

Chapitre 3 : Systèmes pneumatiques et hydrauliques

I. Introduction

Depuis plusieurs années, le contrôle des systèmes pneumatiques et hydrauliques s'est largement amélioré. Les progrès technologiques, soutenus par l'intégration de meilleurs composants, de meilleurs outils, ainsi que l'introduction de composants électroniques ont contribué à améliorer ces systèmes.

Les applications de la pneumatique et de l'hydraulique sont actuellement de plus en plus nombreuses et leurs dispositifs sont présents presque partout. Le domaine couvert est vaste, tous les secteurs d'activité sont concernés : automobile, aéronautique, aérospatiale, marine, génie civil, industries agroalimentaire, pétrolière, chimique pharmaceutique etc.

Dans ce chapitre, on présente les grandes notions rencontrées en pneumatique et en hydraulique. Il est également décrit les différents composants utilisés parmi lesquelles, on retrouve les distributeurs et les actionneurs.

II. Système automatisé pneumatique et hydraulique

Un système asservi impliquant des systèmes pneumatiques ou hydrauliques peut être décrit par la figure 1.

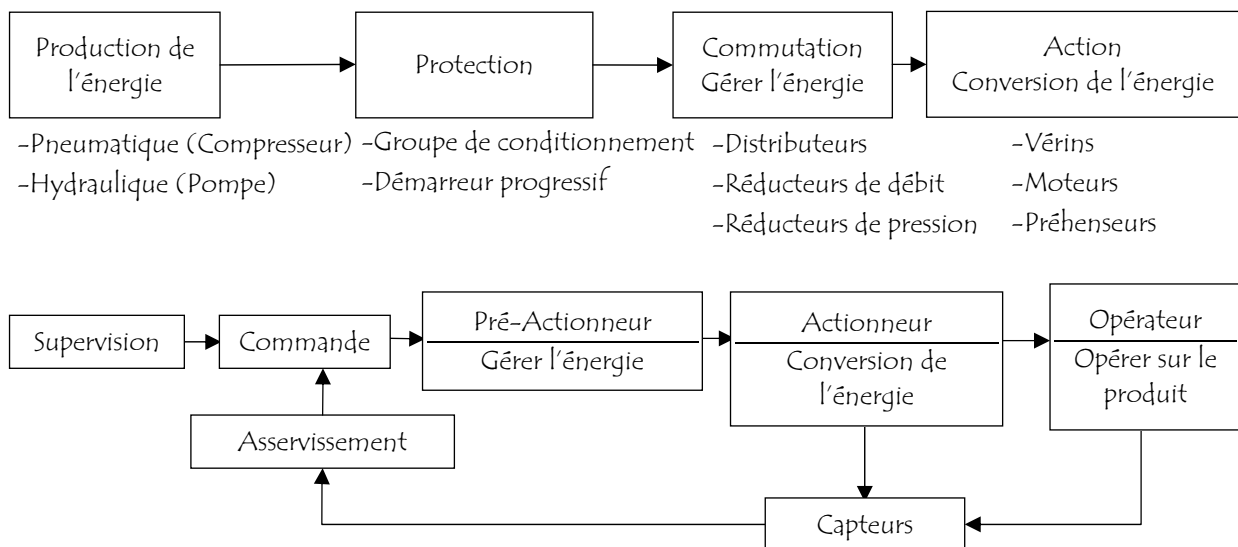


Figure 1 : Schéma général d'un système automatisé pneumatique et hydraulique

II.1 La pneumatique

La pneumatique est un domaine technologique qui utilise un gaz sous pression pour créer un mouvement mécanique. Le plus souvent, ce gaz est simplement de l'air, qui peut être sec ou lubrifié. Les systèmes pneumatiques utilisent des compresseurs d'air pour réduire le volume d'air ce qui augmente sa pression. Le flux d'air en pression circulant dans les conduites pneumatiques est contrôlé par l'intermédiaire de distributeurs, vannes, clapets jusqu'aux actionneurs, vérins et moteurs. Il est également important de filtrer et contrôler l'air régulièrement pour garantir sa qualité ce qui améliore aussi la fiabilité et efficacité du système pneumatique.

II.2 L'hydraulique

Contrairement à celui qui vient à l'esprit, que l'eau est généralement utilisée comme fluide hydraulique, alors qu'en réalité un fluide hydraulique est le plus souvent un type d'huile spécifique. Le concept de base

de l'hydraulique s'appuie sur le fait que si une force est appliquée à un fluide à un point donné du système, ce fluide transmettra cette force exactement et l'appliquera à tout autre point du système, puisque par nature le fluide est incompressible.

III. Domaine d'applications

Les technologies pneumatique et hydraulique sont utiles en manutention, assemblage, robotique, machines-outils etc. L'emploi de l'énergie pneumatique permet de réaliser des automatismes avec des composants simples et robustes, notamment dans les milieux hostiles (hautes températures, milieux déflagrants, milieux humides).

On trouve les systèmes pneumatiques dans :

- L'industrie chimique, pétrochimique, médicale et alimentaire.
- Machines-outils.
- Les engins mobiles (Bateaux, Voitures, Camions, Chargeurs...)
- La manutention en général tel que serrage, transfert,...
- Dans divers domaines technologiques tel que le remplissage, emballage, ouverture et fermeture de portes...

On trouve les systèmes hydrauliques dans :

- Les chaînes d'assemblage automobile,
- Les engins de terrassement et de construction, les grues,
- Les machines-outils,
- Les simulateurs de vol, salles de spectacles,

IV. La Notion de pression

La loi de pascal concerne tous les fluides (gaz ou liquide). Son principe est : "*Toute pression exercée sur un fluide renfermé dans un vase clos est transmise intégralement à tous les points du fluide et des parois*". De ce fait, l'air emprisonné dans un réservoir à une pression donnée transmet cette pression à tous les points des conduits et des composants du système pneumatique.

Si par exemple un vérin dans un système pneumatique doit soulever une charge. La pression P (Pa) exercée sur la surface S (m^2) du piston crée une force F (N) qui est le résultat du produit de la pression du système par la surface du piston. On peut donc écrire la relation suivante :

$$F = P \times S(1)$$

L'unité de mesure de la pression dans système MKSA est le Pascal. Le Pascal est une unité qui n'est pas adaptée au niveau des pressions importantes observées dans des installations industrielles et spécialement en hydraulique. Dans la pratique, la pression est très souvent exprimée en bar. On rencontre parfois l'unité anglo-saxonne le *psi* (Pound per square Inch).

- 1 Pascal = 1 Newton/ m^2
- 1 bar = 105 Pascal
- 1 psi = 0.069 bar

Les systèmes industriels pneumatiques et hydrauliques ont pour objectif de produire des mouvements de rotation ou de translation, en utilisant des actionneurs (vérins ou moteurs). De ce fait, les paramètres en sortie sont définies par :

- Un couple de sortie C_{sortie} et une vitesse de rotation ω sortie pour un moteur ou un vérin rotatif.
- Un effort de sortie F_{sortie} et une vitesse linéaire V_{sortie} pour un vérin linéaire.

Ces paramètres dépendent essentiellement de :

- la pression P en ce qui concerne les caractéristiques d'effort ou de couple,
- le débit Q pour les vitesses des actionneurs.

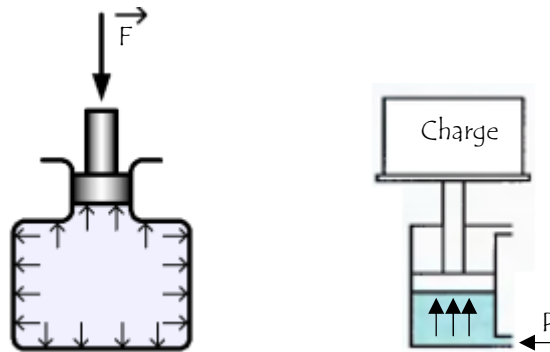


Figure 2 : Principe de Pascal (transmission de pression)

1. La maîtrise du paramètre pression P en tout point du circuit est effectuée à l'aide d'organes tels que :
 - Limiteurs de pression,
 - Réducteurs régulateurs de pression,
 - Valves de séquence.
2. Quant au paramètre débit Q , il peut être contrôlé en tout point du circuit par des :
 - Clapets anti-retour,
 - Limiteurs et régulateurs de débit,
 - Distributeurs.

L'ordre de grandeur des pressions d'utilisation dépend du domaine d'application :

- Applications pneumatiques : en général $P < 7$ bars,
- Machines-outils : $P < 100$ bars,
- Machines agricoles : $P < 200$ bars,
- Vérins hydrauliques standard : $P < 250$ bars.
- Aéronautique : $P < 300$ bars,
- Engins de Génie Civils : $P < 350$ bars,
- Mise en forme par déformation hydrostatique : $P < 20\ 000$ bars.

V. Différence entre la pneumatique et de l'hydraulique

Les systèmes pneumatiques et hydrauliques impliquent le même principe de base pour produire un mouvement mécanique et utilisent les mêmes types d'actionneurs, des vérins et des moteurs pour produire une force linéaire ou un mouvement rotatif. Le plus souvent, on pense que l'hydraulique est une forme liquide de la pneumatique, mais la réalité est plus compliquée que cela. Cela est dû aux propriétés des fluides qui sont très différentes de celles des gaz.

On peut résumer les grands points de différence entre les deux technologies en :

Fluide utilisé : La différence fondamentale entre les deux techniques réside dans le fluide impliqué pour la transmettre la pression d'un point à un autre. La pneumatique utilise généralement de l'air tant que l'hydraulique utilise de l'huile.

Nature du fluide : La pneumatique utilise de l'air qui est par nature compressible par contre, en hydraulique on utilise de l'huile qui n'est pas compressible.

