

# CI 1 : ANALYSE DES SYSTÈMES PLURITECHNIQUES ET MULTIPHYSIQUES – INITIATION À L'INGÉnierIE SYSTÈME

## CHAPITRE 12 – ANALYSE DES SYSTÈMES HYDRAULIQUES ET PNEUMATIQUES



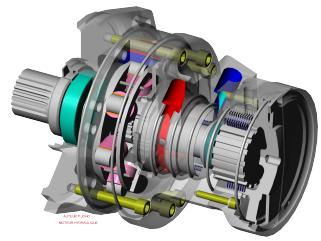
*ExoHand – Festo [1]*



*Pelle hydraulique –  
Caterpillar [2]*



*Simulateur de vol [3]*



*Moteur hydraulique [4]*

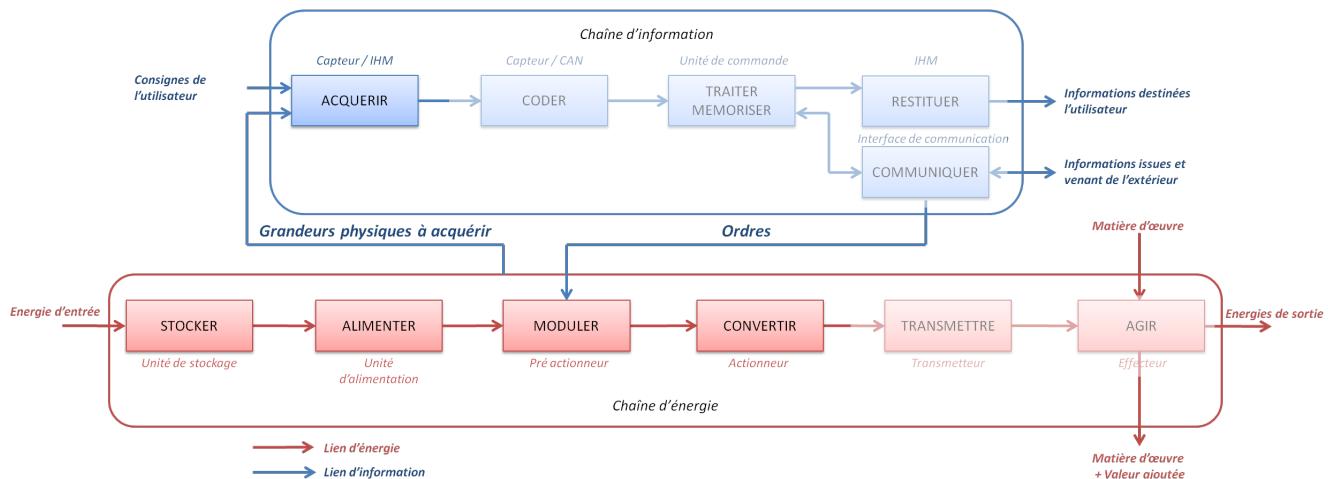
Savoir

Communiquer :

- Com-C2-S1 : Extraire les informations utiles d'un dossier technique ;
- Com-C2-S2 : Effectuer une synthèse des informations disponibles dans un dossier technique ;
- Com-C2-S3 : Vérifier la nature des informations ;
- Com-C2-S4 : Trier les informations selon des critères ;
- Com-C2-S6 : Lire et décoder un schéma.

1	L'énergie pneumatique et hydraulique dans la chaîne fonctionnelle d'un système .....	2
1.1	Définitions .....	2
1.2	Comparatif .....	3
2	Stockage et alimentation en énergie .....	3
2.1	Systèmes de stockage .....	4
2.2	Systèmes de conditionnement .....	4
2.3	Systèmes de sécurité .....	4
2.4	Exemples .....	5
3	Convertisseurs d'énergie .....	5
3.1	Les vérins .....	5
3.2	Moteurs et pompes .....	8
4	Distributeurs ( <i>modulateurs</i> ) d'énergie .....	8
4.1	Présentation .....	8
4.2	Désignation des distributeurs .....	9
5	Actionneurs pneumatiques .....	11
5.1	Ventouses .....	11
6	Systèmes de mesure .....	11
7	Récapitulatifs .....	12

# 1 L'énergie pneumatique et hydraulique dans la chaîne fonctionnelle d'un système



## 1.1 Définitions

### Définition

#### Énergie pneumatique

Le fluide utilisé est de l'air comprimé.

