

| | | |
|--------------|---|------------------------|
| cours | cours CT 5 | TSI 1 Période 1 |
| | Schématisation hydraulique pneumatique | 1h |
| | Cycle 1 : Communication Technique | 4 semaines |

Analyser

Modéliser

Résoudre

Expérimenter

Réaliser

Concevoir

Communiquer

ANALYSER

Associer les fonctions aux constituants.

Justifier le choix des constituants dédiés aux fonctions d'un système.

Identifier et décrire les chaînes fonctionnelles du système.

Identifier et décrire les liens entre les chaînes fonctionnelles.

Identifier l'architecture structurelle d'un système.

Identifier la nature des flux échangés entre les différents constituants.

Les systèmes complexes qui utilisent de l'énergie pneumatique ou hydraulique sont notamment les automatismes industriels.

Exemples :

- automatisme industriel à air comprimé :
- automatismes à forte puissance (hydraulique) :



1 Nature et caractéristique du fluide

L'énergie pneumatique ou hydraulique est caractérisée par 2 grandeurs :

- **la pression** p caractérise la capacité du fluide à se déplacer.
La pression représente l'effort du fluide (exprimé en N) par unité de surface (en m^2) :

La pression est une **"grandeur effort"**.

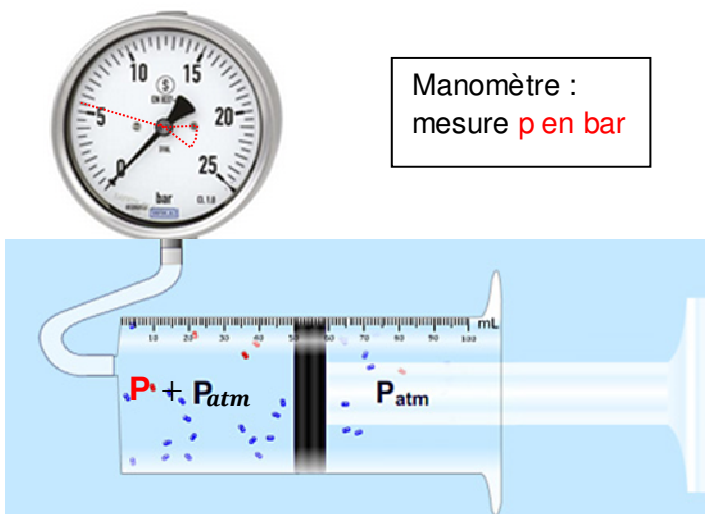
Unité SI : le Pascal ($Pa \equiv N \cdot m^{-2}$),

Unité usuelle : bar.

Ordre de grandeur :

La pression atmosphérique en condition standard vaut environ : **1bar $\equiv 10^5 Pa$**

La pression p est la **pression relative** (qui s'ajoute à la pression atmosphérique) : celle due à l'effort sur la seringue.

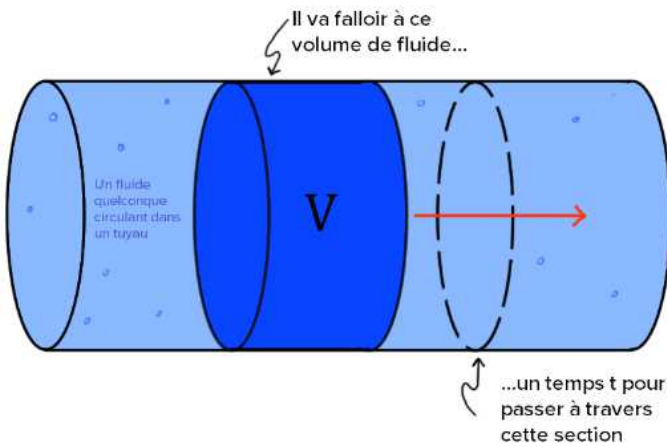


Manomètre :
mesure **p en bar**

La **pression absolue** $p + p_{atm}$ n'est utilisée que lorsque le problème fait intervenir des dépressions ou un environnement dépressurisé (météorologie, générateur de vide).

