à plongeur (ou aussi cylindre à piston plongeur) ne possède pas de piston proprement dit, c'est la tige de piston qui sert de piston.



**Figure 2.10 :** Le vérin à piston plongeur.

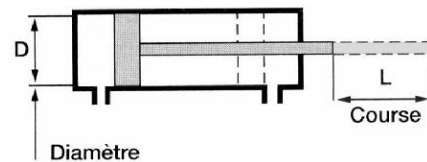
### 🌀 Vérin à double effet différentiel

Dans vérin différentiel, la force totale appliquée sur le côté de la tige du piston est inférieure à celle du côté sans tige. Cela s'explique par le fait que la tige remplit une zone non exposée à la pression. Ce type de vérin est généralement conçu pour un mouvement plus lent mais plus puissant lorsqu'il s'étend, et un mouvement plus rapide mais moins puissant lorsqu'il se rétracte.

#### ❑ Critères de choix d'un vérin :

- **sa course** : longueur du déplacement effectué par la tige de vérin,
- **la vitesse de sortie de la tige** :

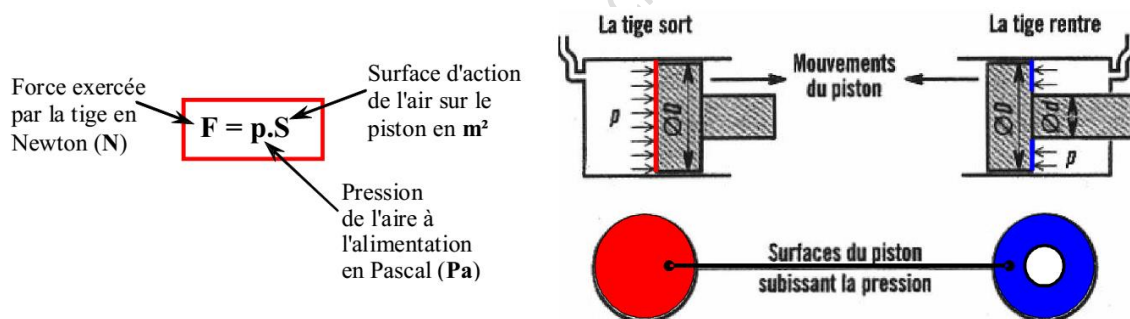
$$v = \frac{Q}{S}$$



Avec :  $v$  la vitesse en m/s,  $Q$  le débit en  $m^3/s$  et  $S$  la surface en  $m^2$

- **La force développée par le vérin :**

Pour un vérin double effet cette force n'est pas la même en poussant et en tirant :



Avec : la force  $F$  en Newtons, la pression  $p$  en Pa ( $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ) et la surface  $S$  en  $m^2$ .

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4}$$

Diamètre du piston (D)

$$S_2 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

Diamètre du piston (D)  
Diamètre de la tige (d)

Pour un vérin réel, donc il y a du frottement, l'effort réel développé sera plus faible. Pour tenir compte de ces frottements, on introduit le rendement du vérin :  $\eta_{ve} \quad 0,85 \leq \eta_{ve} \leq 0,95$ .

La force développée devient :  $F = p_{eff} \cdot S \cdot \eta_{ve}$  (2.12)

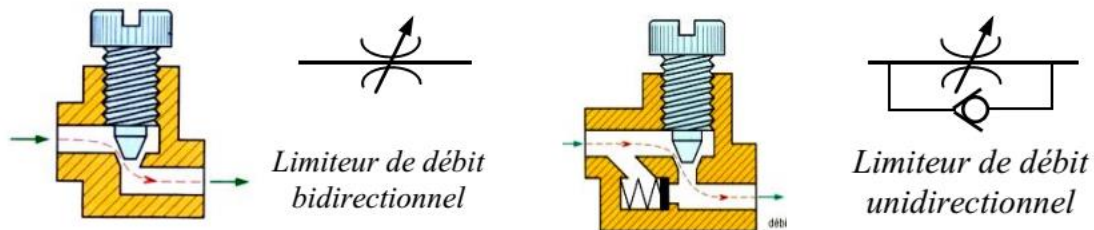
## 2.6 Les appareils de protection et de régulation

### a/- Organes de réglage du débit :

La vitesse d'un récepteur hydraulique (vérin) est fonction du débit. Le réglage de ce débit est obtenu par un étranglement de section.

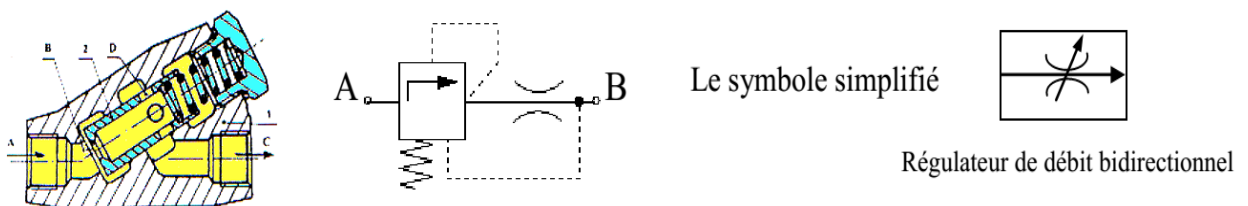
#### \* Le limiteur de débit :

Destiné à agir sur le débit pour contrôler la vitesse d'un récepteur (vérin) mais n'assure pas la stabilité de débit au cours des variations de la pression.