### Définition

#### Énergie hydraulique

Le fluide utilisé est une huile hydraulique minérale ou difficilement inflammable (aqueux ou non).

### Résultat

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \quad 10^6 \text{ Pa} = 1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

L'unité de pression est le Pascal, noté  $P$ .

### Résultat

**Puissance hydraulique et pneumatique** La puissance en Watt s'exprime par :

$$\mathcal{P} = qp$$

## 1.2 Comparatif

	Avantage	Inconvénients
Énergie pneumatique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production : air disponible partout et en quantité illimitée.</li> <li>- Transport ais茅 dans des conduites bon march茅.</li> <li>- Mati猫re d'oeuvre propre.</li> <li>- Composants peu coûteux.</li> <li>- Possibilit茅 de vitesses et de cadences 茚lev茅es.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Source d'énergie exigeant un excellent conditionnement (filtration). Aucune impureté, aucune poussière, etc., ne doit pénétrer dans le système.</li> <li>- Difficulté d'obtenir des vitesses régulières du fait de la compressibilité de l'air.</li> <li>- Forces développées restent relativement faibles (pression d'utilisation de 3 à 10 bars).</li> </ul>
Énergie hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmission de forces et de couples élevés.</li> <li>- Une grande souplesse d'utilisation dans de nombreux domaines.</li> <li>- Une très bonne régulation de la vitesse sur les appareils moteurs, du fait de l'incompressibilité du fluide.</li> <li>- Le démarrage en charge des moteurs hydrauliques et des vérins.</li> <li>- Une augmentation de la longévité des composants, contrairement aux systèmes pneumatiques, où il est nécessaire d'utiliser un lubrificateur après la filtration de l'air. Les systèmes hydrauliques, du fait de la présence de l'huile, possèdent un excellent moyen de lubrification.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risques d'accident dus à l'utilisation de pressions élevées dans les systèmes <math>50 &lt; P &lt; 700</math> bars.</li> <li>- Fuites qui entraînent une diminution du rendement.</li> <li>- Pertes de charge dues à la circulation de l'huile dans les tuyauteries.</li> <li>- Risques d'incendie dus à l'utilisation d'une huile hydraulique minérale inflammable.</li> <li>- Matériel coûteux dont la maintenance est onéreuse du fait du prix de revient élevé des composants, du remplacement de l'huile hydraulique et des filtres.</li> </ul>

Remarque

Les principaux inconvénients de l'air sont résultent de ses propriétés physiques :

- sa compressibilité ;
- son échauffement lors de sa compression et son refroidissement en phase de détente ;
- sa masse volumique variable en fonction de la température.

En première approximation, ces paramètres sont liés par l'équation des gaz parfaits :  $\frac{pV}{T} = \text{cte}$  en notant  $p$  la pression du gaz,  $V$  son volume et  $T$  sa température.

## 2 Stockage et alimentation en énergie

Pour obtenir de l'énergie pneumatique, on utilise un compresseur. L'énergie hydraulique est obtenue grâce à des pompes. Des exemples de pompes seront données ultérieurement. Les pompes ou les compresseurs sont actionnés par un moteur électrique ou thermique. Dans les systèmes pneumatiques, la circulation d'air se fait généralement en circuit ouvert. Dans le cas des systèmes hydrauliques, le fluide est en circuit fermé. Cela impose des conditions sur les constituants des réseaux.



Symboles d'un moteur



Symboles d'une pompe à deux sens de rotation et deux sens de flux



Symboles d'un groupe moteur + pompe

## 2.1 Systèmes de stockage

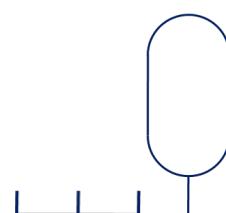
Dans le cas de l'huile, elle peut être stockée à pression atmosphérique dans un réservoir (appelé aussi «bâche») ou dans un réservoir haute pression. Les compresseurs pneumatiques sont souvent reliés à une cuve qui garde l'air sous pression.



