

# Actionneurs pneumatiques et hydrauliques

## 4.1. Introduction

Les actionneurs pneumatiques et hydrauliques sont des actionneurs fluidiques utilisent l'énergie véhiculée par un gaz (air comprimé: actionneur pneumatique) et liquide (huile : actionneur hydraulique). Ce type d'actionneurs sont aussi bien utilisés en translation (vérins) qu'en rotation et transmettent des efforts et des couples très élevés. Néanmoins, ils nécessitent pour chaque machine une génération locale de mise en pression du fluide : des compresseurs pour les actionneurs pneumatiques et des pompes pour les actionneurs hydrauliques. En outre, La distribution est contraignante et les organes/accessoires sont généralement coûteux.

Les avantages des actionneurs pneumatiques et hydrauliques peuvent être résumés comme suit :

- Une puissance massique qui peut être 5 à 10 fois supérieure à celle des systèmes électriques similaires ;
- Un entraînement plus direct ;
- Des actions mieux réparties, chaque actionneur agissant directement sur l'un des axes du mécanisme ;
- Peuvent être utilisés dans des milieux explosifs et hostiles.



(a)



(b)

**Figure 4.1.** Actionneur pneumatique (a) et hydraulique (b).

## 4.2. Pneumatique Vs. Hydraulique

Les deux technologies pneumatique et hydraulique utilisées pour la réalisation des actionneurs se trouvent parfois en concurrence mais le plus souvent se complètent et ils sont utilisés de façon rationnelle. Le tableau ci-dessous nous présente une comparaison entre les deux technologies

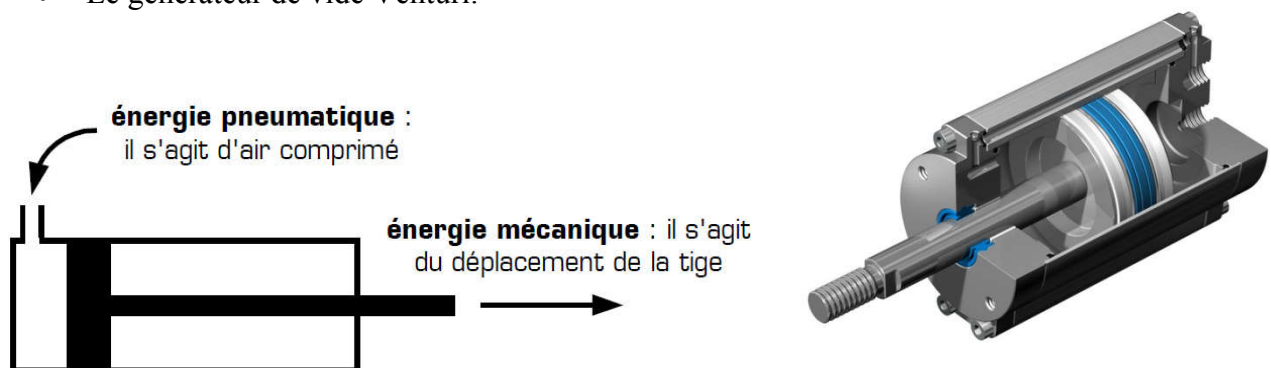
Critères	Pneumatique	Hydraulique
Transmetteur d'énergie	Air	Huile
Transport de l'énergie	Conduites : Tubes, flexibles	
Transformation de l'énergie mécanique	Compresseurs, vérins, moteurs pneumatiques	Pompes, vérins, moteurs hydrauliques
Caractéristiques fondamentales	Pression : p (env. 6 bars) Q	Pression : p (30...400 bars) Q
Puissance massique	Elevée	Très élevée
Pression de position	Moins bonne	Très bonne
Facilité de réglage	Très bonne	
Transformation en mouvement linéaire	Très simple, par vérins	

**Tableau. 4.1.** Pneumatique vs. Hydraulique.

### 4.3. Actionneur pneumatique

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

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



**Figure 4.2.** Principe de fonctionnement d'un actionneur pneumatique.

L'air comprimé est généré par un compresseur d'air entraîné par un moteur électrique. L'air aspiré dans l'atmosphère est comprimé dans un réservoir sous pression d'où partent des canalisations.

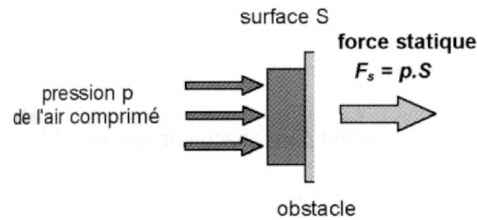
La pression de l'air s'exprime en bar. C'est la pression exercée par une force de 1 daN (déca newton) sur une surface de 1 cm<sup>2</sup>.

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ daN} / \text{cm}^2 \quad (3.1)$$

### 4.3.1. Forces et l'air comprimé

Il est possible de transformer une énergie potentielle créée par l'air comprimé en énergie cinétique (sous forme statique ou dynamique).