**NB** : le limiteur de débit ne permet pas le contrôle du débit lorsque la charge est variable.

\* **Les régulateurs de débit** : Conçu comme le limiteur de débit mais une variation de la pression permet de plus ou moins ouvrir l'étranglement du passage du fluide.

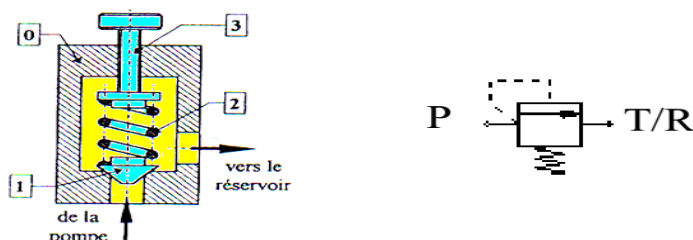


Son principe de fonctionnement est basé sur:

- Un tiroir qui a pour fonction de composer toute variation de charge du récepteur et permet de maintenir une différence de pression constante de part et d'autre de l'étranglement.
- Un étranglement qui permet d'ajuster le débit en fonction de la vitesse.

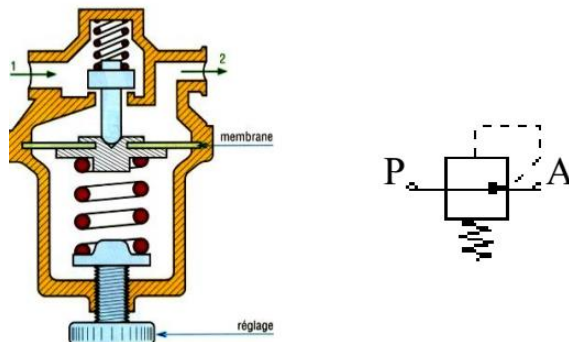
### b/- Organes de réglage de pression :

\* **Les limiteurs de pression** : (soupape de sûreté) Montés en amont du circuit, en dérivation avec la pompe et reliés au réservoir, ils permettent de protéger le circuit contre les surpressions.



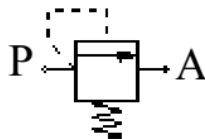
### \* Les régulateurs de pression :

Monté en amont de la branche secondaire du circuit, il permet de limiter à une valeur constante et inférieure à la pression de service, la pression dans une branche du circuit.



### \* Valve de séquence :

La valve de séquence ne permet la circulation de l'huile vers une portion du circuit que si la pression dans la ligne principale atteint la valeur de sa pression de pilotage.



## 2.7 Les huiles hydrauliques, caractéristiques et choix

### 2.7.1 Définition

Une huile hydraulique est une huile minérale incompressible obtenue par raffinage du pétrole et pouvant communiquer, de façon très rapide, l'énergie de la pompe hydraulique aux récepteurs.



### 2.7.2 Fonctions d'une huile hydraulique

a - **Transmettre de l'énergie** : transférer une énergie sous forme de pression ou de vitesse d'un point à un autre point rapidement et avec précision. Il peut s'agir d'un couple (rotation) ou d'un mouvement (translation linéaire).

b - **Lubrifier** : Réduire la friction entre des pièces en mouvement en minimisant les frottements et l'usure quelle que soit la charge, la température et la vitesse.

c - **Refroidir** : Évacuer les calories créées par le travail mécanique ou cédées par le milieu ambiant.

d - **Protéger de la corrosion** : La corrosion est une réaction chimique entre l'eau et un métal. Les additifs des huiles vont créer un film de protection sur les surfaces métalliques du circuit.



e - **Évacuer les polluants** : L'usure, les opérations de maintenance et les étanchéités imparfaites génèrent de la pollution. L'huile véhicule ces pollutions particulières et/ou aqueuses vers les filtres dans un but de rétention puis d'élimination.

f - **Informier** : L'analyse des informations recueillies permet de connaître précisément l'état de l'huile et donc du système, puis de mettre en place des actions correctives ou de maintenances prédictives et/ou préventives.

### 2.7.3 Quelques caractéristiques du fluide hydraulique

#### 1. La viscosité : $\mu$ (mu) [kg/m.s ou Pa.s] ou $\nu$ (nu) [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

C'est la capacité d'un fluide à s'écouler ou la résistance qu'offre le fluide à l'écoulement. Son contraire c'est la fluidité. L'huile s'écoulant difficilement est très visqueuse (grande viscosité) et inversement, l'huile s'écoulant facilement est peu visqueuse (petite viscosité).

#### 2. L'indice de viscosité VI (Viscosity Index) (sans dimension)

Il indique le degré de variation de la viscosité du fluide hydraulique en fonction de la variation de la température. Plus cet indice est élevé, moins la viscosité de ces liquides est influencée par la température. Donc, Plus l'indice est élevé, plus la viscosité est stable.

#### 3. Le point éclair

C'est la température la plus basse à laquelle un liquide émet suffisamment de vapeurs pour former, avec l'air ambiant, un mélange gazeux qui s'enflamme sous l'effet d'une source de chaleur telle qu'une flamme, étincelle...: Si l'on retire la source de chaleur, la combustion ou l'inflammabilité s'arrête.