Compresseur 100L – 10 bars [5]



Réservoir de 50 à 25 000 L [6]

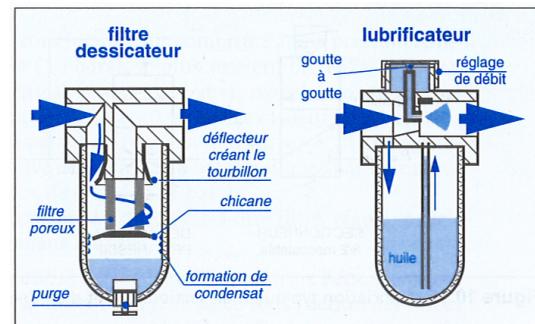


Symboles du réservoir et de l'accumulateur

## 2.2 Systèmes 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 d'un refroidisseur-assécheur permettant de réduire le taux d'humidité.

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



Symboles d'un filtre



Symboles d'un déshydrateur

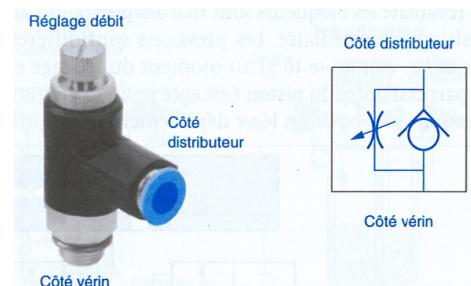


Symboles d'un lubrificateur

## 2.3 Systèmes de sécurité

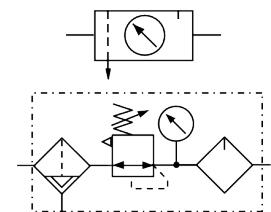
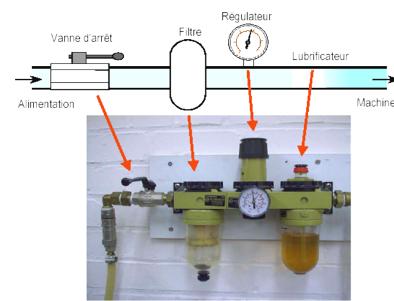
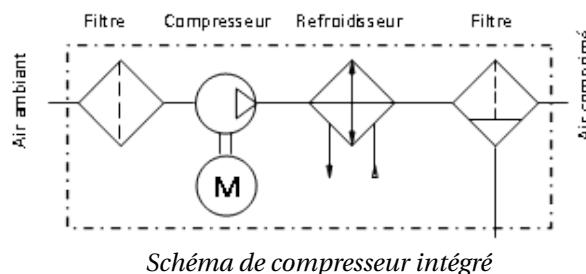
Afin de maîtriser la pression dans les conduites, on peut avoir recours à des manomètres afin d'avoir une informations sur la pression. Les régulateurs de pression permettent quant à eux d'évacuer l'air du système lorsque la pression est trop grande. Les limiteurs de débit permettent de maîtriser le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

Les systèmes de clapet anti-retour permettent d'imposer le sens de circulation d'un fluide.



Régulateur de débit

## 2.4 Exemples



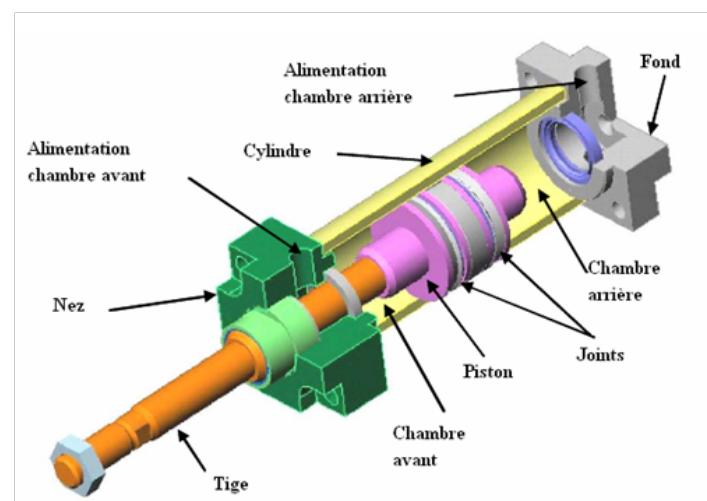
*Unité Filtre – mano-Régulateur – Lubrificateur*

## 3 Convertisseurs d'énergie

### 3.1 Les vérins

#### 3.1.1 Constituants d'un vérin

Un vérin est un actionneur utilisant de l'énergie pneumatique pour produire une énergie mécanique lors d'un déplacement linéaire ou rotatif limité à sa course. Le vérin permet de convertir de l'énergie pneumatique (ou hydraulique) en énergie mécanique.