Force : L'hydraulique peut développer des efforts importants supérieurs à 50 000 N à cause des fortes pressions impliquées. En pneumatique la plage de force est nettement inférieure à 50 000 N.

Vitesse : La vitesse en pneumatique est beaucoup plus rapide qu'en hydraulique. Une vitesse de 15 à 50 m/s en pneumatique contre 3m/s pour l'hydraulique. A cause de l'incompressibilité de l'huile, la vitesse est plus précises et régulière en hydraulique en plus du positionnement intermédiaire et précis des vérins ce qui permet des applications plus sophistiquées en régulation et en asservissement.

Pression : La pression en pneumatique généralement inférieur à 8 bars, tant dis qu'elle est rarement inférieure à 50 bars en hydraulique. Les systèmes hydrauliques sont capables de manipulés des pressions élevées, de 700 bars pour les vérins de manutention jusqu'à 20 000 bars pour la mise en forme par déformation hydrostatique.

Coût : Le coût constitue une autre différence importante. Les systèmes pneumatiques ont tendance à être considérablement moins chers que les systèmes hydrauliques. La mise en œuvre des installations pneumatique est relativement simple (tuyaux souple, raccords rapides, ..) mais elle est moins simple pour installations hydrauliques à cause de la gestion de l'étanchéité, retour au réservoir etc. Même si les actions et applications ont des points communs, chacune de ces technologies répond à des exigences, des spécialités différentes. L'une est généralement mieux adaptée à certaines tâches que l'autre et réciproquement. Le rendement des systèmes pneumatiques est généralement de 0.3 à 0.5 et de 0.7 à 0.9 pour les systèmes hydrauliques.

Une autre différence concerne la circulation du fluide, dans les systèmes pneumatiques, la circulation d'air se fait généralement en circuit ouvert par contre dans le cas des systèmes hydrauliques, le fluide est en circuit fermé.

VI. Les actionneurs pneumatique et hydraulique contre les actionneurs électriques

Malgré l'efficacité des actionneurs électriques, les actionneurs pneumatiques peuvent être préférés aux actionneurs électriques dans les cas suivants :

- Si les temps de réponse ne sont pas critiques (10 à 20 ms minimum)
- Pour des machines séquentielles simples.
- Dans les milieux hostiles (hautes températures, milieux déflagrants ou humides, etc...)
- Pour leur faible coût d'entretien.
- Une qualification minimale requise pour la maintenance.

En hydraulique, la plage de vitesse des moteurs est très grande. L'hydraulique apporte un net avantage par rapport à d'autres technologies avec les moteurs lents. En effet, ces derniers permettent de produire des couples très importants. De plus, et à cause de l'absence des éléments intermédiaires tels que les réducteurs de vitesse, l'inertie rapportée à leur arbre est faible et autorise des accélérations et des freinages rapides.

VII. Les composants utilisés en pneumatique et en hydraulique

Les composants utilisés en pneumatique et en hydraulique peuvent être subdivisés en :

- Les distributeurs (distributeur 2/2, 3/2, 4/2, 4/3, 5/2...),
- Les régulateurs (régulateur de débit et régulateur de vitesse),
- Les clapets anti-retour (clapet anti-retour, sélecteur de circuit, distributeur à double clapets),
- Les actionneurs (vérins, moteurs, oscillateurs).

VII.1 Distributeurs

Les distributeurs sont des dispositifs qui permettent d'orienter le fluide et aux directions désirées dans le but de commander le fonctionnement du système. On compte plusieurs types de distributeurs tels que :

- Distributeurs 2/2,
- Distributeurs 3/2,
- Distributeurs 4/2,
- Distributeurs 5/2,
- Distributeurs 4/3.
- Distributeurs 5/3.

VII.1.1 Principe de la symbolisation (Norme NF ISO 1219)

La normalisation de la symbolisation des composants pneumatiques et hydrauliques est assurée par plusieurs normes de l'AFNOR (NF ISO 1219). Elle est destinée à faciliter et renforcer la compréhension des schémas de circuits pour transmissions hydrauliques et pneumatiques. Elle spécifie les représentations des composants ainsi que leur fonction. Elle définit les éléments de base et les règles de formation des symboles ainsi que les principes d'utilisation de ces symboles dans les schémas de circuits et sur les composants.

Ces symboles sont destinés à tous types d'applications et d'industrie (automobile, usines, etc.). En ce qui concerne les symboles des distributeurs, la normalisation définie :

Dénomination : La dénomination du distributeur comprend 2 chiffres (X/Y). Le premier chiffre (X) indique le nombre d'orifices du distributeur (sans tenir compte des orifices de commande). Par contre, le deuxième chiffre (Y) représente le nombre de positions de commutation.

Symbole : Chaque symbole est composé de deux ou trois carrés juxtaposés qui correspondent au nombre de positions que peut prendre le distributeur. S'il existe une position intermédiaire, la case est délimitée par des traits pointillés. Chaque carré contient des lignes qui schématisent les canalisations internes entre les orifices et des flèches indiquant le sens de la circulation du fluide. Un trait transversal indique une canalisation fermée.

Position initiale : ou position de repos est celle dans laquelle se trouve le distributeur lorsqu'il n'est pas commandé. Les lignes de raccordement entre réseau et distributeur se schématisent toujours à la case symbolisant la position initiale. Cette dernière est placée à droite pour les distributeurs à deux positions et 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) et au milieu s'il y a deux échappements. Les orifices sont repérés par des lettres en hydraulique et par des chiffres en pneumatique.

Flèches : Pour chaque position, les voies sont figurées par des flèches indiquant 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.

Source de pression : Elle est indiquée par un cercle noirci en hydraulique et clair en pneumatique.

Échappement : il est symbolisé par un triangle noirci en hydraulique, clair en pneumatique.

La commande : Tout distributeur est muni d'un moyen de commande qui est dessiné, par convention, à la gauche du symbole et d'un moyen de rappel dessiné à la droite du symbole. Le moyen de commande constitue le mode d'actionnement et le moyen de rappel représente le mode de désactivation du distributeur. Le ressort est généralement le moyen de rappel le plus fréquemment utilisés. Les distributeurs peuvent être actionnés des deux côtés de différentes manières.

Orifices : Le nombre des orifices d'une position est égal pour toutes les positions. L'identification des orifices d'un distributeur pneumatique se fait par des lettres comme suit :

- Pression d'alimentation (Source d'énergie) : P
- Sortie ou utilisation (Travail) : A, B, C...
- Echappement (Evacuation de l'air libre) : R, S, T...

- Commande (Pilotage) : X, Y, Z...

Ou par nombre :

- 1 : orifice d'alimentation,
- 2 et 4 : orifice d'utilisation avec 2 sorties,
- 3 et 5 orifice d'échappement avec 2 orifices d'échappement.
- 12 et 14 : Commande (Pilotage)

La figure 2 représente le principe de symbolisation des distributeurs et la figure 3 un exemple de fonctionnement d'un distributeur 3/2.

Selon le type de commande, on distingue deux types de distributeurs :

Distributeurs Monostables : ils possèdent une seule position stable (position de repos). La commande du distributeur doit être activée durant tout le temps de son actionnement. Lorsqu'on relâche la commande, le distributeur reprend sa position de repos sous l'effet d'un ressort de rappel. Un distributeur à bouton-poussoir et un rappel par ressort représente un modèle typique (Figure 4).

Distributeurs Bistables : ils ont deux états stables. Ces distributeurs commutent à chaque actionnement momentané ou une impulsion de commande de courte durée d'un état stable à un autre état stable. Ces distributeurs se qualifient comme une mémoire, car ils ont la capacité de conserver leur position. Lorsqu'on relâche la commande, le distributeur ne revient pas à sa position initiale. Les distributeurs muni d'un pilotage pneumatique de chaque côté sont des distributeurs bistables.

Il est à noter que la technologie de construction du distributeur n'est pas indiquée sur son symbole car celui-ci concerne son fonctionnement seulement.