#### 4. Le point de feu ou point de combustion

C'est la température la plus basse à laquelle un liquide émet suffisamment de vapeurs pour former avec l'air ambiant un mélange inflammable qui s'enflamme au contact d'une source d'allumage et demeure allumé après retrait de la source d'allumage.

#### 5. Le pouvoir anti émulsion

Aptitude de l'huile à se séparer rapidement de l'eau éventuellement introduite dans le circuit.

#### 6. Le point d'écoulement

Le point d'écoulement se réfère à la température la plus basse à laquelle un lubrifiant continue de s'écouler. En dessous de ce point, l'huile tend à s'épaissir et à cesser de s'écouler librement.

### 2.7.4 La classification des huiles hydrauliques

#### a/ - La norme ISO VG (Viscosity Grade)

Les fluides hydrauliques font l'objet de normes européennes ISO (International Standard Organisation) pour la définition et le comportement de leur viscosité. La **viscosité cinématique** est donnée en centiStokes [cSt] = [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ] à 40°C. Cette définition est

applicable pour toutes les huiles industrielles qui sont classées en fonction de leur viscosité.

Par exemple : (voir tableau 1)

- Un fluide dont la classification est ISO VG 22 a une viscosité à 40°C comprise entre 19,8 et 24,2 cSt.
- Un fluide dont la classification est ISO VG 32 a une viscosité à 40°C comprise entre 28,8 et 35,2 cSt.

Grades usuels	15	22	32	46	68	100	150	220
Viscosité (cst)	13,5 à 16,5	19,8 à 24,2	28,8 à 35,2	41,4 à 50,6	61,2 à 74,8	90 à 110	135 à 165	198 à 242

A savoir :

- 1 centipoise = 0.01poise (le centipoise est au poise ce que le centimètre est au mètre)
- 1 poise = 1 Pa/s
- 1 centistoke = 1 mm<sup>2</sup>/s

Notez que la viscosité à froid est mesurée en centipoise à la température externe **-18°** (viscosité dite dynamique : microPascal/s avec 1μpa =10<sup>-6</sup> pa) et la viscosité à chaud en **centistoke** à la température externe **100°** (viscosité cinématique : mm<sup>2</sup>/s). La viscosité cinématique n'est rien d'autre que la viscosité dynamique divisée par la masse volumique (masse par unité de volume).

## Chapitre III

### Les circuits d'automatismes pneumatiques

#### 3.1 Description générale

L'énergie pneumatique utilise l'air comprimé comme fluide pour le transport de l'énergie et sa transformation en énergie mécanique. Pour obtenir de l'énergie pneumatique, on utilise un compresseur actionné par un moteur électrique ou thermique.

#### 3.2 L'installation pneumatique

La production de l'air comprimé est assurée par une installation qui comprend :

- Un **compresseur** actionné par un moteur électrique (pression de 7 à 10 bars).
- Un **réservoir accumulateur** d'énergie.
- Un **dispositif de conditionnement de l'air**
- Des **dispositifs de sécurité et de régulation** (soupape de sûreté, purges, filtres...).
- Des **pré-actionneurs** (distributeurs) et **actionneurs** (vérins)
- Des **circuits de distributions** flexibles ou parfois rigides.

L'air comprimé est chargé d'impureté et d'eau qu'il faut éliminer pour assurer la longévité du matériel.

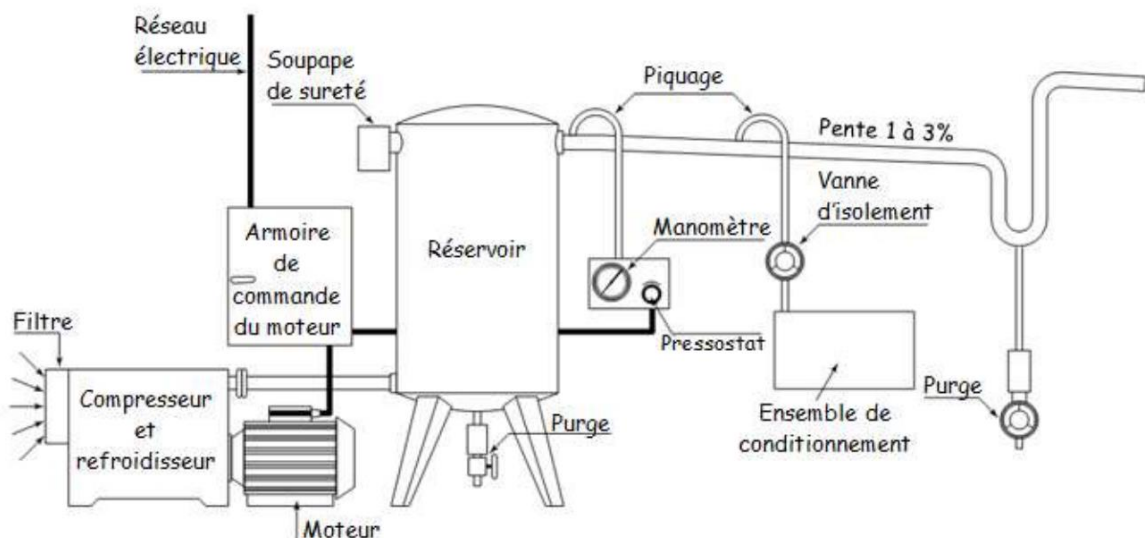


Figure 3.1 : Exemple d'une installation pneumatique.