Dans les deux cas le produit des deux valeurs donne une puissance, la puissance  $P \cdot Q$  pneumatique étant convertie en puissance  $F \cdot V$  mécanique. Il est à noter que le rendement de ces actionneurs est mauvais ( $\eta = 0,5$  environ) : une grande partie de l'énergie pneumatique est perdue sous forme d'énergie calorifique et lors de la mise à l'échappement de l'air comprimé. En prenant en compte le rendement du compresseur ( $\eta = 0,4$ ), on obtient un rendement global très faible pour la chaîne d'action pneumatique ( $\eta = 0,2$ ).

### 3.1.2 Fonctionnement d'un vérin pneumatique

Considérons le vérin représenté par un distributeur à deux positions. On note  $P_a$ , la pression dans la chambre coté admission,  $P_e$ , la pression dans la chambre coté échappement (parfois appelée "contre pression d'échappement") et  $P_u$ , la pression d'utilisation fournie par le secteur pneumatique.

Au moment précis où le distributeur vient de commuter sous l'action de la commande  $v+$ , la chambre arrière est brusquement reliée à la pression d'utilisation et simultanément la chambre avant est mise à la pression atmosphérique.

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

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

La pression  $P_a$  augmente progressivement pendant que la pression  $P_e$  diminue. Pendant cette phase, de courte durée, le piston est immobile.

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

Dès que la différence des pressions  $P_a - P_e$  est suffisante pour vaincre les efforts résistants, le piston se déplace. Pendant cette phase, la pression diminue dans la chambre à l'admission, car le débit d'air ne peut pas compenser l'augmentation du volume de la chambre, et dans la chambre d'échappement pour les raisons inverses. La vitesse du vérin augmente.

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

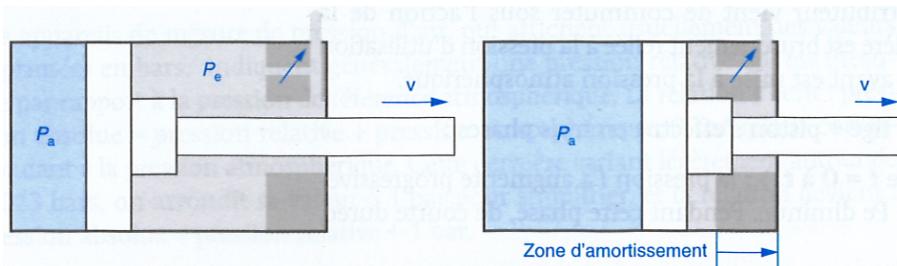
Lorsque le piston arrive en butée avant du vérin il se produit un arrêt brutal, la vitesse chute quasi instantanément. Les pressions s'équilibrivent assez rapidement pour atteindre la pression d'utilisation dans la chambre à l'admission et la pression atmosphérique dans la chambre à l'échappement.

### 3.1.2.1 Système d'amortissement intégré

Ce qui précède permet de constater que, dans le cas où le vérin travaille sur la totalité de sa course, un choc important a lieu en fin de course. En utilisation l'ensemble des éléments mobiles liés à sa tige. Pour ce faire les vérins sont dotés de dispositifs d'amortissement de deux types :

- amortissement élastique intégré, il s'agit de bagues élastomères qui ne peuvent absorber qu'une énergie faible ;
- amortissement pneumatique intégré, ces derniers, plus efficaces, sont réglables par vis.