#### A. Force statique

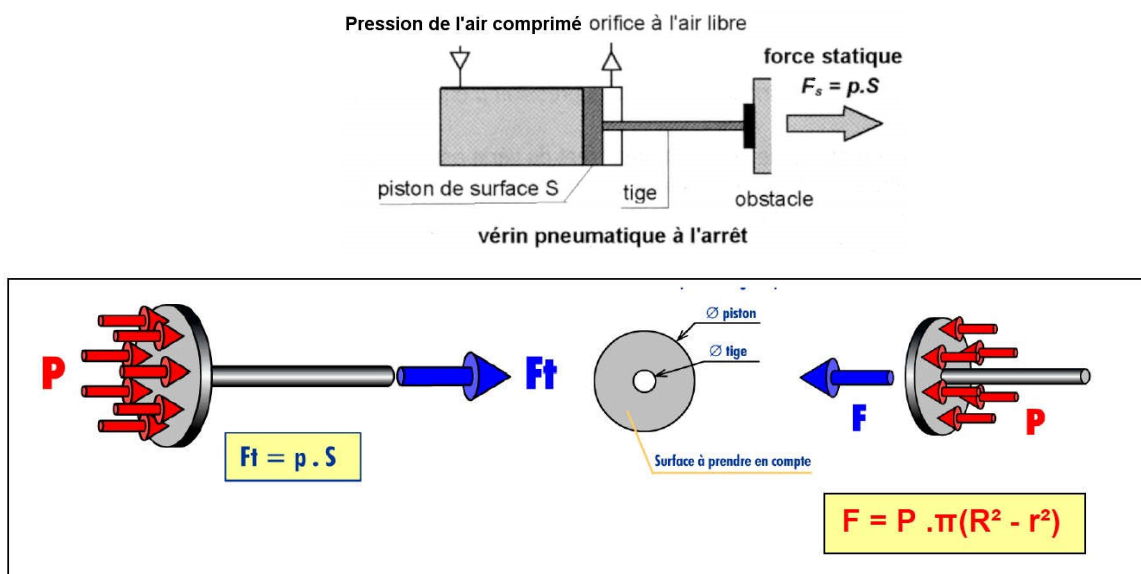


**Figure 4.3.** Définition de la force statique.

En faisant agir l'air comprimé sur une face immobile, une force statique  $F_s$  apparaît. Cette dernière est proportionnelle à la pression  $p$  et à sa surface d'action  $S$ :

$$\text{Force statique : } F_s = p \times S \quad (3.2)$$

avec la force  $F_s$  exprimée en daN, la pression  $p$  de l'air comprimé en bars et la surface  $S$  en  $\text{cm}^2$ .



**Figure 4.4.** Définition de la force statique pour un vérin.

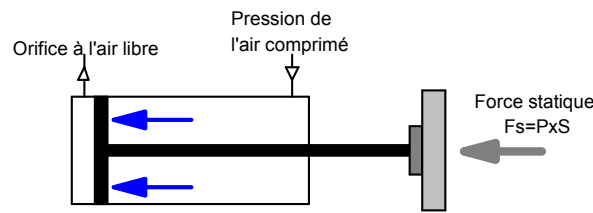
<b>Effort en poussant</b> $F_s = p \times S$ ; <b>Effort en rentrant</b> $F_s = p \times (S - S_{tige})$
--

#### Exemple :

Soit un vérin double effet de diamètre intérieur 50 mm et de diamètre de tige 20 mm, avec une pression de 6 bars.

La force statique tige sortie est calculée comme suit

$$F_s = p \times S = p \times \pi \times \frac{d^2}{4} \approx 6 \times \pi \times \frac{5^2}{4} \approx 117,8 \text{ daN}$$



En rentrée de tige (figure ci-dessus), la section est égale à  $S_{vérin} - S_{tige}$  :

$$S = \frac{\pi}{4} \times (d_{vérin}^2 - d_{tige}^2) = \frac{\pi}{4} \times (5^2 - 2^2) \approx 16,5 \text{ cm}^2$$

d'où la force statique tige rentrée :

$$F_s = p \times S \approx 6 \times 16,5 \approx 99 \text{ daN}$$

### B. Force dynamique

Dans le cas où la face est mobile en translation, la force dynamique  $F_d$  obtenue durant le mouvement est plus faible puisque elle dépend des forces qui s'opposent à son déplacement : force liée à la pression opposée (dite contre-pression), force de frottement, force d'inertie.

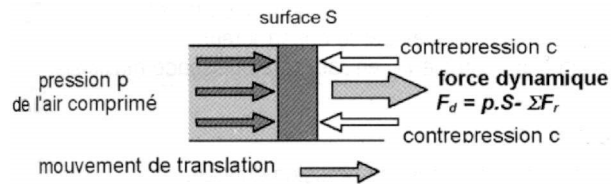


Figure. 4.5. Définition de la force dynamique.

L'expression de cette force est donnée comme suit :

$$\text{Force dynamique : } F_d = p \times S - \sum F_r \tag{3.3}$$

Avec la force dynamique  $F_d$  et la somme des forces résistantes  $\sum F_r$ , exprimées en daN, la pression  $p$  de l'air comprimé en bars et la surface  $S$  en  $\text{cm}^2$ .

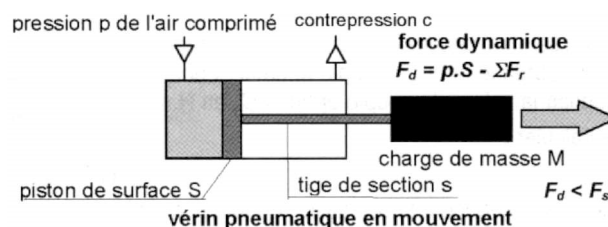


Figure. 4.6. Force dynamique d'un vérin.

Le fonctionnement des vérins pneumatiques est basé sur ces deux relations.

### C. Utilisation en statique et dynamique

Comme toutes les variables de la relation de la force statique  $F_s$  sont généralement connues, le calcul de  $F_s$  ne pose pas de problème. L'exploitation du vérin exige que sa force statique  $F_s$  soit supérieure à la charge statique  $C_s$  opposée (force de blocage ou de serrage) :

$$\text{Force statique } F_s > \text{Charge statique } C_s$$

Il n'en est pas de même de la force dynamique. A défaut de connaître les forces de frottement et d'inertie propres au vérin, on définit son **rendement  $\eta$**  comme le rapport de la force dynamique sur la force statique. Les mesures montrent que  $\eta$  est compris entre 0,8 et 0,95 suivant le type et les caractéristiques du vérin. On peut donc, faute de connaître le rendement exact du vérin, estimer la force dynamique en choisissant pour  $\eta$  la valeur minimum de 0,8.

$$\text{D'où : Force dynamique } F_d = \text{Force statique } F_s \times 0,8$$

Pour que le comportement du vérin soit acceptable, il faut que sa force dynamique  $F_d$  soit supérieure à la charge dynamique  $C_d$  opposée (force dynamique résistante) :

$$\text{Force dynamique } F_d > \text{Charge dynamique } C_d$$

### D. Taux de charge $t$

Pour utiliser le vérin dans de bonnes conditions, on définit le **taux de charge  $t$** . Il est le rapport entre la charge réelle à déplacer et l'effort dynamique disponible sur la tige du vérin. C'est un paramètre qui tient compte à la fois des effets de la contre-pression et des frottements internes ; son emploi élimine les risques de broutements.