### 3.2.1 Le compresseur

### 3.2.2 Le réservoir

Il sert à emmagasiner l'énergie pneumatique. Le réservoir a deux fonctions essentielles :

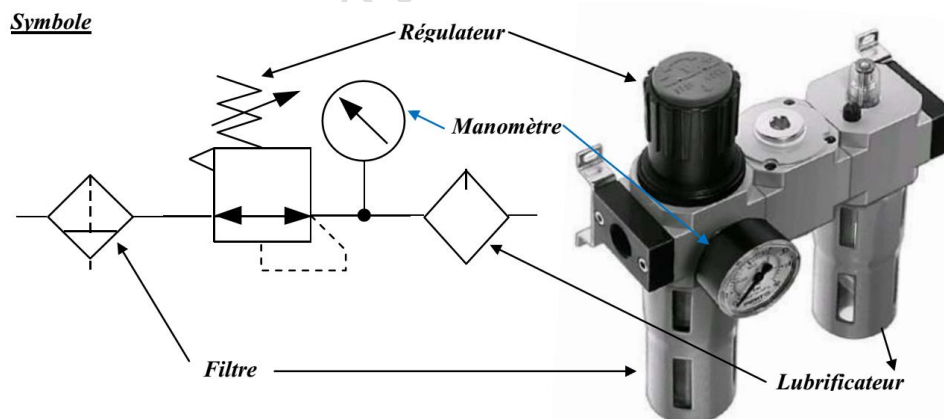
- **Fonction de stockage**
  - équilibre les variations de consommation d'air comprimé.
- **Fonction de refroidissement**
  - l'air comprimé se refroidit au contact des parois du réservoir. Ce phénomène participe au cycle d'épuration car une partie des condensats (40 à 60 %) précipite et s'accumule au fond du réservoir pour être ensuite évacuée par la purge.

### 3.2.3 Le dispositif de conditionnement

Avant d'utiliser l'air, il faut le filtrer, l'assécher, l'huiler et réguler sa pression. Ainsi, avant chaque SAP (Système Automatisé de Production), on place une unité de conditionnement F.R.L. (appelées aussi « Tête de ligne ») qui **adapte** l'énergie pneumatique au système.

Cette unité F.R.L. est constituée d'un **Filtre**, d'un **Mano-Régulateur** et d'un **Lubrificateur**.

- **Filtre** sert à assécher l'air et filtrer les poussières.
- **Mano-Régulateur** sert à régler et réguler la pression de l'air.
- **Lubrificateur** sert à éviter la corrosion et à améliorer le glissement.



**Figure 3.2** : Dispositif ou unité de conditionnement F.R.L.

### 3.2.4 Le dispositif de sécurité et de régulation

Après une interruption du débit d'air comprimé, provoquée ou accidentelle, la remise brutale en pression risque d'entraîner des mouvements brusques des vérins et de provoquer des détériorations de matériel, voire des accidents corporels.

Pour pallier ce problème, on installe en tête de l'alimentation un démarreur progressif. L'ensemble sectionneur (vanne de coupure) et démarreur progressif est à placer en tête d'une installation pneumatique, après le filtre + régulateur.

**a- Le démarreur progressif** : Ce distributeur permet une mise en pression progressive d'une installation pneumatique grâce à un débit d'air contrôlé.

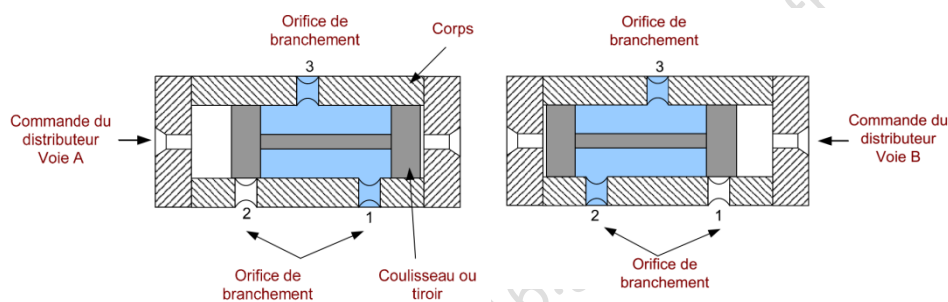
**b- Le sectionneur** : C'est une vanne, qui peut être manœuvrée manuellement ou électriquement. Son rôle est de rétablir ou de couper l'alimentation en air comprimé et le mettre à l'échappement.

### 3.2.5 Des pré-actionneurs (ou distributeurs)

Les distributeurs pneumatiques ont pour fonction de distribuer l'air comprimé jusqu'à l'actionneur (vérin). Ils ont le même rôle que les contacteurs.

#### ❑ Constitution et Fonctionnement :

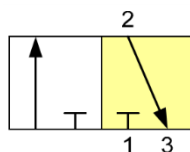
Un coulisseau ou un tiroir se déplace dans le corps du distributeur, il permet de fermer ou d'ouvrir des orifices d'air et ainsi de piloter différents actionneurs.



Il existe différents types de distributeurs qui se distinguent en fonction selon leur composition. On les identifie par le nombre d'orifices de branchement et de positions.