Le principe d'un amortisseur intégré est le suivant : tant que le piston est éloigné de la zone d'amortissement, l'échappement s'effectue normalement. Dès que le piston rentre dans la zone d'amortissement, il vient obturer le cylindre d'échappement : l'air doit alors passer par la restriction réglable ce qui augmente la contre pression  $P_e$  et diminue la vitesse.



### 3.1.2.2 Efforts développés par un vérin

Pour les raisons déjà évoquées de complexité de modélisation du comportement de l'air, les constructeurs ne fournissent pas de courbes caractéristiques de fonctionnement pour ce type d'actionneur, contrairement aux moteurs électriques ou aux vérins hydrauliques. Afin de pouvoir mener des calculs, on introduit les hypothèses simplificatrices suivantes.

### 3.1.2.3 Effort statique (ou théorique)

Il correspond à l'effort développé par le vérin en butée. En considérant que la liaison entre cylindre et piston + tige est parfaite, que la pression motrice  $P_a$  est constante et égale à la pression d'utilisation  $P_a = P_u = P$  et que la contre pression d'échappement  $P_e$  est nulle, l'effort statique développé par un vérin est :

$$F_s = P \cdot S_u$$

On note  $P$  la pression d'utilisation,  $S_u$ , surface utile du piston. Dans le cas des vérins à tige, l'effort statique en rentrée  $F_{sr}$  est différent de celui en sortie  $F_{ss}$ , les surfaces utiles étant différentes.

En posant  $D$  le diamètre du piston et  $d$  le diamètre de la tige, on obtient :

$$F_{ss} = P \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{et} \quad F_{sr} = P \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}$$

### 3.1.3 Vérin simple effet

Ce vérin ne peut développer un effort que dans un seul sens. La course de rentrée s'effectue grâce à un ressort de rappel incorporé entre le piston et le flasque avant. Il ne possède qu'une seule entrée d'air.



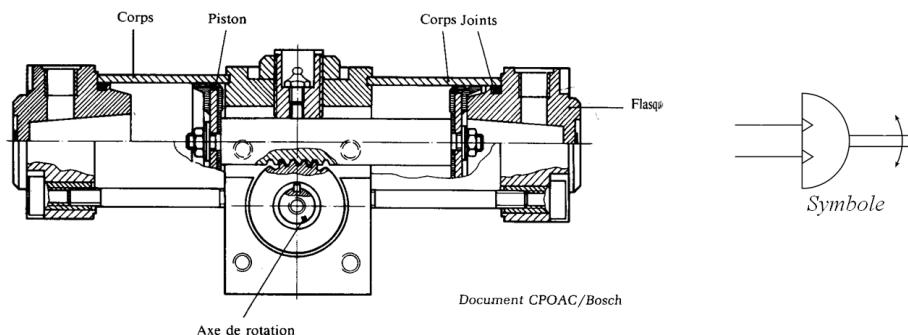
### 3.1.4 Vérin double effets

Ce type de vérin peut fournir un travail en tirant et en poussant.



### 3.1.5 Vérin rotatif

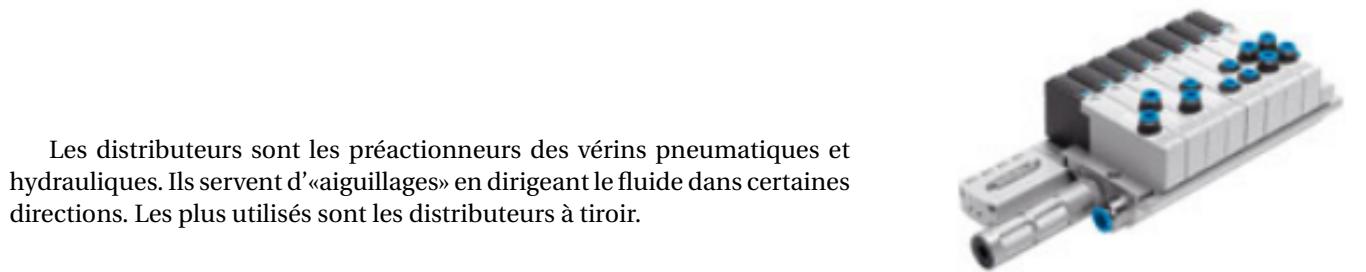
Le mouvement de translation d'un ensemble tige / piston est transformé en rotation.