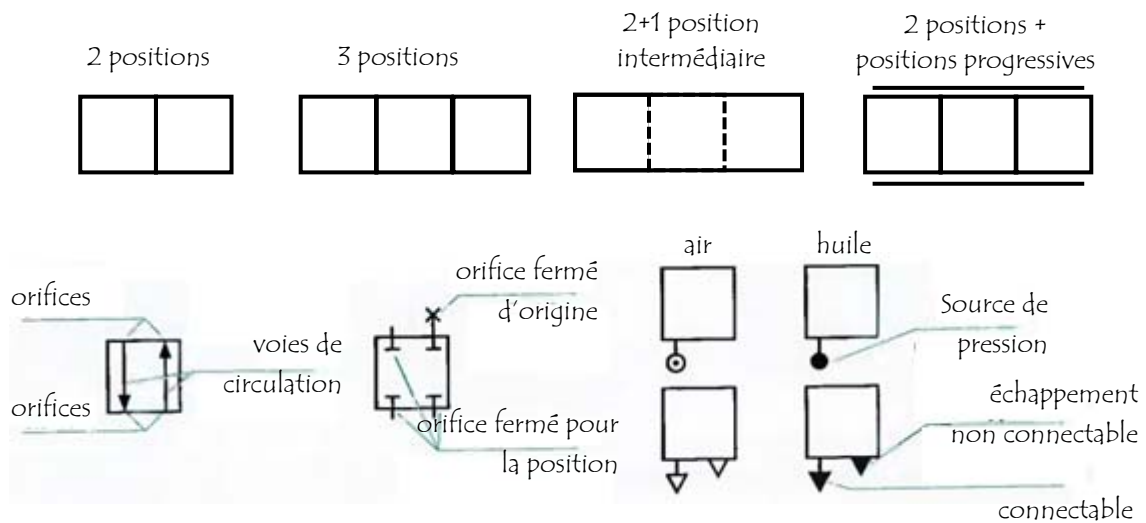


Figure 3 : Principe de symbolisation des distributeurs

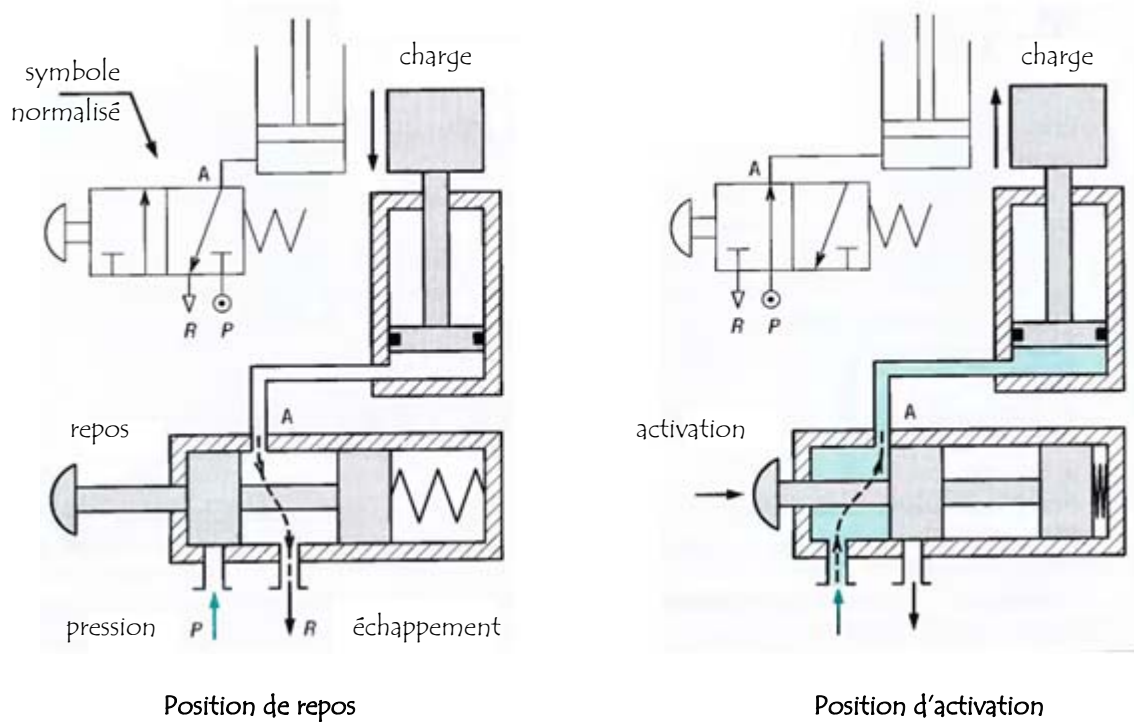


Figure 4 : Exemple de représentation et de fonctionnement d'un distributeur 3/2.

La figure 5 donne les symboles de quelques distributeurs avec leurs différents modes de commande.

VII.2 Les régulateurs (régulateur de débit et régulateur de vitesse)

En général, les régulateurs (régulateur de débit et régulateur de vitesse) ont pour but de contrôler le débit et la pression du flux. En ce qui concerne le contrôle de débit, il existe des valves de contrôle de débit telles que les réducteurs de débit. Ces derniers sont utilisés essentiellement pour réduire le débit du fluide dans une partie de circuit afin de réguler la vitesse des actionneurs. Pour le contrôle de la pression, on retrouve les limiteurs de pression, les réducteurs et les régulateurs de pression ainsi que les valves de séquences. Le contrôle de la pression utilisé principalement pour des raisons de sécurité.

VII.3 Valves de contrôle de direction

Les valves de contrôle de direction (clapet anti-retour, sélecteur de circuit, distributeur à double clapets) permettent en général de contrôler la direction de passage du fluide. Ils interdisent le passage de ce dernier dans un sens et de l'autoriser dans l'autre sens pour les clapets antiretour. En ce qui concerne les sélecteurs de circuit et le distributeur à double clapets, ils réalisent les fonctions logiques ET et OU entre les signaux de pilotage (commande pneumatique et hydraulique).

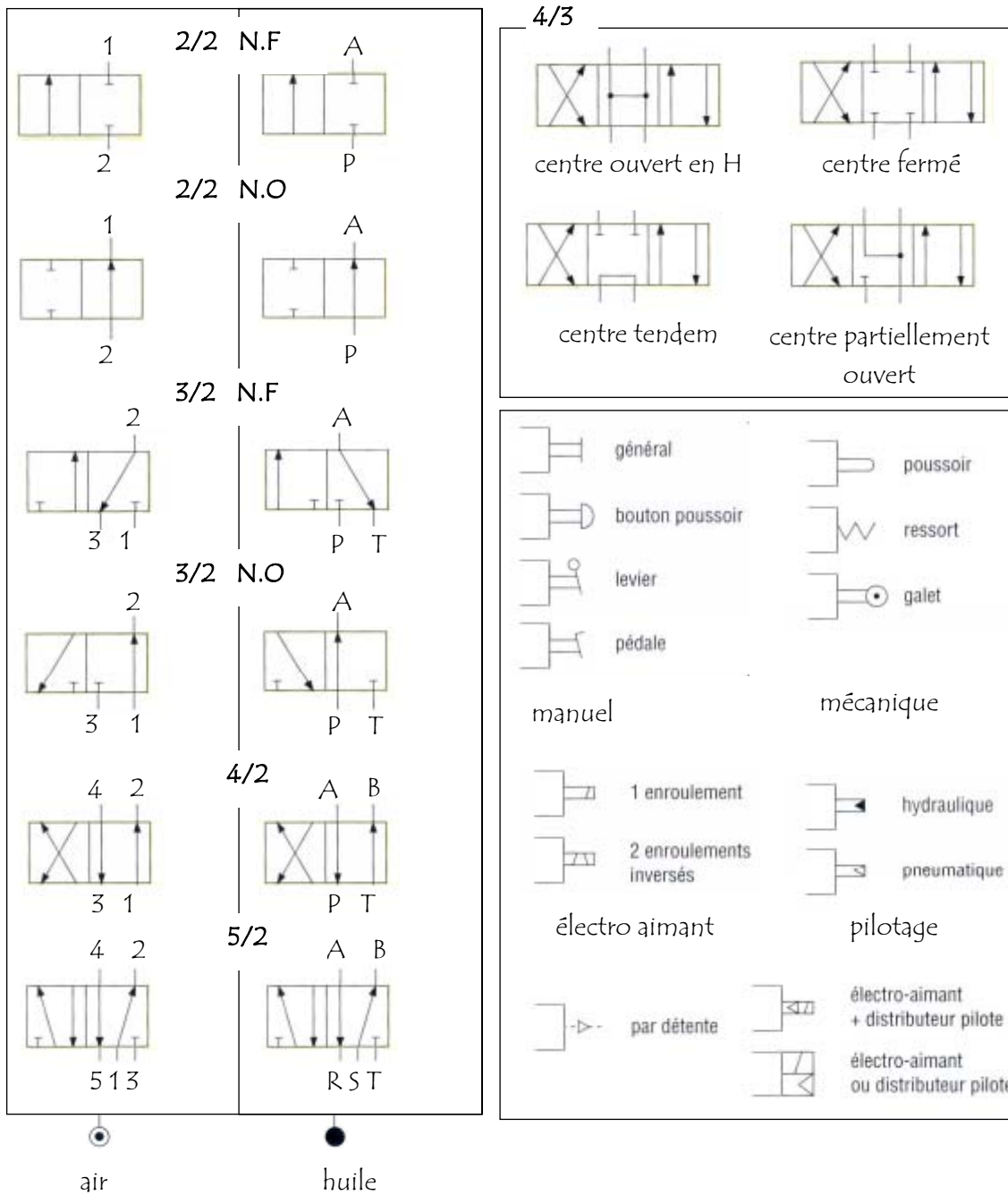


Figure 5 : Distributeurs : symboles et modes de commande

VII.4 Les actionneurs

Un actionneur pneumatique ou hydraulique est un dispositif qui convertit l'énergie disponible à l'entrée en un travail mécanique. Les actionneurs permettent de réaliser des déplacements du type :

- Linéaire : Vérin (simple effet et vérin à double effet),
- Oscillant : Vérin ou moteur oscillant,
- Rotatif : Moteurs

VII.4.1 Vérins

Les vérins permettent de créer un mouvement mécanique à partir de l'énergie pneumatique ou hydraulique fournie en entrée. Ils sont composés d'un cylindre divisé en deux chambres isolées l'une de l'autre par une pièce mobile appelée le piston. Ce dernier se déplace sous l'action du fluide qui alimente une ou les deux

chambres selon le type de vérin simple ou double effet. La figure 5 montre quelques types de vérins et leurs modes de commande. Les vérins sont souvent dotés de fonctions complémentaires telles que les capteurs de position et de fin de course, l'amortissement en fin de course, dispositifs de détection, guidage...

Les vérins sont généralement utilisés pour : soulever, pousser, tirer, serrer, tourner, bloquer, percuter, abloquer, etc. Leur classification tient compte de la nature du fluide (pneumatique ou hydraulique) et du mode d'action de la tige simple effet ou double effet. La figure 6 les différents types d'actions réalisées par les vérins.