- **le débit**, noté Q , caractérise la quantité de fluide qui se déplace.

Le débit est une **"grandeur flux"** qui caractérise le déplacement du fluide.



Unité SI : $m^3 \cdot s^{-1}$,.

Ordre de grandeur : $1 L \cdot \text{min}^{-1}$

($1 L \cdot \text{min}^{-1} \equiv 1,7 \cdot 10^{-5} m^3 \cdot s^{-1}$)

La nature du fluide apparait dans les symboles normalisés et les caractéristiques du fluide ont des ordres de grandeurs qui dépendent du fluide.

| Type de fluide | Symboles normalisés | | Ordre de grandeur des pressions |
|----------------------------|---------------------|-------------|---------------------------------|
| | Source | Echappement | |
| air comprimé (pneumatique) | ▷ | ▷ | 6 bar |
| huile (hydraulique) | ▶ | ▶ | 100 bar |

L'hydraulique est beaucoup utilisé lorsque les efforts en jeu sont importants (freinage, levage...) et le pneumatique pour ses circuits ouverts faciles à configurer.

Avantage de l'huile : peu compressible (donc permet de forte pression sans effet ressort).

Avantage de l'air : viscosité (frottement fluide) limitée.

2 Structure fonctionnelle

2.1 Composants hydrauliques et pneumatiques

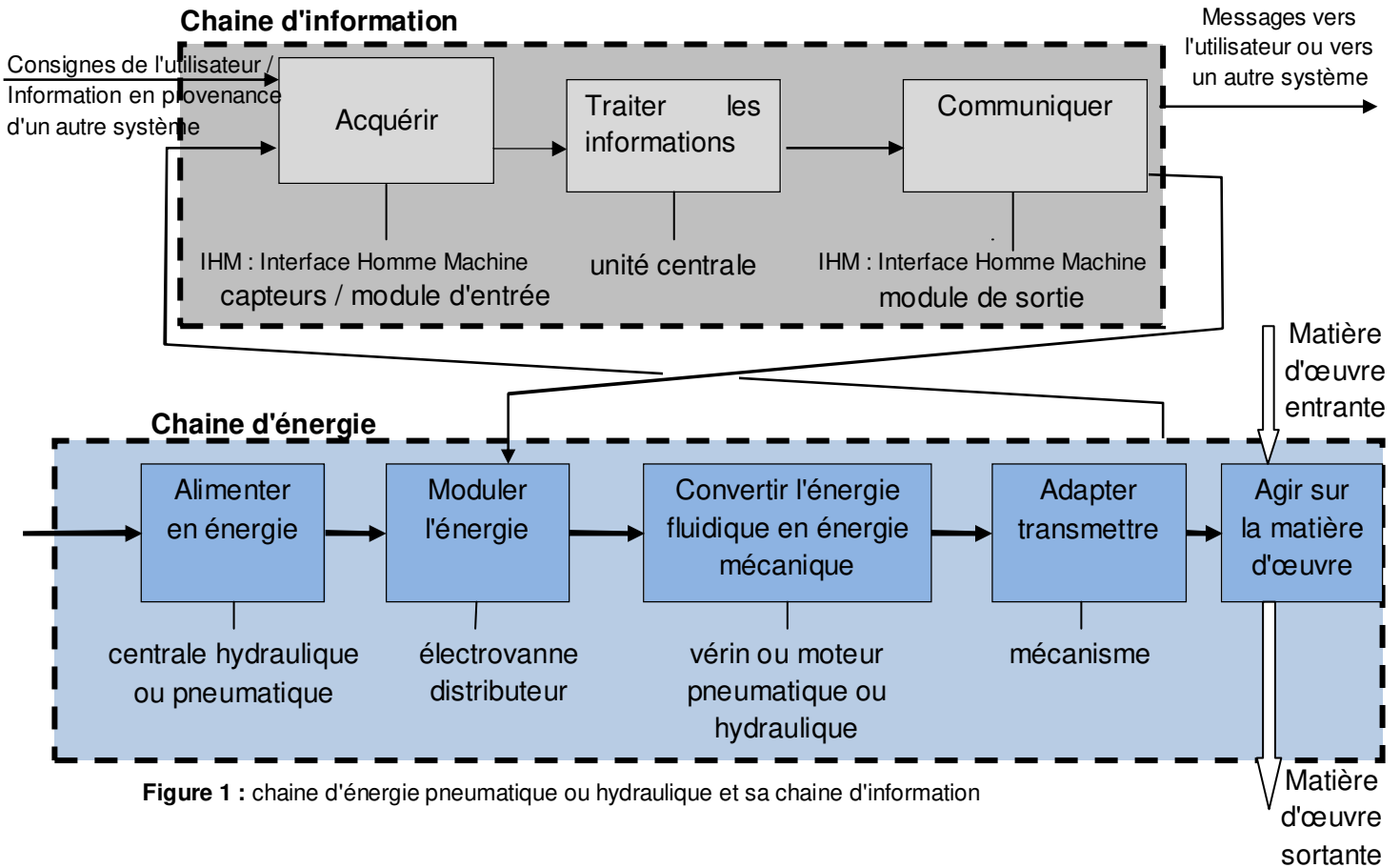


Figure 1 : chaîne d'énergie pneumatique ou hydraulique et sa chaîne d'information

La chaîne d'information utilise généralement de l'énergie électrique.