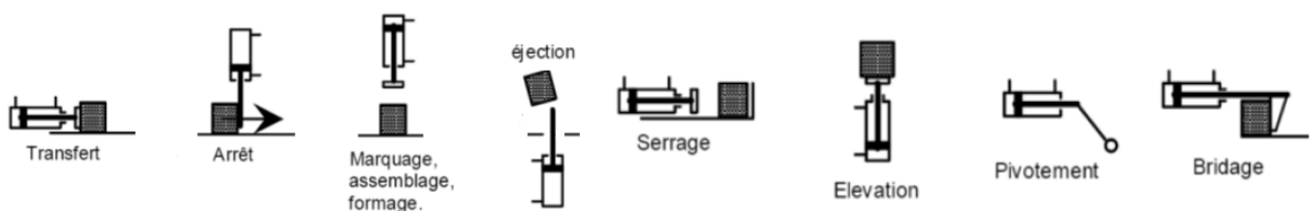
$$\text{Taux de charge } t = \frac{F_{charge}}{F_s} \quad (3.4)$$

Avec  $F_{charge}$  : effort à vaincre pour déplacer la charge ; et  $F_s$  : poussée théorique ( $p.S$ ).

**En pratique** :  $0,5 \leq \text{taux de charge } t \leq 0,75$ . Le taux de **0,5** est usuel.

### 4.4. Vérin pneumatique

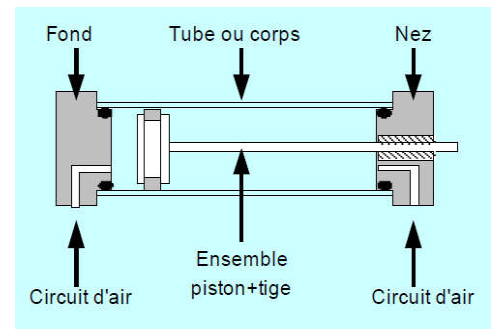
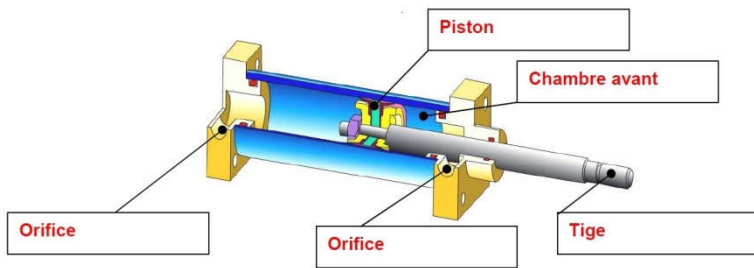
Un vérin pneumatique est un actionneur capable de transformer l'énergie de l'air comprimé en une énergie mécanique pour réaliser un déplacement linéaire ou rotatif limité à sa course. Il peut soulever, pousser, tirer, tourner, percuter, abloquer...



**Figure 4.7.** Fonctions d'un vérin pneumatique.

#### 4.4.1. Constitution d'un vérin

Il 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. Un ou deux orifices permettent l'admission d'air ou son échappement.



**Figure 4.8.** Constitution interne d'un vérin.

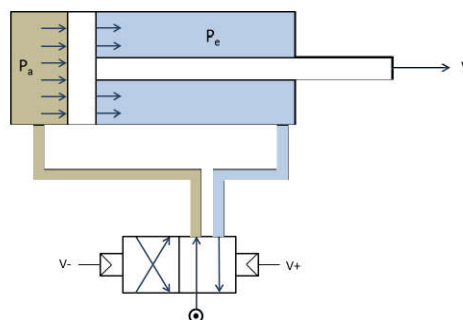
Un vérin est défini par sa course et par son diamètre :

- La longueur du déplacement à assurer est liée à sa course
- L'effort à développer dépend de son diamètre et de la pression du fluide.

#### 4.4.2. Fonctionnement d'un vérin pneumatique

Considérons le vérin représenté dans la figure 3.9 avec un distributeur à deux positions. Soit  $P_a$ , la pression dans la chambre gauche (coté admission),  $P_e$ , la pression dans la chambre droite (coté échappement et appelée aussi "contre pression d'échappement") et  $P_u$ , la pression d'utilisation fournie par le secteur pneumatique. Lorsque le distributeur vient de commuter sous l'action de la commande  $v+$ , la chambre gauche est brusquement reliée à la pression d'utilisation et simultanément la chambre droite est mise à la pression atmosphérique.

Le déplacement de l'ensemble tige et piston s'effectue en trois phases.



**Figure 4.9.** Fonctionnement d'un vérin pneumatique.

**Phase 1 : démarrage, de  $t = 0$  à  $t_1$  :**

La pression  $P_a$  augmente progressivement pendant que la pression  $P_e$  diminue. Le piston reste immobile durant cette phase, de courte durée.