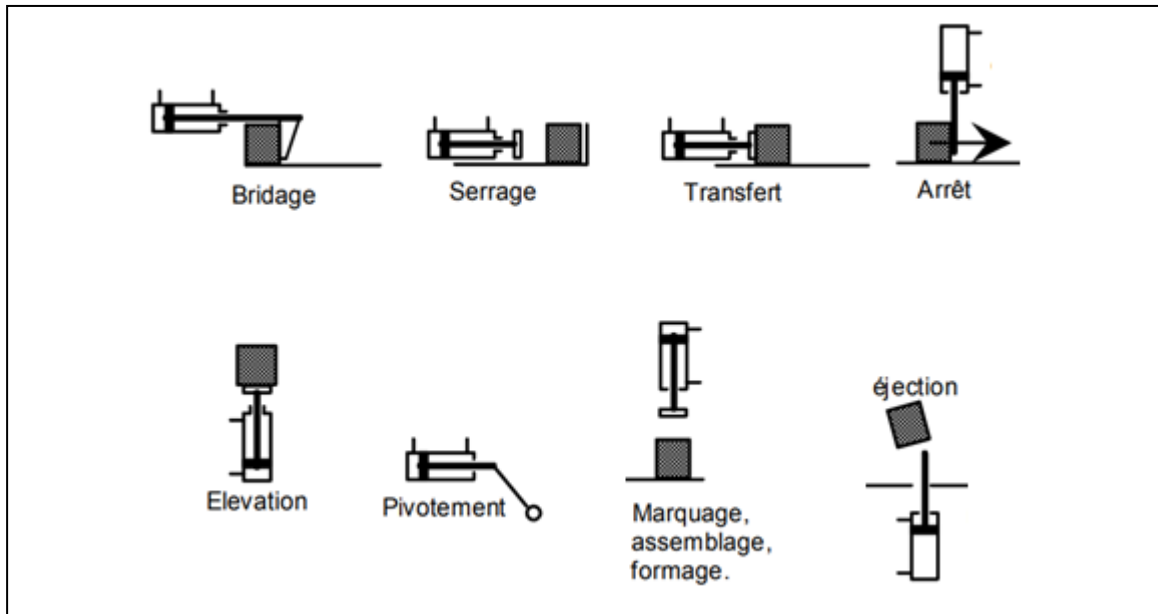


Figure 6 : Actions réalisées par les vérins

Il existe plusieurs types de vérins tels que : le vérin simple effet, double effet, sans tige, double tiges et télescopique. La figure 7 montre un exemple d'un vérin simple effet et double effet.

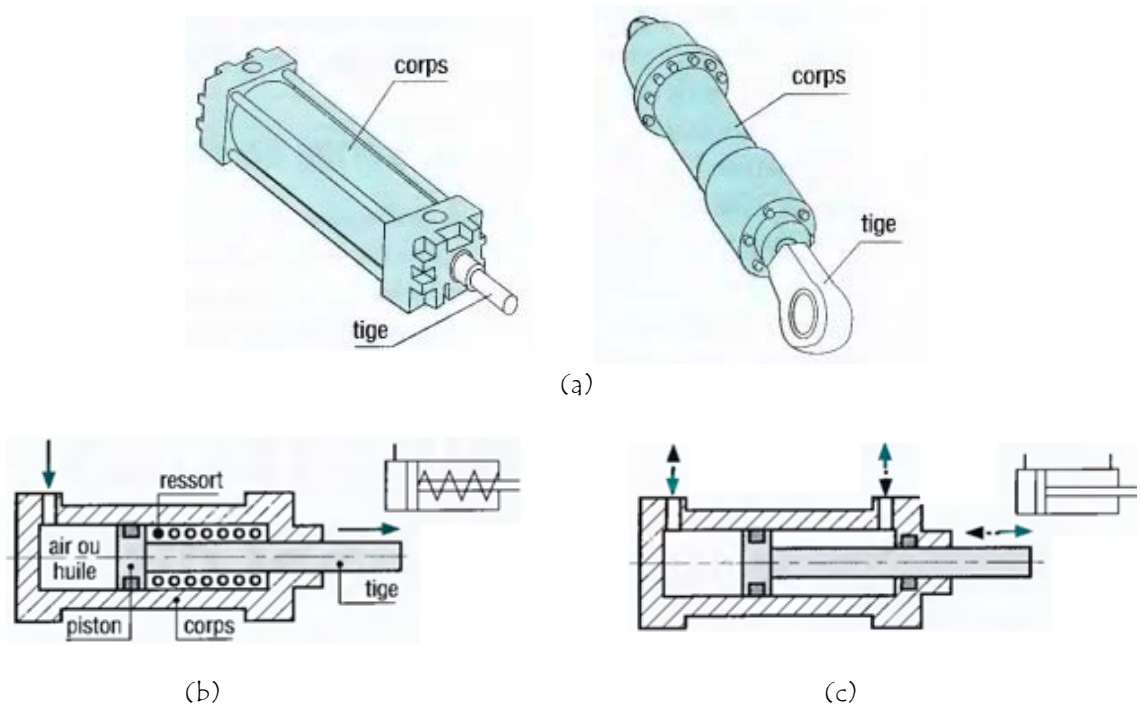


Figure 7 : Vérin : a) perspective, b) simple effet et c) double effet

VII.4.2 Les vérins oscillant

Ils permettent de transformer un mouvement linéaire du piston en mouvement rotatif par l'utilisation d'une crémaillère usinée sur la tige du vérin qui entraîne un pignon. Pour les vérins dits à aube, une aube pivote dans le cylindre du vérin sous l'effet de la pression. La figure 8 montre des exemples de moteurs oscillants.

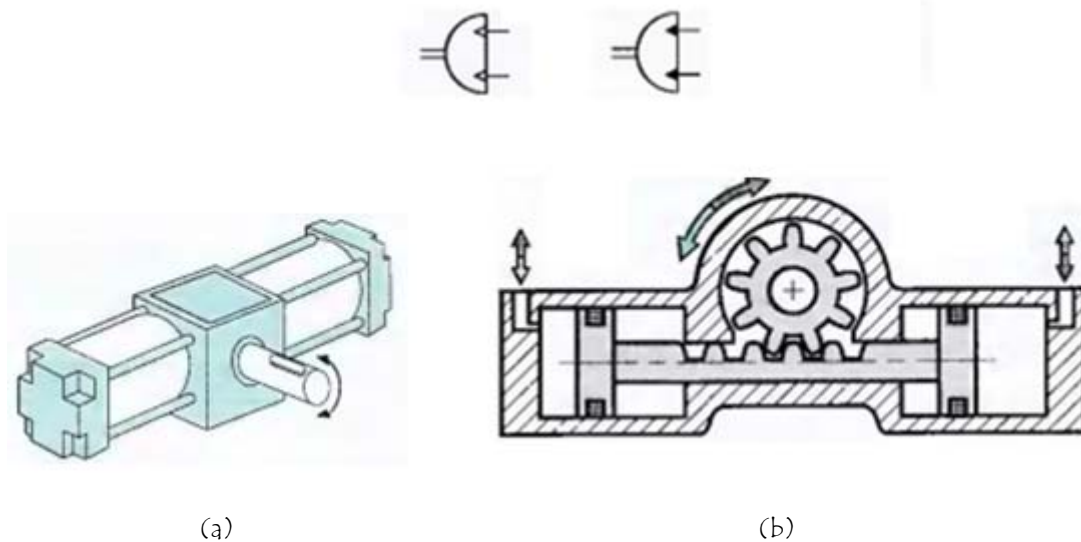


Figure 8 : Vérins oscillants : a) perspective et b) construction

VII.4.3 Caractéristiques des vérins

Un vérin se caractérise par sa course, par le diamètre de son piston et par la pression qu'il peut admettre. La course du vérin correspond à la longueur du déplacement qu'il peut assurer. Les caractéristiques des vérins peuvent être calculées théoriquement ou à l'aide des données du constructeur. Ces dernières sont plus explicites quand il s'agit d'applications bien déterminées. La figure 9 montre les efforts développés par le vérin. La force F développée par un vérin dépend de la pression du fluide et de du diamètre de son piston et de la résistance de frottement des joints. Théoriquement, on néglige le plus souvent les frottements des joints et la force F est donnée par :

$$F = P \times S(2)$$

- F est la force développée en N (Newton).
- P est la pression de service en Pa (Pascal)
- S est la surface d'application de la pression (surface utile du piston) en m².

L'effort de poussée du vérin est calculé par :

$$F_{th} = P \times S(3)$$

avec : $S = \pi \times \frac{D^2}{4}$

L'équation suivante donne l'effort de rentrée du vérin. Dans ce cas il faut faire attention, la pression ne s'exerce plus sur la totalité du diamètre du piston mais sur une surface égale à la section du piston moins la section de la tige.

$$F_{th} = P \times (S_1 - S_2)(4)$$

avec : $S_1 = \pi \times \frac{D^2}{4}$ et $S_2 = \pi \times \frac{d^2}{4}$

Pour pouvoir réaliser l'étanchéité et le guidage d'un vérin, il est nécessaire d'utiliser des joints et des bagues de guidage. En réalité, on doit considérer la résistance de frottement de ces éléments. Pour en tenir compte dans la détermination des efforts exercés par un vérin, il est nécessaire de prendre en considération le taux de charge du vérin (η_c).

$$F = \eta_c \times P \times S(5)$$

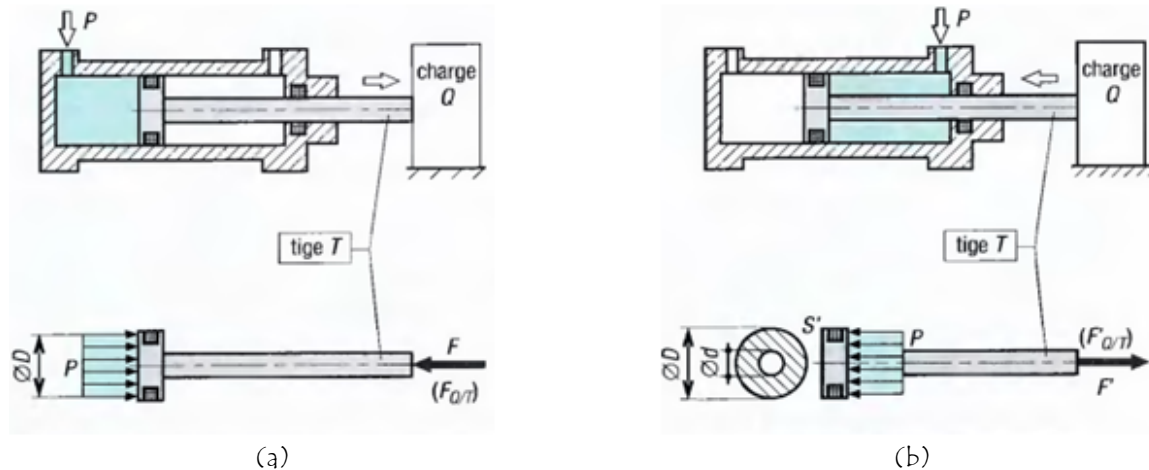


Figure 9 : Effort développé par un vérin : a) en poussant et b) en tirant

La vitesse de sortie du vérin est fonction de la surface du piston et du débit de fluide qui rentre dans la chambre motrice :

$$V = \frac{Q}{S}(6)$$

avec : V la vitesse en m/s, Q le débit volumique en m^3/s , et S la surface d'application (surface du piston) en m^2 .