Exemple : un distributeur 3/2 est un distributeur qui a 3 orifices et 2 positions.

#### Symbolisation



#### ❑ Mode de commande

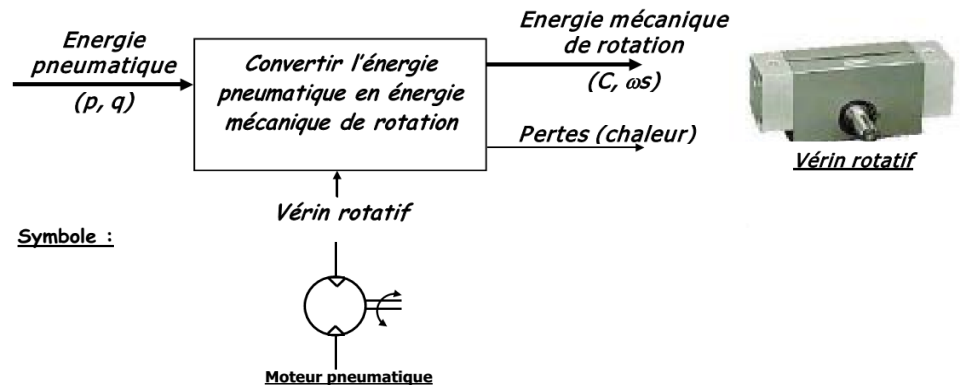
Le pilotage ou la commande des distributeurs peut s'effectuer par différentes façons :

symbole	type de commande	fonctionnement
	pneumatique	Elle est réalisée par de l'air comprimé
	électrique	Elle est réalisée par une bobine (principe de l'électro-aimant)
	manuelle	Elle est réalisée par un tournevis
	mécanique	Elle est réalisée par un ressort

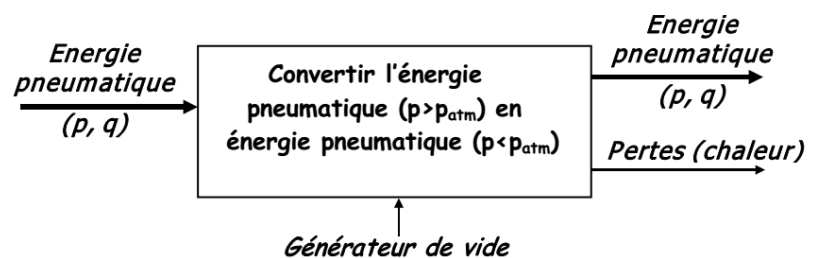
### 3.2.6 Des actionneurs (ou vérins)

a) Vérin linéaire (voir chapitres 01 et 02)

b) Vérin rotatif

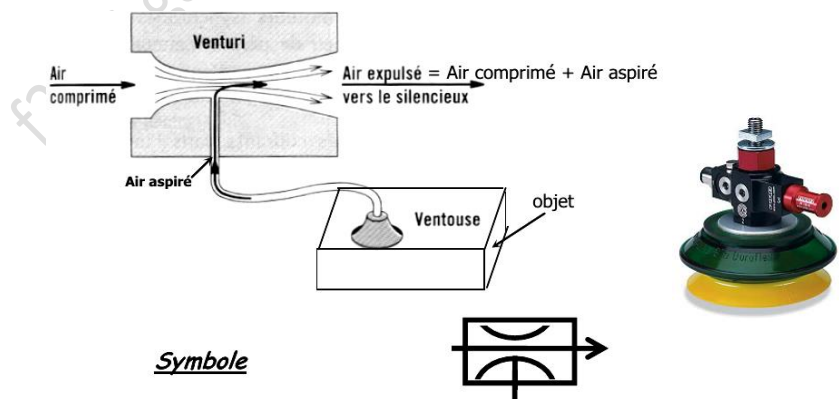


c) Générateur de vide



#### Principe effet Venturi

L'air comprimé, en passant dans l'étranglement prévu à l'intérieur provoque une accélération du flux d'air qui provoque une dépression qui aspire l'air dans l'espace étanche ventouse - objet la ventouse.

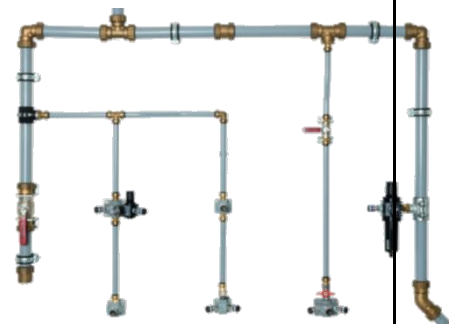


### 3.2.7 Le système de distributions d'air comprimé

Le système de distribution d'air comprimé comprend des accessoires ou éléments nécessaires au montage des conduites qui se caractérisent par :

- Une résistance à la corrosion, aux impulsions et aux intempéries.
- Un montage rapide, faible poids et maniement simple.
- Une résistance élevée contre diverses huiles.
- Une faible perte par frictions et faible chute de pression
- Un produit approuvé et normalisé.