**Phase 2 : déplacement, de  $t_1$  à  $t_2$** 

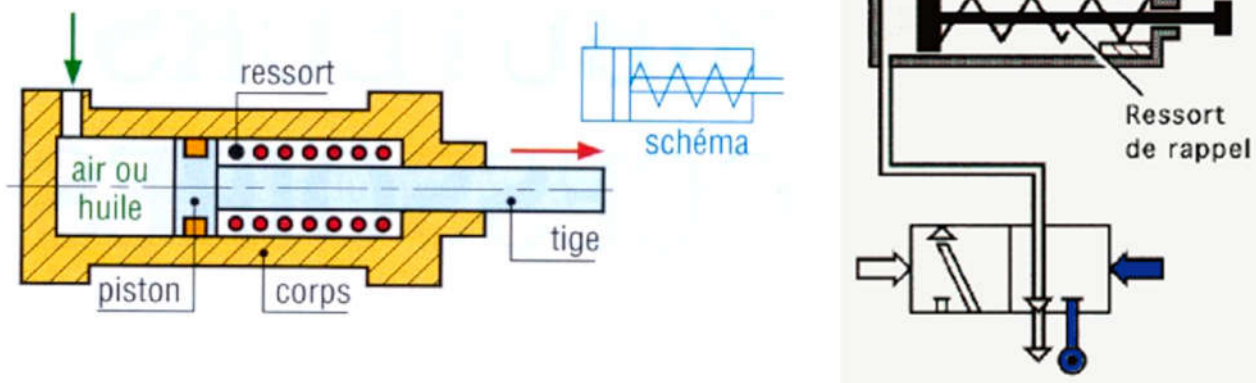
Quand la différence des pressions  $P_a$  est suffisante pour vaincre les efforts résistants, le piston se déplace. Durant cette phase, la pression diminue dans la chambre gauche, puisque le débit d'air ne peut pas compenser l'augmentation du volume de la chambre, et dans la chambre d'échappement (droite) pour les raisons inverses. La vitesse du vérin augmente.

**Phase 3 : arrêt, de  $t_2$  à après**

Lorsque le piston arrive en butée avant du vérin il se produit un arrêt brutal, la vitesse chute quasi instantanément. Les pressions s'équilibrent assez rapidement pour atteindre la pression d'utilisation dans la chambre gauche et la pression atmosphérique dans la chambre droite.

**4.4.3. Différents types de vérins****A. Vérins simple effet (VSE)**

L'ensemble tige-piston se déplace dans un seul sens sous l'action de l'air comprimé. Le retour est effectué par un autre moyen: ressort, charge, .... L'orifice d'admission de l'air comprimé est mis à l'échappement pendant le retour.



**Figure 4.10.** Vérin simple effet classique, rappel par ressort.

**Inconvénients :** à course égale, ils sont plus longs que les vérins double effet ; la vitesse de la tige est difficile à piloter en pneumatique et les courses proposées sont limitées (jusqu'à 100 mm).

**Utilisation :** Travaux simples (serrage, éjection, levage, emmanchements, ...).

**Force statique développée :** il faut tenir compte de la force  $R_c$  du ressort comprimé, d'où :

$$F_s = p \times S - R_c \quad (3.5)$$

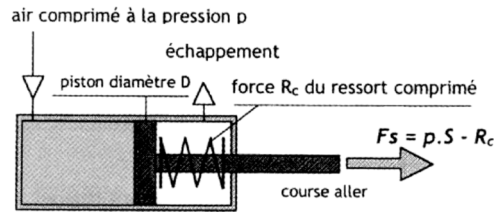
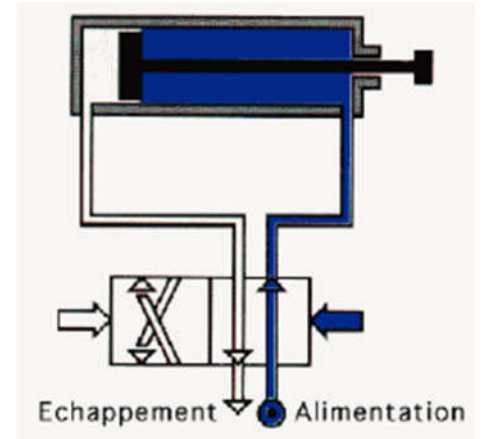
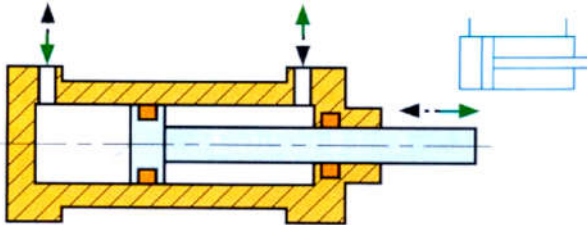


Figure 4.11. Force statique développée par un VSE en fin de sortie de tige.

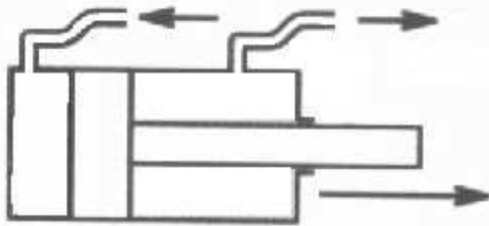
## B. Vérins double effet (VDE)

L'ensemble tige-piston peut se déplacer dans les deux sens sous l'action de l'air comprimé. L'effort en poussant (sortie de la tige) est légèrement plus grand que l'effort en tirant (entrée de la tige) du moment que la pression n'agit pas sur la partie de surface occupée par la tige.

### 4.4.4. Principe de réalisation



Pour faire **sortir** la tige, on applique une pression dans l'orifice n°1 : l'orifice n°2 est utilisé alors pour l'échappement et la tige sort :



Pour faire rentrer la tige, on applique une pression dans l'orifice n°2 : l'orifice n°1 est utilisé alors pour l'échappement et la tige rentre :

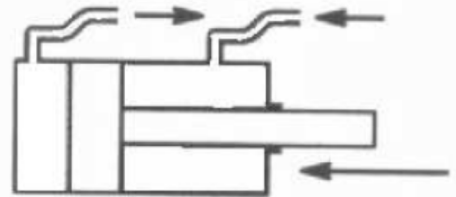


Figure 4.12. Vérin double effet .