Une autre notion liée aux caractéristiques du vérin est la cylindrée du vérin C_y . Elle est donnée par le produit de la surface du piston (S) par la course (C) et elle correspond au volume de fluide nécessaire pour sortir toute la tige du piston.

$$C_y = S \times C(7)$$

Exemple

Calculer les efforts en poussant et en tirant d'un vérin avec un piston de diamètre $D = 10$ cm et une tige de diamètre $d = 3$ cm :

1. Vérin pneumatique ($P = 6$ bars),
2. Vérin hydraulique ($P = 240$ bars) ($1 \text{ bar} = 10 \text{ N} \cdot \text{cm}^2$),
3. Avec un rendement de 90% (pertes de 10% dues au frottement au niveau de joints d'étanchéité et bagues de guidage)

Solution

1. Vérin pneumatique ($P = 6$ bars) :
 - Effort du vérin poussant une charge ($S = \pi \cdot R^2$) :

$$F_{th} = P \times S = 6 \cdot 10 \times \pi \cdot 5^2 = 471 \text{ daN}(8)$$

- Effort du vérin (double effet) tirant une charge ($S = \pi \cdot (R^2 - r^2)$) :

$$F'_{th} = P \times (S_1 - S_2) = 6 \cdot 10 \times \pi \cdot (5^2 - 1.5^2) = 429 \text{ daN}(9)$$

Note : F'_{th} est 10% moins que F_{th} .

2. Vérin hydraulique (P= 240 bars)

- Effort du vérin poussant une charge ($S = \pi \cdot R^2$) :

$$F_{th} = \eta \times P \times S = 240 \cdot 10 \times \pi \cdot 5^2 = 18\,840 \text{ daN}(10)$$

- Effort du vérin (double effet) tirant une charge ($S = \pi \cdot (R^2 - r^2)$) :

$$F'_{th} = \eta \times P \times (S_1 - S_2) = 240 \cdot 10 \times \pi \cdot (5^2 - 1.5^2) = 17\,144 \text{ daN}(11)$$

Note : Effort est 40 fois plus grande que celui du vérin pneumatique.

3. Avec un rendement de 90%

- Pneumatique : $F_{réel} = \eta_c \times F_{th} = 0.9 \times 471 = 424 \text{ daN}$
- Hydraulique : $F_{réel} = \eta_c \times F_{th} = 0.9 \times 18\,840 = 16\,956 \text{ daN}$

VII.4.4 Critères de choix d'un vérin

Un certain nombre de critères doivent être pris en compte pour déterminer le vérin à utiliser. Ils sont généralement extraient à partir du cahier des charges :

- Type de mouvement : horizontal, vertical, en rotation,
- Longueur du mouvement à effectuer,
- Type de travail : statique (serrage) ou dynamique (déplacement),
- Effort à fournir,
- Contraintes cinétiques : vitesse, accélération, durée de déplacement, inertie, déformation et fragilité de la charge, etc.

Cela nous permet de déterminer les caractéristiques principales du vérin :

1. Le type : simple effet, double effet (ou autres actionneurs),
2. Le diamètre D du vérin par calculs ou par abaques constructeurs. Le diamètre de la tige d dépend de D (normalisé),
3. La course C.

VII.4.5 Les moteurs

Pour transformer l'énergie en entrée (pneumatique hydraulique) en mouvement angulaire ou de rotation mécanique on utilise les moteurs. Les moteurs pneumatiques et hydrauliques se caractérisent par une large gamme de vitesses, une réversibilité du sens de rotation et une grande fiabilité même en surcharge surtout pour ceux hydrauliques. Les moteurs pneumatiques et hydrauliques sont les plus souvent des moteurs à pistons, des moteurs à palettes et des moteurs à engrenages. La figure 10 donne des exemples de moteurs à palettes et à engrenages.

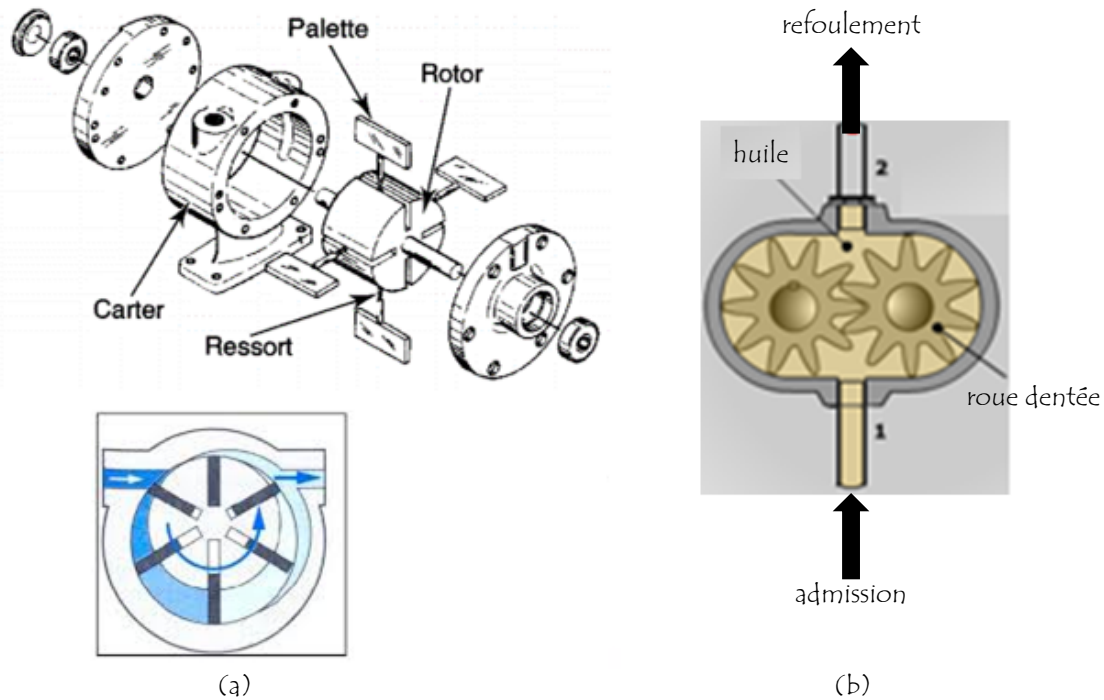


Figure 10 : Moteurs : a) à palettes et b) à engrenages

VII.4.6 Différents types pilotages

Le pilotage pneumatique ou hydraulique : Lorsque la configuration et le taux de complexité de l'installation automatisée entraînent le choix d'une solution "tout pneumatique" ou "tout hydraulique", les distributeurs sont à pilotage pneumatique ou hydraulique car leur pilotage est assuré par des signaux de pression émis par la partie commande pneumatique ou hydraulique.

Le pilotage électrique : A l'inverse d'un pilotage purement pneumatique ou hydraulique, les commandes en version électrique ou électronique peuvent assumer des fonctions considérablement plus complexes par l'utilisation de commandes électroniques telles que les API (automates programmables industriels). Dans ce cas, il est nécessaire que les distributeurs soient équipés d'une ou de deux électrovannes de pilotage. Leur rôle est de transformer le signal électrique provenant de la partie commande en un signal pneumatique ou hydraulique pour le pilotage du distributeur.

VIII. Codification et repérage des composants pneumatiques et hydrauliques

Les schémas de circuits des systèmes hydrauliques et pneumatiques constituent une aide facilitant la compréhension, l'étude et la description des installations. Afin d'éviter toute confusion et erreur lors du développement, de la production, de l'installation et de la maintenance, l'organisme international de normalisation (ISO), a élaboré la norme ISO-1219 définissant les symboles graphiques hydrauliques et pneumatiques (ISO 1219-1). La norme (ISO 1219-2) concerne la codification des schémas de circuits.

Les composants sont représentés (sauf indication contraire) dans leur position de départ, c'est à dire la position repos. Il est recommandé que les symboles des appareils hydrauliques et pneumatiques soient disposés du bas vers le haut et de gauche à droite :

- Sources d'énergie : en bas à gauche,
- Composants de commande classés en ordre séquentiel : vers le haut et de gauche à droite,
- Actionneurs : en haut de gauche à droite

La réalisation et l'exploitation de schémas nécessitent l'identification et le repérage des composants. La codification comporte trois types de composants : les composants, la tuyauterie et les orifices.

VIII.1 Codification des composants

On utilise un codage en trois parties :

- Un repère d'ordre fonctionnel qui peut comporter plusieurs caractères (numéro de chaîne fonctionnelle par exemple),
- Un code du composant : on utilise des lettres pour identifier les familles de composant (Table 1),
- Un code de l'état ou de l'action (pour les pré-actionneurs, un chiffre 0 est affecté au pilotage de la mise en position initiale ; pour les capteurs associés aux actionneurs, le chiffre 0 pour le capteur actionné à l'état initial du cycle, les chiffres 1, 2, 3, ... pour le capteur actionné dans l'ordre du cycle.