Dans certains cas typiques (atmosphère explosive notamment), la chaîne d'information peut utiliser une énergie de même nature que la chaîne d'énergie. L'unité centrale est alors constituée d'une logique câblée pneumatique ou hydraulique. La différence essentielle entre les deux chaînes est le niveau des pressions relatives mises en jeu.

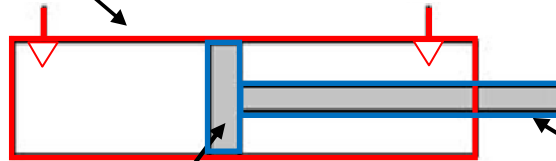
3 Fonction "convertir l'énergie pneumatique ou hydraulique en énergie mécanique"

3.1 Conversion en énergie mécanique de translation

Pour obtenir une translation, les vérins sont les composants privilégiés.

3.1.1 Composants principaux d'un vérin :

Le corps: contient le fluide et permet sa circulation dans les 2 sens par des connexions situées de chaque côté du cylindre.

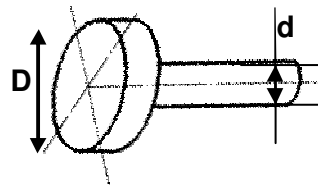


Le piston: sépare le volume intérieur du corps en 2 volumes distincts que l'on appelle les chambres (l'étanchéité est assurée par des joints).
L'entrée du fluide dans l'une ou l'autre des chambres conduit au déplacement du piston.

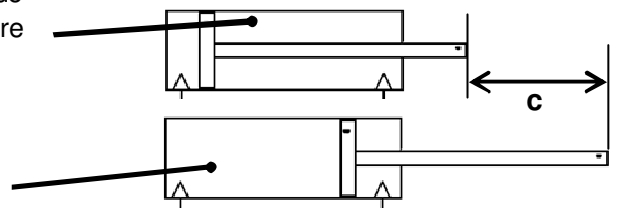
La tige du piston: permet de relier le piston à une pièce extérieure (parfois pas de tige : transmission magnétique).

Un vérin est caractérisé principalement par :

- le diamètre D du piston (en m),
- le diamètre d de la tige (en m),
- la course c du piston.

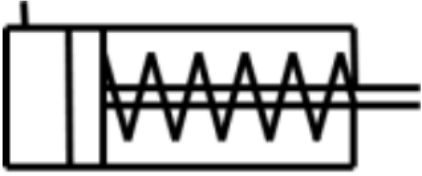



La rentrée du piston est provoquée par l'admission de fluide dans cette chambre (à condition que le fluide situé dans l'autre chambre puisse s'échapper).