**Avantages :** plus grande souplesse d'utilisation ; pilotage plus facile de la vitesse, par contrôle du débit à l'échappement ; amortissements de fin de course, réglables ou non, possibles dans un ou dans les deux sens. Ils offrent de nombreuses réalisations et options.

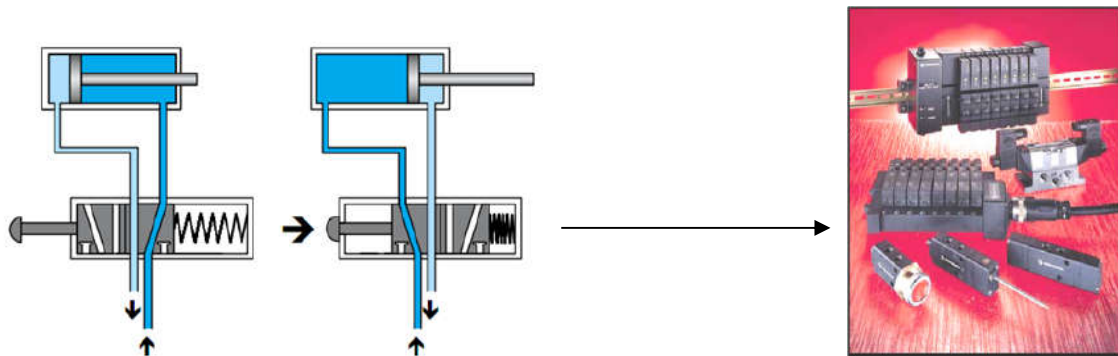
**Inconvénients :** ils sont relativement plus chers.

**Utilisation :** Ce type de vérins est le plus utilisé industriellement, ils présentent un grand nombre d'applications.

#### 4.5. Distributeurs (modulateurs) d'énergie

On utilise les distributeurs pour commuter et contrôler le débit du fluide sous pression, air comprimé ou l'huile, comme des sortes d'aiguillage, à la réception d'un signal de commande qui peut être mécanique, électrique ou pneumatique. Leur rôle est:

- contrôler le mouvement de la tige d'un vérin ou la rotation d'un moteur hydraulique ou pneumatique (distributeurs de puissance) ;
- choisir le sens de circulation d'un fluide (air comprimé ou l'huile) (aiguiller, dériver, etc.) ;
- exécuter, à partir d'un fluide, des fonctions logiques (fonctions ET, OU, mémoire, etc.) ;
- démarrer ou arrêter la circulation d'un fluide (robinet d'arrêt, bloqueur, ...) ;
- Fonctionnés comme des capteurs de position (course d'un vérin).



**Figure 4.13.** Distributeurs (modulateurs) d'énergie.

##### A. Symbolisation

Les distributeurs sont caractérisés par :

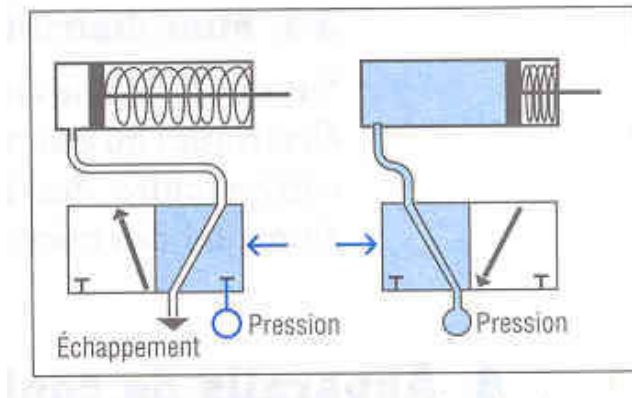
- par le nombre des orifices : 2, 3, 4 ou 5 ;
- par le nombre des modes de distribution ou positions : 2 ou 3 ;
- par le type de commande du pilotage qui fait changer la position : simple pilotage avec rappel par ressort ou double pilotage, avec éventuellement rappel au centre par ressort dans le cas des distributeurs à 3 positions ;
- par leur technologie de pilotage : mécanique, pneumatique ou électropneumatique ;
- par leur technologie de commutation : clapets, tiroirs cylindriques, tiroirs plans.

#### 4.6. Différents types de distributeurs

##### 4.6.1. Distributeur deux voies

Ce type de distributeur permet de faire l'alimentation d'une canalisation et d'en assurer la mise à l'échappement.

Il est utilisé pour alimenter un vérin simple effet.

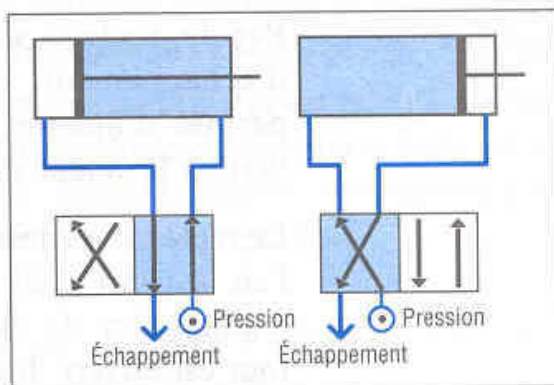


**Figure 4.14.** Commande d'un vérin simple effet par un distributeur 3 / 2.

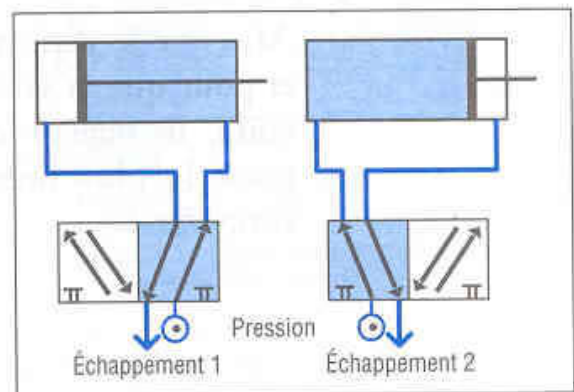
#### 4.6.2. Distributeur quatre ou cinq voies.