VIII.2 Codification de la tuyauterie

Le repérage des tuyauteries se fait par la fonction, puis éventuellement par un numéro.

- Alimentation en pression P,
- Retour au réservoir T (tank),
- Drainage L.

VIII.3 Codification des orifices

Le repérage des orifices peut se faire généralement avec des chiffres dans les circuits pneumatiques ou avec des lettres dans les circuits hydrauliques.

Le chiffre 1 ou la lettre P indique l'orifice d'alimentation et la lettre T désigne le réservoir (hydraulique).

La figure 11 représente un exemple typique d'un circuit pneumatique et la table 2 donne le codage de ses composants.

Table 1 : Codage des composants pneumatiques et hydrauliques

Code	Type de matériel	Exemple
A	Accumulateurs	
B	Multiplicateurs et échangeurs de pression	
C	Vérins	Vérin
D	Distributeurs	Distributeur
F	Appareils de conditionnement	Filtre
G	Appareil de mesurage	Manomètre
M	Moteurs	
N	Clapets antiretour	
P	Pompes et compresseurs	
Q	Appareils de réglage du débit	Réducteur de débit
R	Appareils de réglage de la pression	
S	Détecteurs mécaniques	Bouton
T	Réservoirs	
U	Organes de ligne et de raccordement	Silencieux, Raccord
YV	Commande électrique	Electrovanne

Table 2 : Codage des composants du circuit de la figure 11

Code	Type de matériel
P1	Compresseur1 : Pression
A1	Actionneur : Vérin du circuit 1
A2	Actionneur : Vérin du circuit 2
A3	Actionneur : Vérin du circuit 3
1S1	Capteur mécanique 1 du circuit 1
1S2	Capteur mécanique 2 du circuit 1
2S1	Capteur mécanique 1 du circuit 2
2S2	Capteur mécanique 2 du circuit 2
3S1	Capteur mécanique 1 du circuit 3
3S2	Capteur mécanique 2 du circuit 3
1YV14	Electro-aimant circuit 1 Pilotage sortie tige
2YV12	Electro-aimant circuit 2 Pilotage rentrée tige
3YV12	Electro-aimant circuit 3 Pilotage rentrée tige
U3	Silencieux branché sur orifice 3

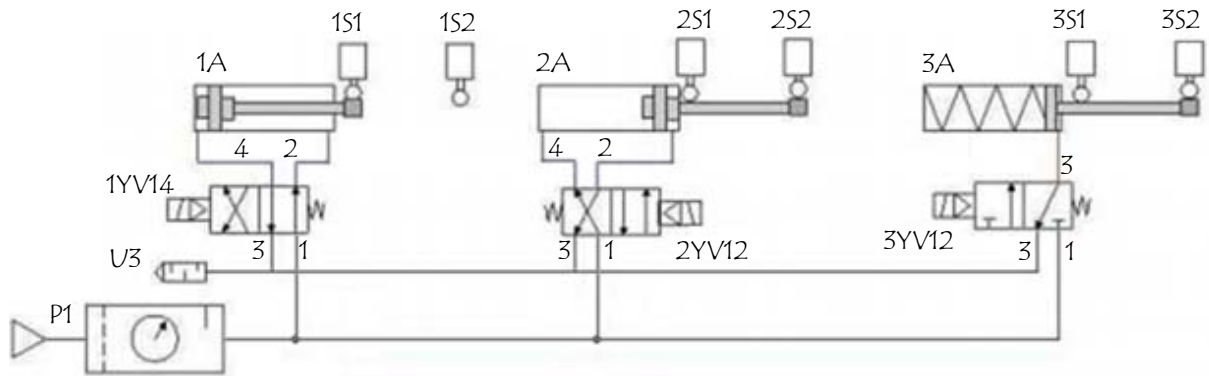


Figure 11 : Exemple de codification des composants.

Chapitre 4 : La commande des systèmes pneumatiques et Hydrauliques

I. Introduction

Dans ce chapitre, on va voir les circuits de commande fréquemment rencontrés en pneumatiques et en hydrauliques.

Dans ce chapitre, on présente les grandes notions rencontrées en pneumatique et en hydrauliques. Il est également décrit les différents composants utilisés dans lesquelles on retrouve les distributeurs et les actionneurs.

II. Commande des vérins

II.1 Commande d'un vérin simple effet

Pour commander un vérin à simple effet, on peut se servir de deux distributeurs 2/2 à commande manuelle, d'un seul distributeur 3/2, 4/2 ou 5/2 en utilisant des bouchons pour les orifices non utilisés. La figure 1 illustre les différentes méthodes de commande d'un vérin simple.

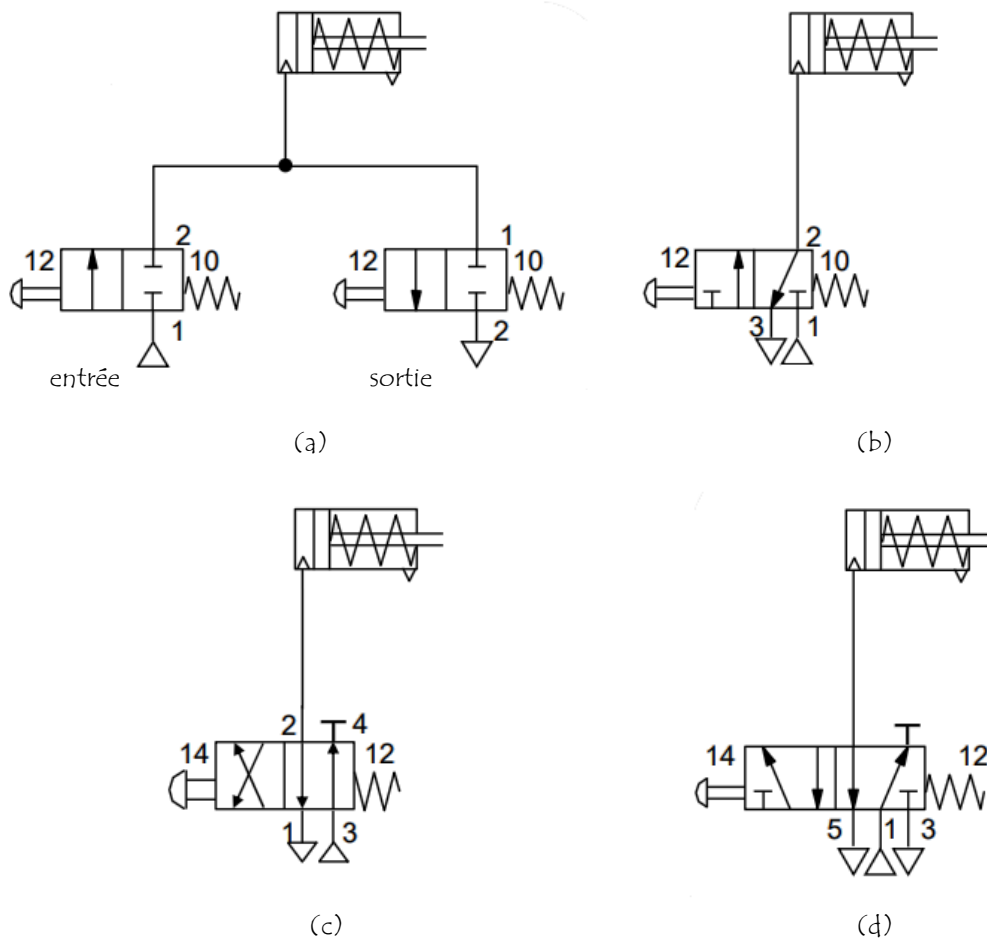


Figure 1 : Commande d'un vérin simple effet avec : a) distributeurs 2/2, b) distributeur 3/2, b) distributeur 4/2 et d) distributeur 5/2

II.2 Commande d'un vérin double effet

Pour commander un vérin à double effet, on peut se servir de :

1. deux distributeurs 3/2 à commande manuelle,
2. ou plus simplement, d'un seul distributeur 4/2 ou 5/2.

Dans le cas deux distributeurs 3/2, il y a un risque de chevauchement, car il est possible d'actionner les deux boutons poussoirs simultanément. L'utilisation d'un distributeur 4/2 ou 5/2 permet d'éliminer les risques de chevauchement et de diminuer l'encombrement du circuit. La figure 2 montre les différentes méthodes de commande d'un vérin double effet.