La sortie du piston est provoquée par l'admission de fluide dans cette chambre.

3.1.2 Deux grandes classes de vérins usuelles :

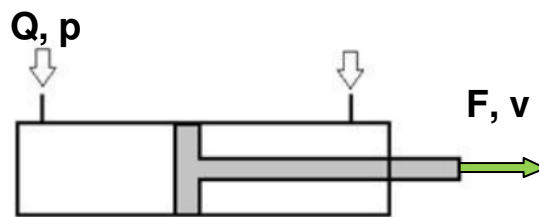
| Vérin simple effet | Vérin double effet |
|---|--|
|  |  |
| <p>Le retour du vérin en position se fait par le ressort ou la charge.</p> <p>Avantage : économique. Inconvénient : encombrant, course réduite. Utilisation : serrage, éjection, levage.</p> | <p>L'ensemble tige piston peut se déplacer dans les 2 sens par l'action du fluide. L'effort est plus faible en tirant (rentrée de la tige) qu'en poussant (sortie de tige).</p> <p>Avantages : plus souple, réglage simple de la vitesse. Inconvénient : + cher que le vérin simple effet. Utilisation : grand nombre d'applications industrielles.</p> |

3.1.3 Caractérisation des flux d'énergie entrant et sortant

Puissance pneumatique ou hydraulique à l'admission du vérin :

$$P_e = Q \cdot p$$

Pe en W
 Q (en m³s⁻¹) : débit de fluide entrant
 p (en Pa) : pression du fluide à l'admission



Puissance mécanique de translation disponible sur la tige du vérin : Ps en W

$$P_s = F \cdot V$$

F (en N) : force disponible tige-corps
 V (en m/s) : vitesse de la tige / corps

La puissance est toujours un produit entre une grandeur flux et une grandeur effort.

p et F sont des grandeurs d'effort.

Q et V sont des grandeurs de flux.

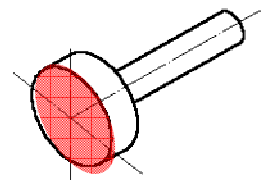
3.1.4 Loi entrée – sortie

La surface projetée S du piston est au centre des lois entrée/sortie d'un vérin. La surface projetée est la surface du piston en contact avec le fluide projetée dans la direction de déplacement du vérin :

- **en poussant** (la tige du piston sort du vérin), la surface coté air comprimé vaut

$$S = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

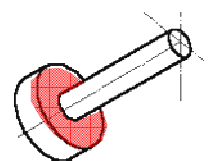
S (en m²) : surface projetée du piston, D (en m) : diamètre du piston



- **en tirant** (la tige du piston rentre dans le vérin) la surface coté air comprimé vaut

$$S = \pi \cdot \frac{D^2}{4} - \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

S (en m²) : surface projetée du piston, D (en m) : diamètre du piston, d (en m) : diamètre de la tige.



Relation "cinématique"

Hypothèses :

- le fluide est considéré comme incompressible et sans fuite au niveau des joints.

$$Q = V \cdot S$$

Q (en $m^3 \cdot s^{-1}$) : débit entrant ou sortant de la chambre considérée du vérinV (en $m \cdot s^{-1}$) : vitesse linéaire du déplacement piston / corpsS (en m^2) surface projetée selon la direction de déplacement piston / corps**Relation "statique"**

Hypothèses:

- en régime permanent : lorsque le piston est à l'arrêt ou se déplace à vitesse constante.

$$F = (p \cdot S - Fr)$$

F (en N) : force exercée entre la tige et le corps,

p (en Pa) : pression à l'admission,

Fr (en N) : force résistante interne au vérin.