### 3.2 Moteurs et pompes

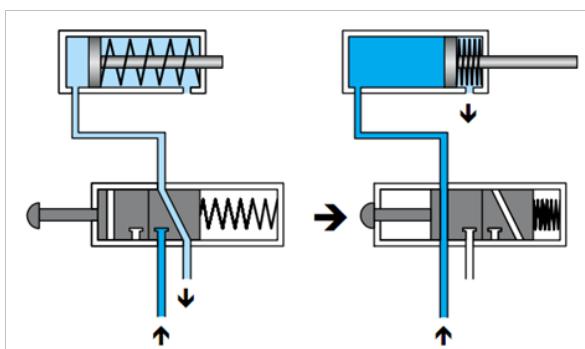
## 4 Distributeurs (*modulateurs*) d'énergie

### 4.1 Présentation

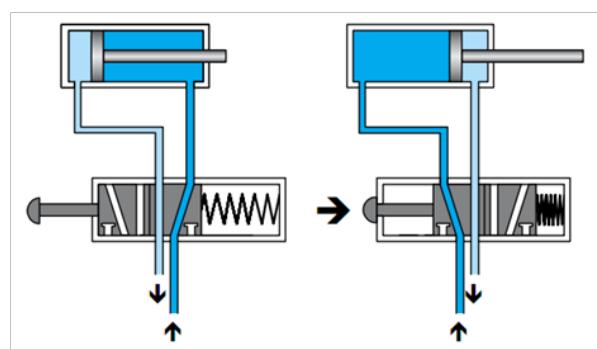


Les distributeurs sont les préactionneurs des vérins pneumatiques et hydrauliques. Ils servent d'«aiguillages» en dirigeant le fluide dans certaines directions. Les plus utilisés sont les distributeurs à tiroir.

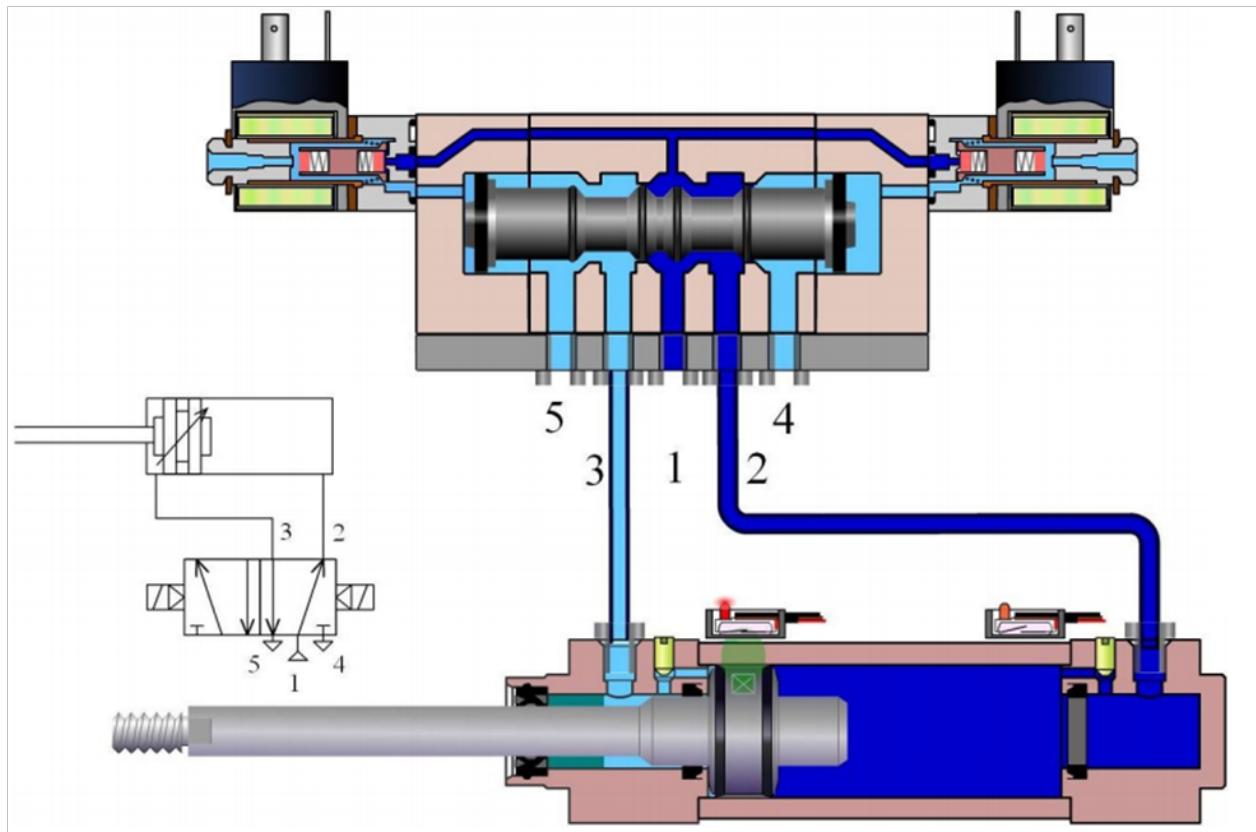
Vérin double effet et distributeur 5/2 monostable à commande manuelle par bouton