Ce distributeur permet d'alimenter deux canalisations et d'en assurer la mise à l'échappement. Il est utilisé pour commander les vérins doubles effet.

Il a deux positions mais peut avoir 4 orifices ou 5 orifices. (2 sorties, 1 mise en pression et 1 ou 2 orifices d'échappement).



**Figure 4.15.** Vérin double effet commandé par un distributeur 4 / 2 (4 orifices – 2 positions).



**Figure 4.16.** Vérin double effet commandé par un distributeur 5 / 2 (5 orifices – 2 positions).

#### 4.6.3. Principe de la symbolisation

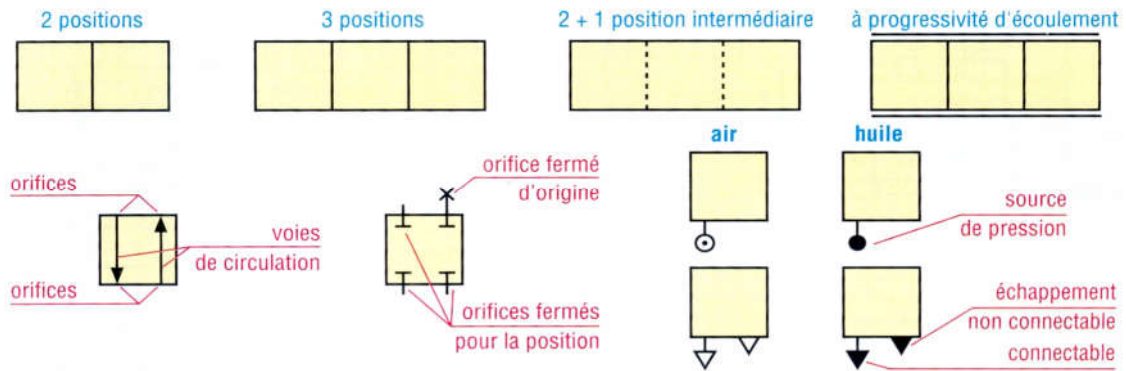
**Nombre de cases :** il indique le nombre de positions de commutation possibles, une case par position. S'il existe une position intermédiaire, la case est délimitée dans ce cas par des traits pointillés.

**Flèches :** dans chaque case ou position, les voies sont figurées par des flèches et ceci pour spécifier le sens de circulation du fluide entre les orifices.

**T :** les orifices non utilisés dans une position sont symboliquement obturés par un T droit ou inversé. Le nombre des orifices est déterminé pour une position et est égal pour toutes les positions.

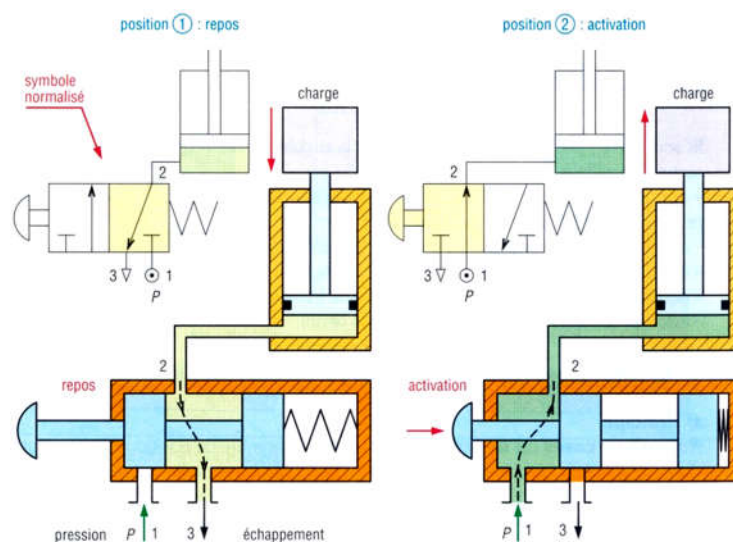
**Source de pression :** elle est représentée par un cercle noirci en hydraulique, clair en pneumatique.

**Echappement :** Il est représenté par un triangle noirci en hydraulique, clair en pneumatique.



**Figure 4.17.** Principe de symbolisation des distributeurs.

**Position initiale :** les lignes de raccordement entre réseau et distributeur aboutissent toujours à la case indiquant et symbolisant la position initiale ou repos ; cette case est placée à droite pour les distributeurs à deux positions, au centre pour ceux à trois positions. Le symbole de la pression (cercle) est mis à droite de la case de repos s'il n'y a qu'un échappement (triangle), au milieu s'il y a deux échappements. Comme il est illustré par la figure suivante, les orifices sont repérés par des lettres en hydraulique et par des chiffres en pneumatique.