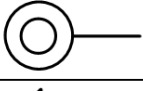



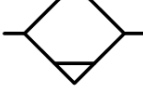
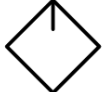

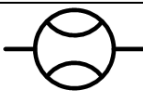

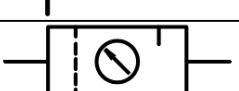
Généralement, ces accessoires sont :




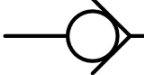
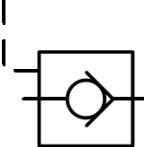
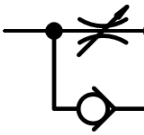

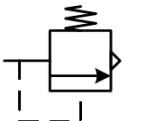
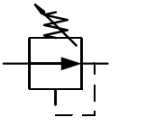




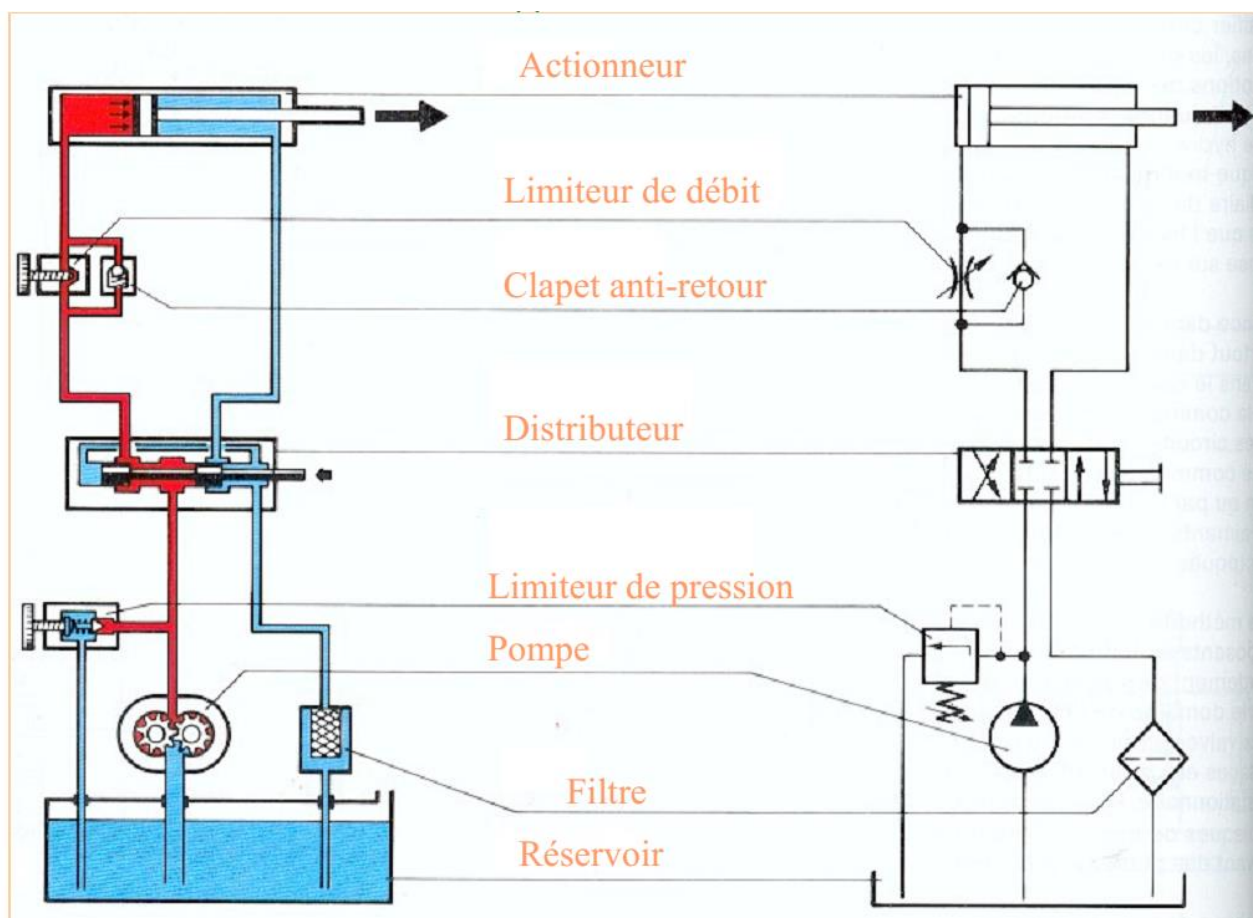
<b>Colliers de serrage, colliers de serrage à vis</b>	
<b>Raccords rapides et raccords embrochables</b>	
<b>Tuyaux à air comprimé</b>	
<b>Accouplements rapides</b>	
<b>Tuyaux flexibles de raccordement</b>	
<b>Robinetets à bille</b>	
<b>Raccord T, raccord coulissant et coude 90°</b>	

### 3.2.8 Les symboles pneumatiques

Symbole	Désignation	Fonctionnement
	Réservoir	Assure le stockage de l'air comprimé
	Alimentation d'air comprimé	Alimente les circuits en air comprimé
	Echappement	Met à l'air libre la pression d'une canalisation
	Filtre	Enlève les impuretés
	Sécheur, déshydrateur	Enlève l'humidité
	Séparateur manuel (purge)	Dissocie l'air des autres composants
	Lubrificateur	Huile l'air comprimé
	Thermomètre	Indique la température de l'air comprimé
	Débitmètre	Indique le débit d'air par unité de temps
	Manomètre	Indique la pression
	Unité de conditionnement	Filtre, lubrifie, indique la pression