Vérin simple effet et distributeur 3/2 monostable NF à commande manuelle par bouton



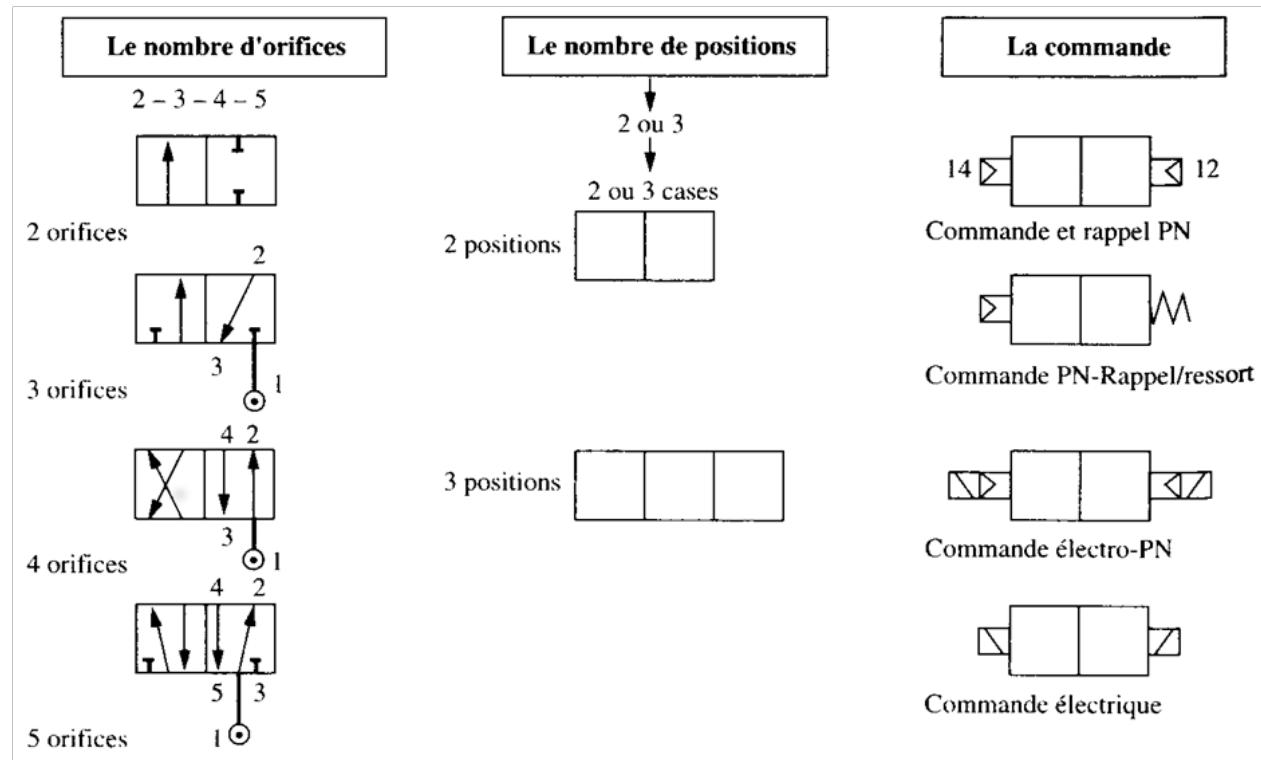
Vérin double effet et distributeur 5/2 monostable à commande manuelle par bouton