**Figure 4.18.** Exemple de représentation et symbolisation des positions repos et activation (distributeur 3/2).

Principaux distributeurs et principaux dispositifs de pilotage		
symboles en pneumatique	symboles en hydraulique	symboles de pilotages
<p>2/2 N.F.</p>	<p>2/2 N.F.</p>	
<p>2/2 N.O.</p>	<p>2/2 N.O.</p>	
<p>3/2 N.F.</p>	<p>3/2 N.F.</p>	
<p>3/2 N.O.</p>	<p>3/2 N.O.</p>	
<p>4/2</p>	<p>4/3</p>	
<p>5/2</p>	<p>centre fermé</p>	
<p>5/3</p>	<p>centre ouvert en H</p>	
<p>5/3</p>	<p>centre tandem</p>	
<p>5/3</p>	<p>centre partiellement ouvert</p>	
<p>N.F. : normalement fermé N.O. : normalement ouvert</p>	<p>● 1 (air)   ● P (huile)</p>	

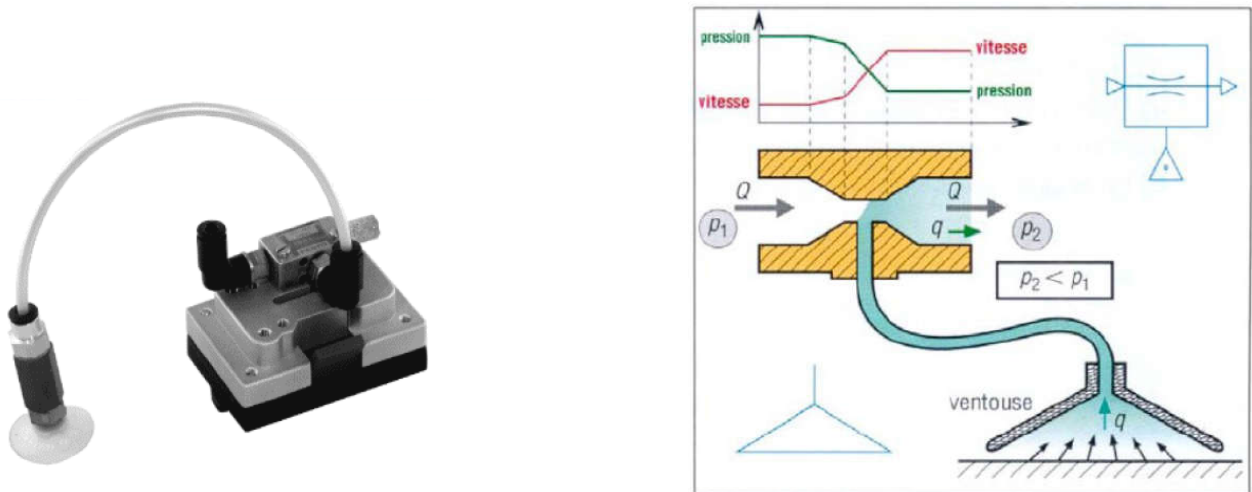
**Tableau.4.2.** Normalisation des principaux distributeurs et des dispositifs de pilotages correspondants.

**4.7. Le générateur de vide ou venturi**

La technique de préhension par le vide se généralise de plus en plus dans le domaine de la manutention de pièces. Son principe repose sur le phénomène d'aspiration, elle met en œuvre une des deux techniques au-dessous pour générer une dépression :

- Pompe à vide
- L'éjecteur pneumatique appelé fréquemment Venturi

Pour des raisons de facilité de mise en oeuvre, la technique de vide basée sur le principe de l'effet venturi est la plus couramment utilisée. Nous pouvons résumer son principe comme suit : le passage de l'air comprimé dans l'éjecteur augmente la vitesse de l'air et diminue sa pression. Il se crée alors une dépression qui permet d'aspirer l'air de la ventouse ce qui donne naissance à un effort qui permet de soulever des charges.



**Figure 4.19.** Principe du venturi.

La capacité maximale de levage d'une ventouse est calculé par :

$$C_{\max} = 1.03 \times \Delta P \times S / cs \tag{3.6}$$

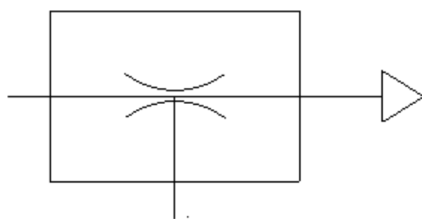
Où :  $C_{\max}$  : la charge maximale que peut soulever la ventouse (Kg) ;

$\Delta P$  : La dépression (bar) ;

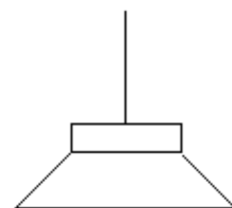
$S$  : La surface utile de la ventouse (cm<sup>2</sup>) ;

$cs$  : coefficient de sécurité (= 2 si charge horizontal || = 6 si charge vertical).

**Symbole**



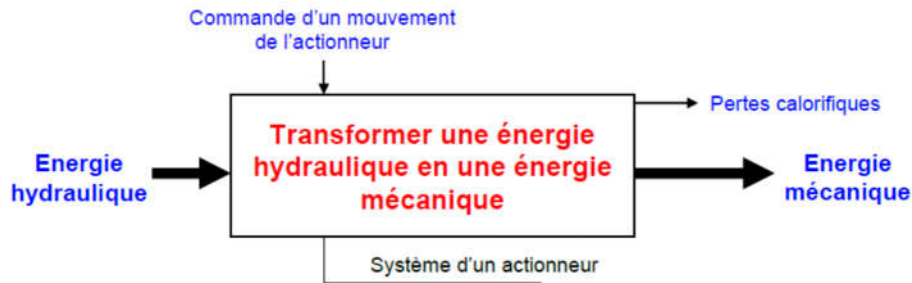
Ejecteur à effet VENTURI



Ventouse

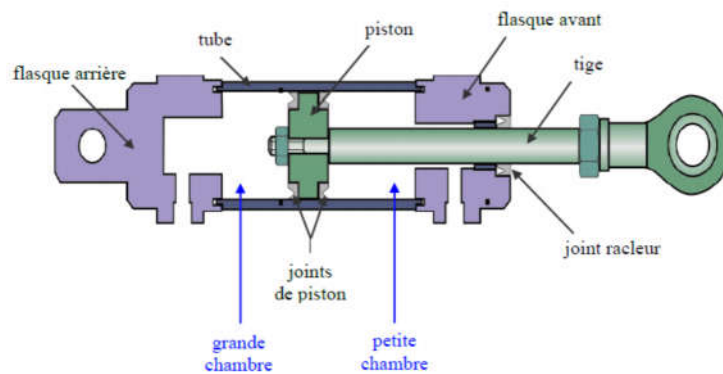
#### 4.8. Actionneur hydraulique

Le principe de fonctionnement d'un actionneur hydraulique repose sur la transformation de l'énergie hydraulique en une énergie mécanique.