Vérin simple effet : $Fr =$ force du ressort de rappel (+ frottement)Vérin double effet : $Fr = p_r \cdot S_r$ (+ frottement) p_r (en Pa) : pression au refoulement, S_r (en m^2) : surface projetée du piston en contact avec le fluide refoulé.**Unités usuelles parfois rencontrées**Force : F en "kg" ($1 \text{ kg} \rightarrow 10 \text{ N}$)Vitesse : V en km/h ($1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)**Taux de charge**

On peut définir un rendement η (appelé aussi le taux de charge), pour quantifier les pertes en régime permanent dues :

- au frottement de la tige et du piston sur le corps,
- à la résistance du fluide au refoulement ou du ressort de rappel (vérin simple effet),
- au passage du fluide d'une chambre à l'autre (négligeable lorsque les joints sont en bon état).

$$\eta = \frac{P_s}{P_e}$$

 η : rendement ou taux de charge du vérin,

Ps : puissance mécanique disponible au niveau de la tige du vérin,

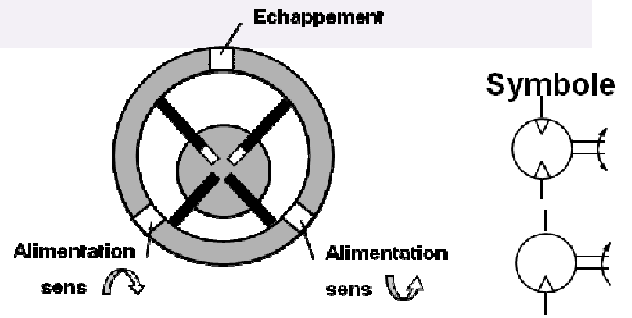
Pe : puissance pneumatique ou hydraulique du fluide à l'admission.

Le taux de charge peut dépendre des pressions et des débits (ordre de grandeur pour un vérin pneumatique $\eta = 0,6$).

3.2 Conversion en énergie mécanique de rotation

3.2.1 Moteur pneumatique ou hydraulique

Si on souhaite une rotation continue, on utilise un moteur.

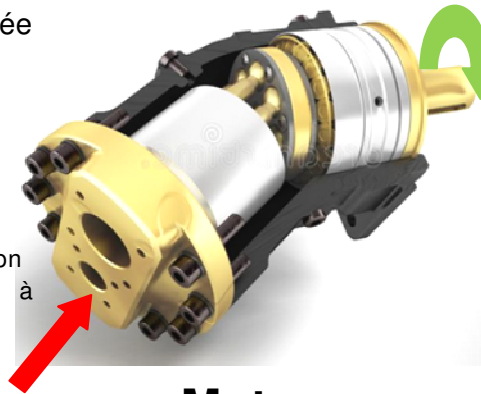


3.2.2 Puissances dans un moteur pneumatique ou hydraulique

Puissance hydraulique ou pneumatique disponible à l'entrée du moteur (en W)

$$P_e = Q.(p - p_r)$$

Q (en $m^3 \cdot s^{-1}$) : débit en sortie de pompe
 p (en Pa): pression du fluide à l'admission
 p_r (en Pa):: pression du fluide à l'échappement



Moteur

\mathcal{V} (en m^3/tr) cylindrée (volume déplacé par tour de pompe)

Puissance mécanique en rotation disponible à la sortie (en W)

$$P_s = C . \omega$$

C(en N.m): couple disponible à l'arbre de sortie
 ω (en rad/s): taux de rotation de la pompe

3.2.3 Loi entrée – sortie pour un moteur pneumatique ou hydraulique

Relation "cinématique"

Hypothèse : fluide incompressible, pas de fuite entre les chambres (d'autant moins vrai que les pressions augmentent).

$$Q = \frac{Cyl . \omega}{2 . \pi}$$

Unité SI :

Q (en $m^3 \cdot s^{-1}$) : débit en sortie de pompe
 Cyl (en $m^3 \cdot tr^{-1}$):cylindrée (= volume déplacé par tour de pompe)
 ω (en $rad \cdot s^{-1}$) : taux de rotation de la pompe.