	Vanne	Autorise le passage de l'air comprimé si elle est ouverte
	Réducteur de débit	Réduit le débit dans le circuit en aval
	Réducteur de débit variable	Permet de régler le débit dans le circuit en aval
	Clapet anti-retour	Permet le passage de l'air comprimé dans un seul sens
	Clapet anti-retour piloté	Permet le passage de l'air comprimé dans un seul sens à condition d'être piloté
	Réducteur de débit variable unidirectionnel	Permet de régler le débit dans un seul sens de circulation
	Silencieux	Limite les nuisances sonores
	soupape de sécurité	Met un circuit à l'air libre lorsque la pression est trop importante
	régulateur de pression	Permet d'obtenir une pression constante dans le circuit aval

### 3.2.97 Exemples de circuits



## Travaux dirigés



## Série 01

### Exercice 01

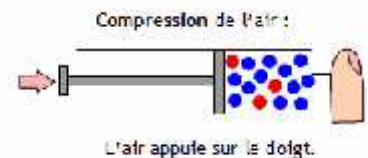
Pour rouler en toute sécurité, il est important que la pression des pneus de la voiture soit vérifiée régulièrement. Le garagiste mesure alors la pression du pneu avec un manomètre différentiel puis ajoute de l'air.

Si un constructeur demande de gonfler un pneu à une pression différentielle de 2.6 bars, quelle est la pression réelle dans le pneu ?

### Exercice 02

On suppose qu'on appuie légèrement sur le piston d'une seringue horizontale bouchée. La pression du gaz contenu dans la seringue est alors de 2 bars.

- 1) Donner la valeur de cette pression dans l'unité légale.
- 2) Quelle est la valeur de la force pressante exercée par ce gaz sur une portion de paroi de la seringue dont la surface est  $2.5 \text{ cm}^2$  ?
- 3) On comprime le gaz en appuyant sur le piston. La pression du gaz devient 2.5 bars. Quelle est alors la valeur de la force pressante exercée par le gaz sur la portion de paroi précédente ?



### Exercice 03

Une huile de densité 0.850 et de viscosité dynamique 0.10104 Pa.s circule dans un tuyau de fonte lisse de longueur  $L = 3000 \text{ m}$ , de diamètre  $D = 30 \text{ cm}$ , avec un débit  $Q = 44 \text{ l/s}$ . Quelle est la perte de charge dans ce tuyau ?

### Exercice 04

On considère une tuyauterie de diamètre intérieur  $D = 14 \text{ mm}$  et de longueur  $L = 10 \text{ mètres}$ . La tuyauterie est de surface interne lisse (rugosité moyenne interne de ce conduit  $\approx 0$ ). Le fluide hydraulique a une masse volumique  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$  et une viscosité cinématique  $\nu = 30 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Le débit du fluide qui circule dans ce conduit est de  $Q = 55 \text{ l/mn}$ .

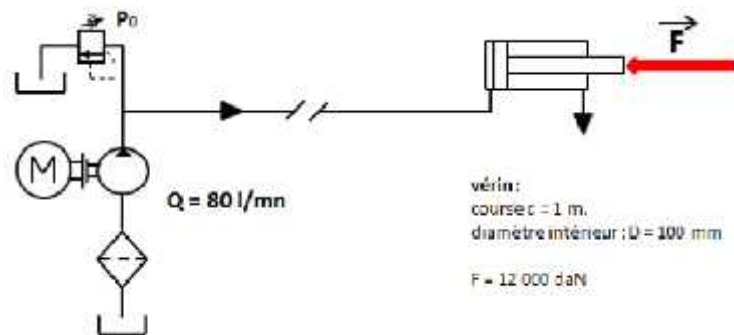
Calculer la perte de charge  $\Delta P$  exprimée en bars.

On considère maintenant un diamètre de conduite divisée par 2 soit  $d = 7 \text{ mm}$ .

- A) Calculer la nouvelle perte de charge  $P'$  exprimée en bars
- B) Conclure sur la vitesse maximale du fluide dans le circuit de refoulement d'un système hydraulique.

### Exercice 05

Une pompe alimente un vérin suivant le schéma ci-dessous :



- 1) Quelle est la pression dans le vérin en supposant un rendement de cet organe récepteur égal à  $\eta = 0.9$  ?
- 2) Quelle est la vitesse  $v$  de déplacement de la tige du vérin ?
- 3) Quel est le temps  $t$  nécessaire pour réaliser un déplacement égal à la course  $c$  ?
- 4) A quel pression  $P_0$  doit être réglé le limiteur de pression si la longueur de conduite de la pompe au vérin est de  $L = 10$  mètres avec :
  - ) une tuyauterie de diamètre extérieur  $d = 28$  mm et une épaisseur  $e = 3.2$  mm
  - ) une huile de viscosité  $\nu = 34$  cst, de masse volumique  $\rho = 0.87$  g/cm<sup>3</sup>



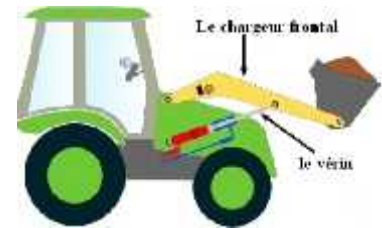
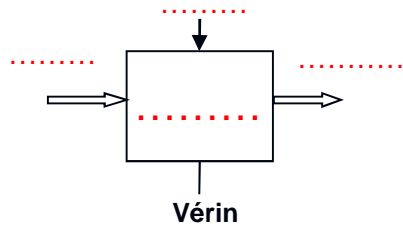
## Travaux dirigés