**Figure 4.20.** Principe de fonctionnement d'un actionneur hydraulique.

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

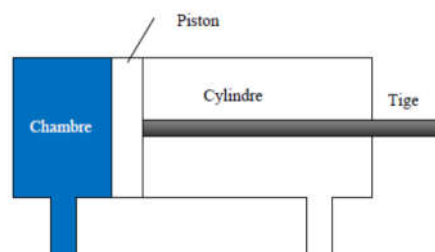


**Figure 4.21.** Constitution d'un actionneur hydraulique

##### 4.8.1. Vérin hydraulique

Un vérin hydraulique est formé d'un cylindre dans lequel un fluide peut mettre en mouvement un piston solidaire d'une tige. Le piston sépare le cylindre en deux chambres : arrière et avant.

Dans le cas d'un vérin double effet, la force exercée est utilisée en sortie et en entrée de tige (pour faire sortir et rentrer la tige).

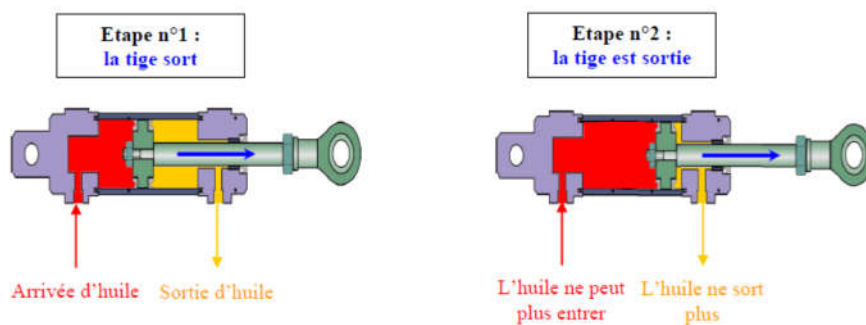


**Figure 4.22.** Vérin hydraulique.

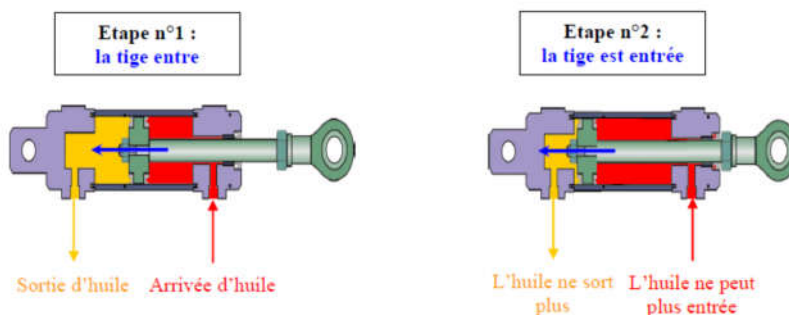
#### 4.8.2. Fonctionnement du vérin double effet.

Pour ce type, le vérin est capable de pousser (la tige sort), de tirer (la tige entre) ou de garder sa position (bloquée).

Pour commander la sortie de la tige, de l'huile est envoyée dans la grande chambre du vérin (chambre arrière) afin de pousser sur le piston.



Pour commander l'entrée de la tige, de l'huile est envoyée dans la petite chambre du vérin afin de pousser sur le piston.



Expression de la vitesse de déplacement de la tige :

$$v = \frac{Q}{S} \quad (3.7)$$

$S$  : surface du piston (en  $m^2$ ) ;

$v$  : vitesse de l'ensemble tige-piston (en  $m/s$ ) ;

$Q$  : débit reçu par le vérin (en  $m^3/s$ ) ;

Dans le cas d'un vérin double effet, la vitesse  $\hat{v}$  de rentrée de tige est :

$$\hat{v} = \frac{Q}{s - \hat{s}} \quad (3.8)$$

où  $\hat{s}$  désigne la section de la tige.

**Remarque :** La vitesse est liée au débit, la force est liée à la pression ( $F = pS$ ).

### A. Puissance utile

Soit  $d$  la distance de déplacement de la tige parcourue pendant un temps  $t$ , alors le travail  $W$  effectué par la force au cours du déplacement est donné par :  $W = F \times d$ .

La puissance utile  $P_u$  du vérin est obtenue en faisant :

$$P_u = \frac{W}{t} = \frac{F \times d}{t} = F \frac{d}{t} = F \times v \quad (3.9)$$

### B. Puissance absorbée

En négligeant les pertes :  $P_a = P_u$

avec  $F = pS$ , on obtient  $P_a = p \times S \times v$  et comme  $v = \frac{Q}{S}$ , alors  $P_a = p \times S \times \frac{Q}{S}$ , ce qui donne

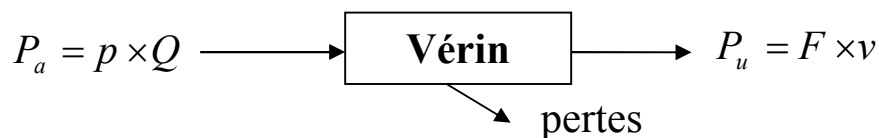
$$P_a = p \times Q.$$

Par conséquent, un fluide hydraulique de débit  $Q$  et de pression  $p$  transporte une puissance hydraulique :  $P_a = p \times Q$ .

### C. Rendement

Les différentes pertes dans un vérin hydraulique sont dues aux frottements ou aux fuites.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{F \times v}{p \times Q} \quad (3.10)$$



**Figure 4.23.** Rendement d'un vérin hydraulique .