Unité usuelles

$$Q=Cyl.N$$

Q (en $L \cdot min^{-1} \equiv dm^3 \cdot min^{-1}$): débit en sortie de pompe
 Cyl (en $L \cdot tr^{-1} \equiv dm^3 \cdot tr^{-1}$) : cylindrée (= volume déplacé par tour de pompe)
 N ($tr \cdot min^{-1}$) : fréquence de rotation de la pompe.

Exemple : un moteur de moto de cylindrée de $Cyl = 250cm^3 \cdot tr^{-1}$ tournant au taux de rotation $\omega=1000 rad \cdot s^{-1}$ (environ $10\,000 tr \cdot min^{-1}$) a besoin d'un débit d'air théorique :



$$Q = \frac{250 \cdot (10^{-2})^3 * 1000}{2\pi} = 0,04 m^3 \cdot s^{-1}$$

Relation "statique"

Le lien entre p et C est donné par des abaques

3.2.4 Compresseur d'air et pompe

Les formules sont identiques à celles des moteurs dans le cas d'un compresseur d'air ou d'une pompe. La seule différence est que la puissance mécanique est à l'entrée (fournie généralement par un moteur électrique) et la puissance hydraulique est à la sortie :

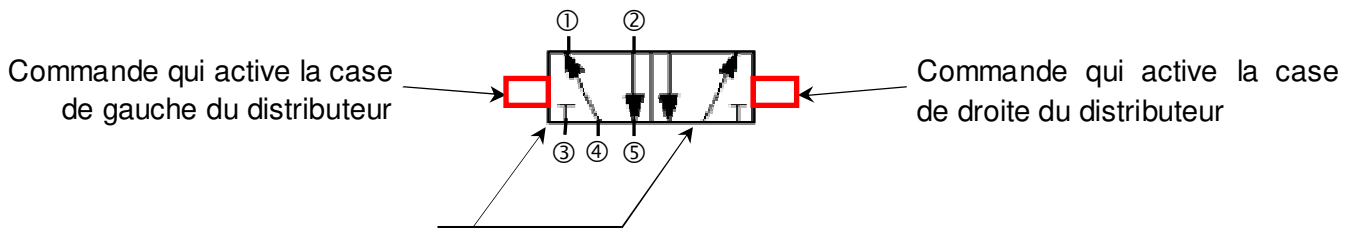
- compresseur à air (symbole pour un seul sens de marche) : 
- pompe hydraulique (symbole pour 2 sens de marche): 

4 Moduler l'énergie pneumatique ou hydraulique

La fonction "moduler" consiste ici à acheminer l'air ou l'huile vers l'actionneur en fonction des ordres de la commande.

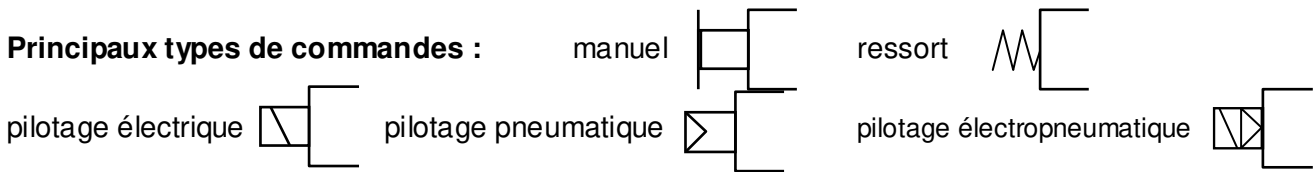
Les distributeurs sont définis par deux caractéristiques fonctionnelles :

- **le nombre d'orifices principaux** nécessaires au fonctionnement des différents types d'actionneurs (numérotés ① à ⑤).



- **le nombre de positions** (dans le symbole = nombre de cases). Il est possible d'avoir 2, 3 voire 4 positions.

Principaux types de commandes :



Deux commandes du même type ont la même poussée sur le tiroir du distributeur.