## Série 02

### Exercice 01

Compléter l'actigramme du vérin:

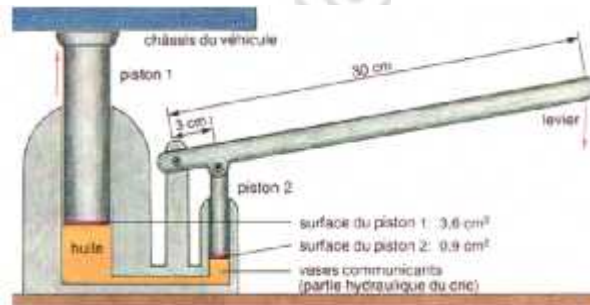


Le chargeur frontal d'un tracteur est animé par deux vérins hydrauliques à double effet. Le diamètre du piston de chaque vérin est de 30 mm. La pompe envoie l'huile de circuit hydraulique avec une pression de 180 bars.

Calculer la force théoriquement disponible sur la barre transversale commandée par les deux vérins.

### Exercice 02

Le schéma ci-dessous montre un cric hydraulique. La voiture à soulever a une masse de 1500 kg.

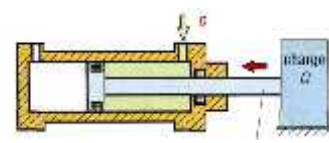
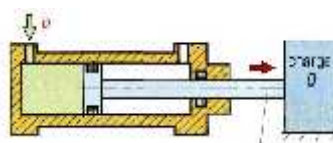


- Quelle est l'intensité de la force exercée sur le piston 1 ?
- Calculer la pression dans le liquide ?
- En déduire l'intensité de la force agissant sur le piston 2.

### Exercice 03

Soit un vérin hydraulique avec  $D = 100$  mm,  $d = 32$  mm (diamètre tige). Calculer :

- Les efforts théoriques exercés en poussant et en tirant si la pression d'alimentation est de 7 bars.



- L'effort réellement disponible en poussant si le rendement du vérin est de 88 %.

#### Exercice 04

Un compresseur aspire l'air à la pression atmosphérique et le comprime dans un réservoir d'une capacité de  $1.5 \text{ m}^3$ . A partir du réservoir plein, quel volume d'air faut-il extraire pour que la pression atteigne 550 kPa, sachant que la température est passée de  $22^\circ\text{C}$  à  $38^\circ\text{C}$  ?

#### Exercice 05

Calculer la consommation d'air (débit par minute) d'un vérin de diamètre  $D = 80 \text{ mm}$  (diamètre de tige 22 mm) et d'une course de 400 mm. Cinq (5) cycles (aller/retour) sont effectués par minute sous une pression de 600 kPa (6 bars).

f2016.gaci@yahoo.fr

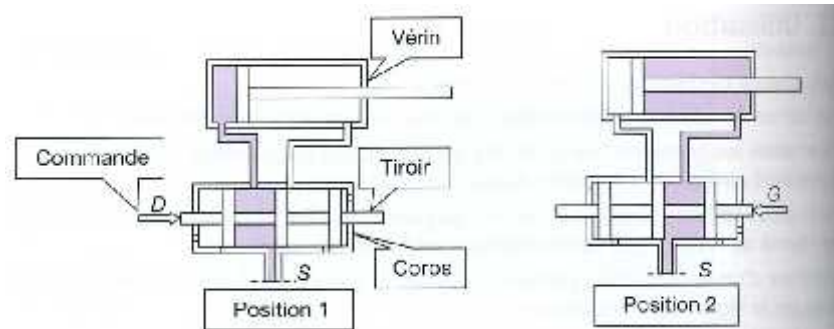
## Travaux dirigés



## Série 03

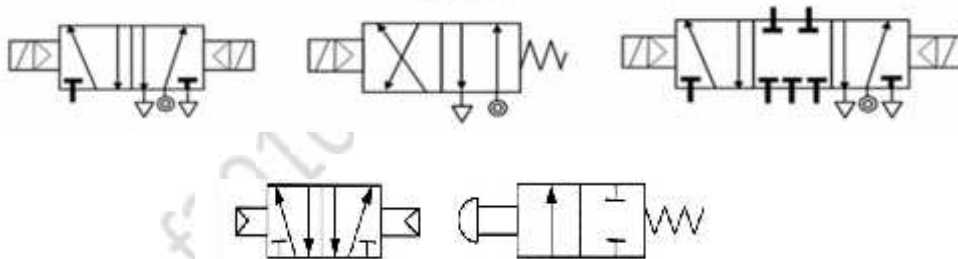
### Exercice 01

Les schémas ci-dessous montrent l'association distributeur-vérin : la position du tiroir permet de mettre en communication l'arrivée d'air dans la chambre appropriée selon le sens de déplacement du piston du vérin. Donner pour chacune des positions représentées, le schéma symbolique correspondant à chaque position du distributeur.



### Exercice 02

Définir ces distributeurs.



### Exercice 03

Donner la désignation symbolique de ce système hydraulique.