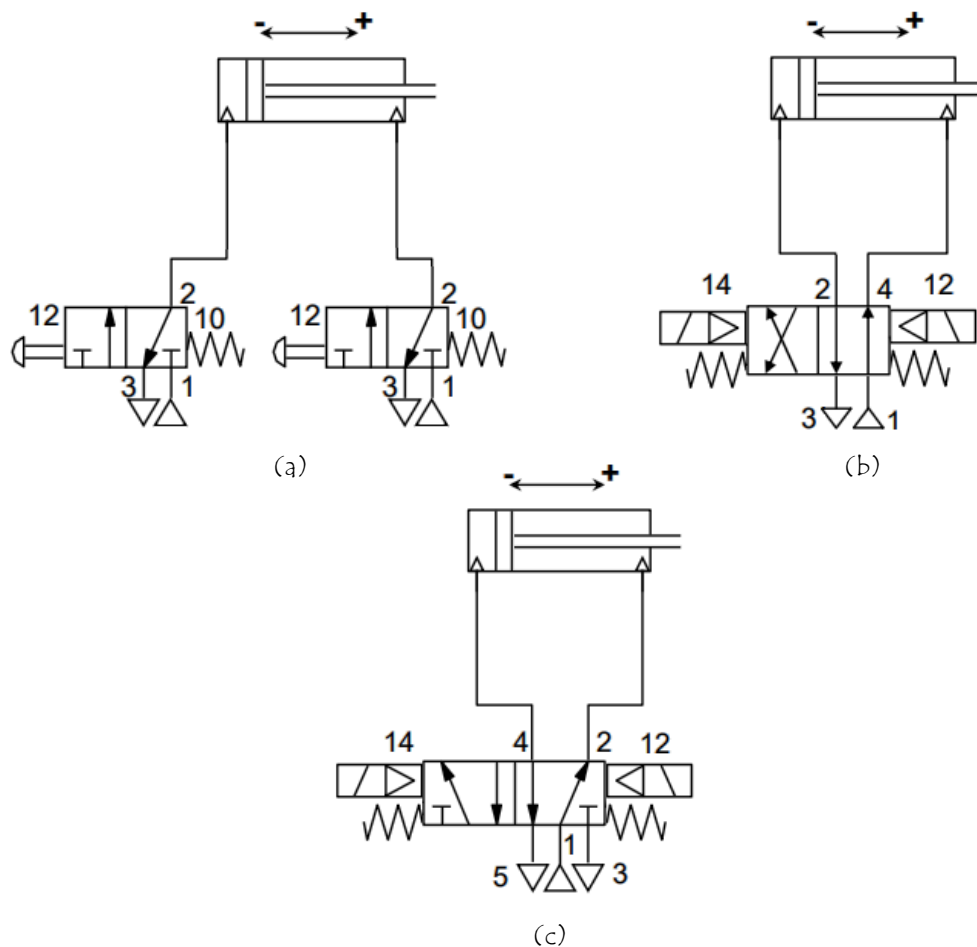


Figure 2 : Différentes méthodes de commande d'un vérin double effet

II.3 Régulation de la vitesse d'un vérin

Lorsqu'un piston se déplace, il subit deux pressions qui génèrent deux efforts opposés. Le premier est dans la chambre principale et l'autre qui est dû à la pression qui s'exerce de l'autre côté du piston. Cette pression va dépendre de la vitesse d'évacuation de l'air vers l'échappement. On parle alors de contre-pression. Celle-ci est utilisée soit pour contrôler la vitesse de déplacement du vérin, soit pour contrôler la position du vérin à l'aide d'un capteur. La figure 3 représente le principe de la régulation de vitesse d'un vérin.

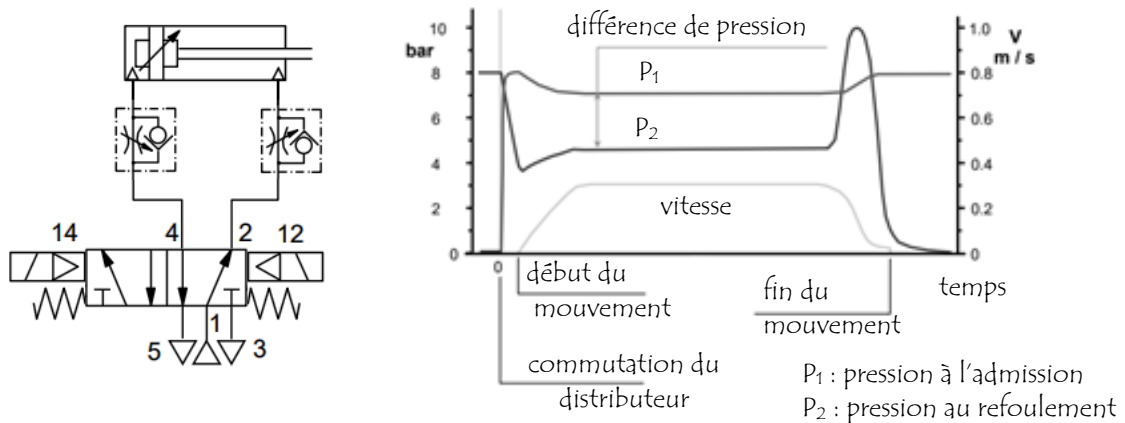


Figure 3 : Régulation de la vitesse d'un vérin

II.3.1 Régulation à l'échappement

Cette méthode est la plus utilisée. La régulation de vitesse est obtenue par un régulateur placé sur le circuit d'échappement. Cette solution engendre une contre pression de régulation dans la chambre à l'échappement. La figure montre le contrôle de la descente d'une charge.

Une autre solution peut utiliser consiste à mettre un réducteur de débit à l'échappement. Elle simple mais elle souffre d'être imprécise si le distributeur est loin du vérin et d'imposer un distributeur 5/2 car c'est le seul qui possède deux orifices d'échappement.

II.3.2 Régulation à l'admission

Cette régulation est réalisée en contrôlant le débit du fluide entrant dans la chambre motrice. Cette solution convient pour les vérins simple effet et elle est rarement utilisée pour ceux à double effet. Les figures 4 et 5 montrent des exemples de contrôle de vitesse d'un vérin simple effet et double effet.

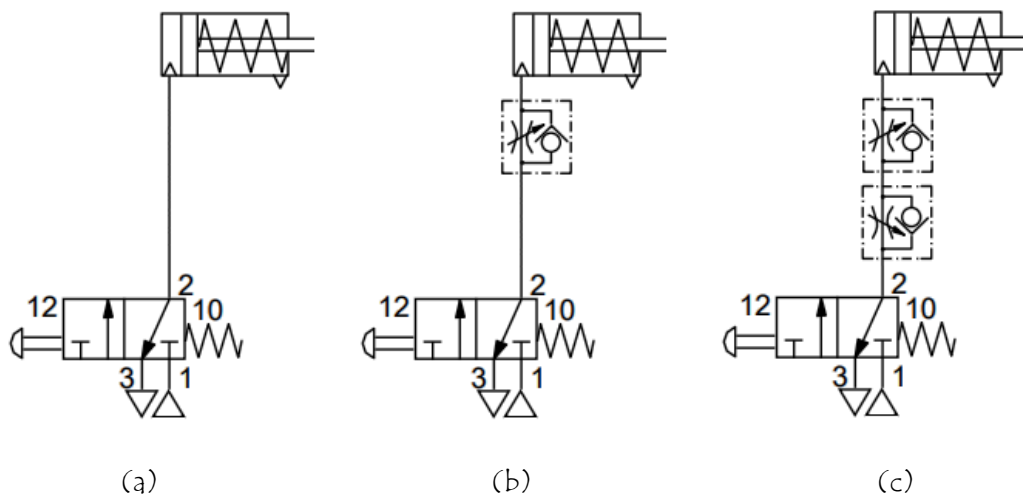


Figure 4 : Contrôle de vitesse d'un vérin simple effet : a) sans contrôle, b) dans un seul sens et c) dans les deux sens

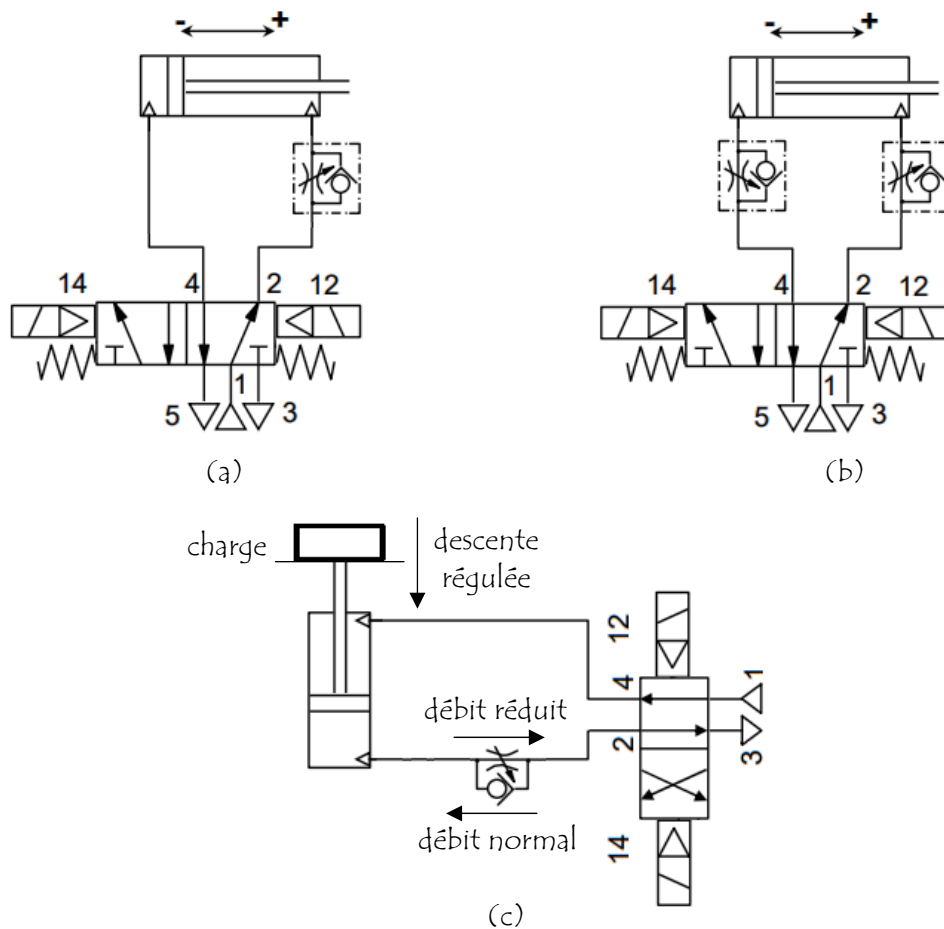


Figure 5 : Contrôle de vitesse d'un vérin double effet : a) dans un seul sens, b) dans les deux sens et c) régulation de la descente d'une charge

II.4 Commande directe

On dit qu'un circuit est à commande directe lorsqu'un distributeur de commande alimente directement un actionneur. Ce distributeur doit être un distributeur de puissance pour être capable de commander directement le vérin. Pour la commande directe électrique, on utilise un distributeur à commande électrique (électrodistributeur).