La poussée du ressort est toujours inférieure à celle des autres commandes :

- la position repos est celle imposée par le ressort,
- la position travail est celle imposée par la commande opposée au ressort.

Distributeur monostable :

Un distributeur est dit monostable lorsqu'il y a un déficit entre le nombre de positions que peut prendre ce distributeur et le nombre de commandes pilotables. Un (ou des) ressort active la position surnuméraire.

Exemples : **Distributeur 5/2 monostable à commande électrique.**

Le rappel se fait par ressort.

La position stable est la position repos (ressort détendu).

Distributeur 5/3 monostable à commande électrique.

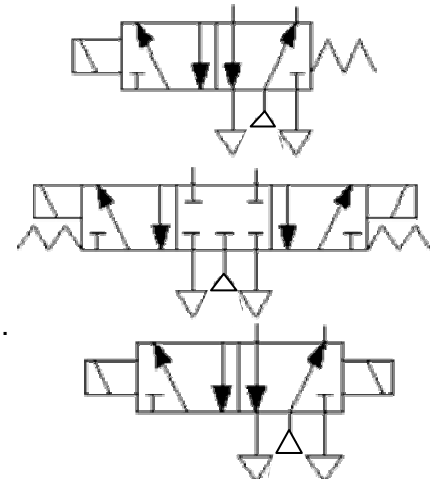
Le rappel en position stable se fait par ressort.

La position stable est la position centrale (ressorts détendus).

Distributeur bistable : autant de positions que de commandes pilotables.

Exemple : **Distributeur 5/2 bistable à commandes électriques.**



Il n'y a pas de ressort et il y a deux positions stables.



5 Composants annexes d'alimentation

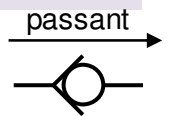
5.1 Stocker la pression

La pression se stocke dans des réservoirs :

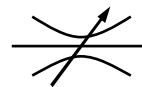
- d'air comprimé : 
- des réservoirs hydropneumatiques pour les circuits hydrauliques : 

5.2 Contrôle du débit

Les clapets anti-retour assurent le passage du fluide dans un sens et bloquent le débit dans l'autre sens.

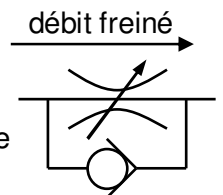


Les étrangleurs ont pour rôle de régler le débit du fluide.



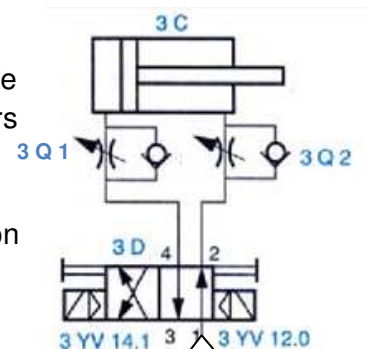
Les réducteurs de débit unidirectionnel (RDU) :

Ils sont destinés à régler le débit du fluide. Ils doivent assurer le freinage du débit de fluide dans un sens et le plein passage dans l'autre sens. Le clapet anti-retour obstrue le passage du fluide dans un sens et l'oblige à passer par l'étrangleur dans l'autre sens.



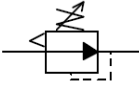
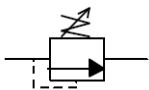
Le réglage de la vitesse d'un vérin se fait en plaçant un rdu au niveau de l'échappement du vérin (les vitesses d'entrée et de sortie sont alors indépendantes).

Attention en hydraulique, ce type de montage peut créer une surpression importante dans la chambre au refoulement (ici en rentrée de tige).



5.3 Contrôle de la pression

Deux dispositifs sont principalement disponibles pour contrôler la pression dans le circuit :

- **les réducteurs de pression** (utilisés notamment dans les circuits pneumatiques pour contrôler la pression d'alimentation de la machine) 
- **les limiteurs de pression** permettent d'éviter les surpressions inhérentes aux pompes (volumétriques), mais peuvent également être utilisés pour limiter la pression sur une chaîne fonctionnelle de la machine. 