Vérin double effet à amortissement réglable et distributeur 5/2 bistable à commande électropneumatique

## 4.2 Désignation des distributeurs

Lors de l'élaboration des schémas, il n'est pas possible de représenter le distributeur, ainsi que les autres composants, sous leurs formes commerciales. De ce fait, l'utilisation de symboles normalisés simplifie la lecture et la compréhension des systèmes. Cette représentation utilise la symbolisation par cases. Un distributeur se représente sur les côtés droit et/ou gauche (comme dans la réalité) par des pilotages. Ils permettent au tiroir de se déplacer afin de mettre en communication les différents orifices.



TYPE		SCHÉMA	UTILISATION
2/2	Monostable		Pré-actionneur pour : – commander un actionneur à jet d'air (soufflette, pulvérisateur) ; – commander un moteur à un sens de marche ; – bloquer une circulation d'air en absence de signal de commande.
3/2	Monostable NF		Pré-actionneur pour : – piloter un vérin simple effet ; – alimenter un venturi associé généralement à une ventouse.
	Bistable		
4/2	Monostable		Pré-actionneur pour : – piloter un vérin double effet ; – piloter tout actionneur à deux sens de marche.
	Bistable		
5/2	Monostable		Pré-actionneur pour : – piloter un vérin double effet ; – piloter tout actionneur à deux sens de marche.
	Bistable		
5/2	Monostable Centre ouvert		Ce type de distributeur permet la mise à l'atmosphère des deux chambres du vérin en l'absence de commande : – les masses en mouvement du vérin s'arrêtent dès que toutes les inerties sont vaincues ; – les masses mobiles du vérin sont déplaçables à la main.
	Monostable Centre fermé		Ce type de distributeur permet le blocage des deux chambres du vérin en l'absence de commande : – les masses en mouvement du vérin s'arrêtent immédiatement ; – les masses mobiles du vérin restent bloquées.

## 5 Actionneurs pneumatiques

### 5.1 Ventouses

## 6 Systèmes de mesure

## 7 Récapitulatifs

### SYMBOLES HYDRAULIQUES ET PNEUMATIQUES

Actionneurs		Transmission d'énergie et accessoires			
		Source de pression	M	Moteur électrique	
	Pompe cyl. fixe a) 1 sens b) 2 sens		Vérin double effet		
	Moteur hydraulique		Vérin simple effet		..... Drainage
	Compresseur		Vérin avec freinage fin de course		Ligne principale
	Vérin télescopique		Multiplicateur de pression		Tuyau flexible
Distributeurs					
	2/2		3/3		Réfrigérateur
	3/2		4/3		Accumulateur
	4/2		4/3		Manomètre
	5/2				Réservoir
Dispositifs de commande des distributeurs					
	Contrôle pression, débit, direction		Général		Electro-pneumatique
	Limitateur de pression		-		Par ressort
	Régulateur de débit		Direct par pression		Manuelle
	Clapet anti-retour		Indirecte par distrib pilote		Par levier
			Electricité 1 enroulem.		Manuelle par poussoir

## Références

[1] <http://www.festo.com>.

- [2] Caterpillar – Pelles hydrauliques 374 D <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C633539>.
- [3] <http://www.defense.gouv.fr/>.
- [4] <http://joho.p.free.fr/>.
- [5] <http://www.espaceoutillage.com/>.
- [6] <http://www.directindustry.fr/>.
- [7] *Patrick Beynet*, Fonctions du produit – Technologie pneumatique – hydraulique pour les systèmes automatisés de production. Lycée Rouvière Toulon.
- [8] *J. Perrin, F. Binet, J.-J. Dumery, C. Merlaud, J.-P. Trichard*, Automatique et Informatique Industrielle – Bases théoriques, méthodologiques et techniques, Éditions Nathan Technique, 2004.