Références :

http://philippe.berger2.free.fr/automatique/cours/elts-pneu/les_elements_pneumatiques.htm

Automatique Informatique Industrielle de C.MERLAUD, J.PERRIN et JP.TRICHARD, Edition Dunod
Guide du dimensionnement de P TAILLARD, Technologie N°121 septembre-octobre 2012

Annexe : Symboles normalisés (Oral CC-INP PSI 2006)

Signes de base

| | | | |
|--|--|---|--|
| <p>Canalisations</p> <p>— Alimentation - - - Pilotage - - - Fuite</p> <p>Liaison mécanique </p> <p>Encadrement d'un appareil </p> | <p>Cercle </p> <p>Pompes, Moteurs, Clapets de non-retour, Galet, Articulation, Mesure ...</p> | <p>Carré - Rectangle</p> <p></p> <p>Régulation (sauf clapets anti-retour)</p> <p></p> <p>Distributeurs</p> | <p>Losange </p> <p>Conditionnement : filtre, séparateur, lubrificateur, échangeur</p> |
| <p>Triangle</p> <p>Sens + Nature fluide</p> <p> Pneumatique Hydraulique</p> | <p>Flèche</p> <p> Translation</p> <p> Rotation</p> | <p>Flèche oblique</p> <p> Réglage</p> | <p>Divers</p> <p> raccordement de conduite</p> <p> Ressort</p> <p> Etranglement</p> |

Commandes

| | | |
|--|--|---|
| <p>Commande MUSCULAIRE</p> <p> Symbole général à poussoir</p> <p> à levier à pédale</p> | <p>Commande MÉCANIQUE</p> <p> à poussoir à ressort</p> <p> à galet</p> | <p>Commandes ELECTRIQUE, PNEUMATIQUE, HYDRAULIQUE</p> <p> Symbole général</p> <p> Pneumatique directe</p> <p> Pneumatique par distributeur pilote</p> <p> Hydraulique par distributeur pilote</p> <p> Electro-pneumatique</p> <p> Electrique</p> |
|--|--|---|

Actionneurs - Préactionneurs - Accessoires

| | |
|--|---|
| <p>VÉRINS</p> <p>Simple effet rappel par ressort </p> <p>Double effet </p> <p>Double effet avec amortisseur réglable d'un seul côté </p> | <p>MOTEURS, POMPES et COMPRESSEURS</p> <p>Moteur Hydraulique - cylindrée fixe - 1 sens de flux </p> <p>Pompe - cylindrée fixe - 2 sens de flux </p> <p>Moteur Hydraulique - cylindrée variable - 2 sens de flux </p> <p>Compresseur - cylindrée fixe - 1 sens de flux </p> |
| <p>DISTRIBUTEURS</p> <p>2/2 3/2 3/3 4/2 4/3 5/2 5/3 </p> <p>Centre ouvert Centre fermé Centre partiellement ouvert </p> <p>Proportionnel (2 positions extrêmes, Infinité de positions intermédiaires) </p> | |
| <p>ACCESSOIRES</p> <p>Clapets ...</p> <p>de non-retour </p> <p>de non-retour rappel par ressort </p> <p>de non-retour piloté ...</p> <p>à l'ouverture </p> <p>à la fermeture </p> <p>Réducteur de débit ...</p> <p>Fixe Réglable </p> <p>Régulateur de débit ...</p> <p>Fixe Réglable </p> <p>Limiteur de pression réglable </p> <p>Réducteur de pression réglable </p> <p>Robinetts ...</p> <p>à soupape </p> <p>à tournant 3 voies</p> <p>2 lumières </p> <p>3 lumières </p> <p>Accumulateur</p> <p>Réservoir (surface libre) </p> <p>Filtre </p> <p>Mesure</p> <p>Manomètre </p> <p>Débit-mètre </p> | |