La figure 6.a présente le schéma de la commande directe par pilotage, d'un vérin à simple effet. Tandis que la figure 6.b illustre la commande directe électrique.

Lorsque le bouton-poussoir est actionné, un courant circule dans la bobine de l'électroaimant du distributeur. Le pilote électrique est activé et le distributeur bascule en position commutée.

Une fois que le bouton-poussoir est relâché, le courant est coupé. L'électroaimant retombe, et le distributeur revient en position initiale. Pour cela, on se sert d'un distributeur 3/2. Cependant, la plupart des distributeurs de commande 3/2 ont un débit d'air assez restreint, de sorte qu'un tel montage s'avère inefficace pour fournir l'air d'alimentation à un vérin de volume considérable.

La commande directe peut seulement satisfaire avec efficacité les besoins en air comprimé d'un petit vérin. Pour les mêmes raisons, cet inconvénient de la commande directe s'applique aussi aux autres sortes d'actionneurs tels que les vérins et les moteurs.

Un électrodistributeur est un distributeur à commande électrique peut être commandé (actionné) directement ou indirectement.

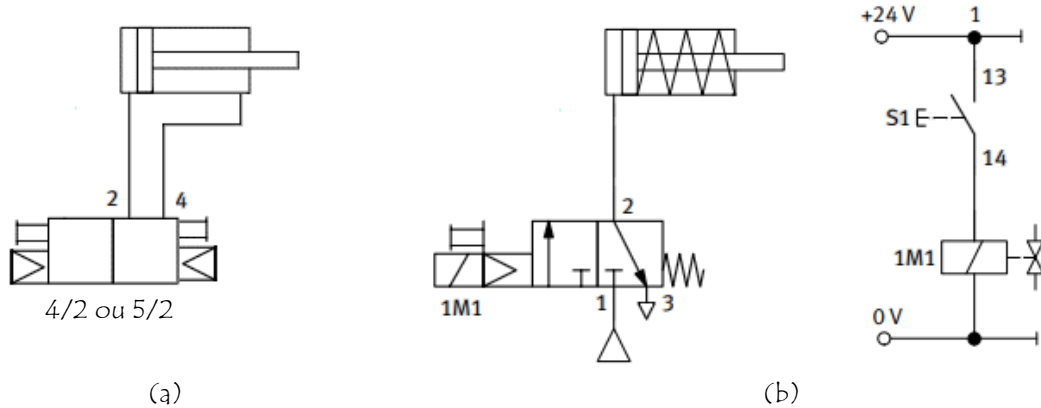


Figure 6 : Commande directe d'un vérin : a) par pilotage et b) électrique

II.5 Commande indirecte

La commande indirecte permet, entre autres, de résoudre le problème de consommation d'air des actionneurs en faisant usage d'un distributeur de puissance. C'est la raison pour laquelle on appelle les distributeurs de puissance des pré-actionneurs. La figure 7 montre la commande indirecte d'un vérin simple effet. Dans cette situation, le distributeur de commande envoie le signal de commande au pré-actionneur (généralement à tiroir) qui se charge alors de fournir toute la quantité de fluide nécessaire au fonctionnement efficace de l'actionneur.

En ce qui concerne la commande électrique de la figure 7.b, lors de l'actionnement par un bouton poussoir, un courant circule dans la bobine de l'électrovanne provoquant ainsi la commutation du distributeur. Cette situation est conservée tant que l'électrovanne est actionnée. Si le bouton poussoir est relâché, le courant dans la bobine de l'électrovanne est interrompu et le distributeur retourne en position initiale.

La commande indirecte est généralement plus complexe que la commande directe. Elle s'utilise lorsque le circuit de commande et le circuit principal fonctionnent sous des tensions différentes, lorsque le courant traversant la bobine du distributeur dépasse le courant admissible du bouton-poussoir ou lorsqu'on souhaite commander plusieurs distributeurs par un seul bouton-poussoir. Un autre cas existe lorsque des combinaisons complexes sont nécessaires entre les signaux des différents boutons-poussoir.

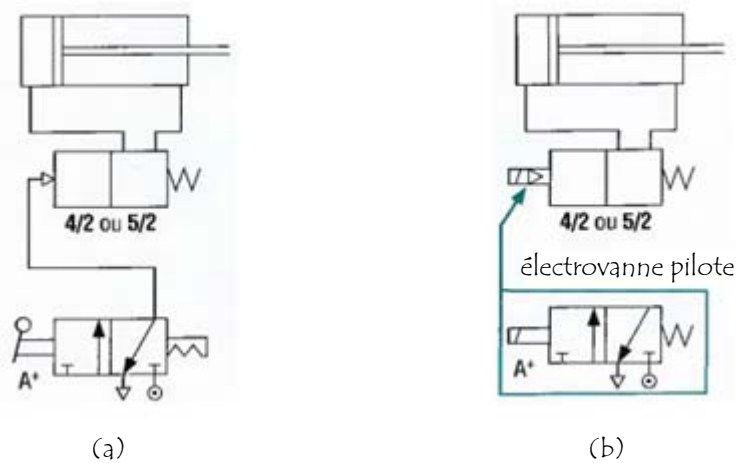


Figure 7 : Commande indirecte d'un vérin : a) manuel et b) électrique

II.6 Commande par impulsion (directe ou indirecte)

Dans le cas où les distributeurs de commande sont bistables, une seule impulsion de pilotage suffit pour la commande. Chaque distributeur de puissance fonctionne comme une mémoire et reste dans son état jusqu'à l'envoi d'une nouvelle impulsion. La figure représente un exemple de commande par impulsion. Dans cet exemple, le distributeur a1 (3/2) est utilisé comme capteur de position. La figure 8 illustre des exemples de commande par impulsion.

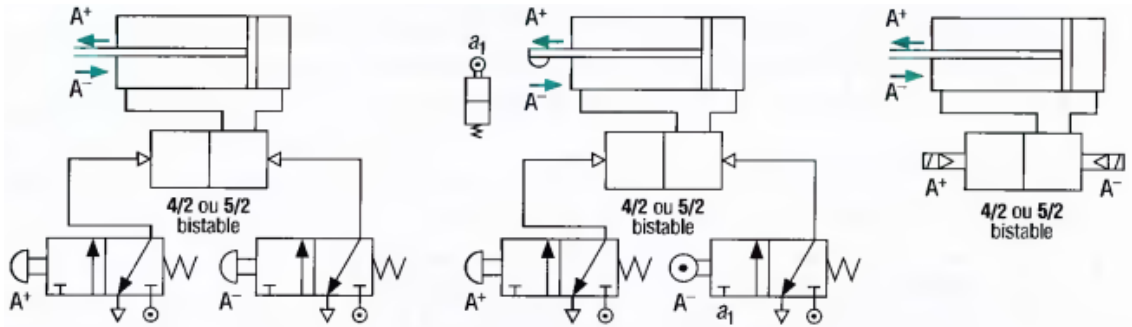


Figure 8 : Exemples de commande par impulsion

II.7 Avantages de la commande indirecte

Dans les systèmes pneumatiques industriels, les pré-actionneurs sont généralement situés près des actionneurs qu'ils alimentent. Une autre technique consiste à regrouper les pré-actionneurs sous le pupitre de commande où se trouvent les dispositifs à commande manuelle. La commande indirecte permet donc de placer à des endroits différents les distributeurs de puissance et le distributeur de commande.

La commande indirecte permet aussi d'adapter la source d'alimentation (figure 9) aux besoins précis d'un équipement tels que :

- Raccordement de l'air puissance de P1 et de commande P2 à des sources différentes (P1 = 6 bars et P2 = 3 bars)
- Lubrification de l'air de puissance et l'air de commande sans lubrification.

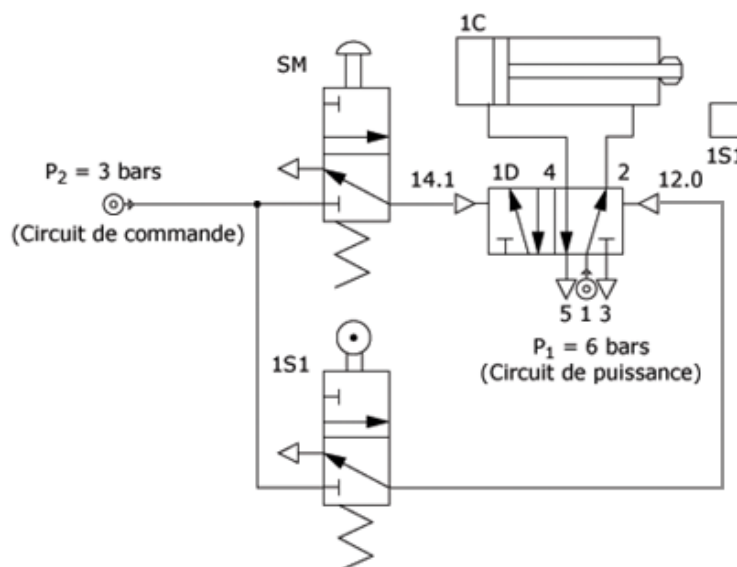


Figure 9 : Adaptation de sources d'alimentations par commande indirecte

II.8 Blocage d'un vérin

Dans certaines situations, telles que la coupure de l'énergie pneumatique ou hydraulique, la maintenance, le réglage ou l'arrêt d'urgence, on a souvent besoin de bloquer un vérin dans une position intermédiaire. Une autre situation ; qui est la disparition des signaux de commande ; nécessite dans certaines applications le blocage du vérin. Dans ce cas, dès que la pression de pilotage disparaît, le vérin sera bloqué. La figure 10 présente des exemples de blocage d'un vérin.

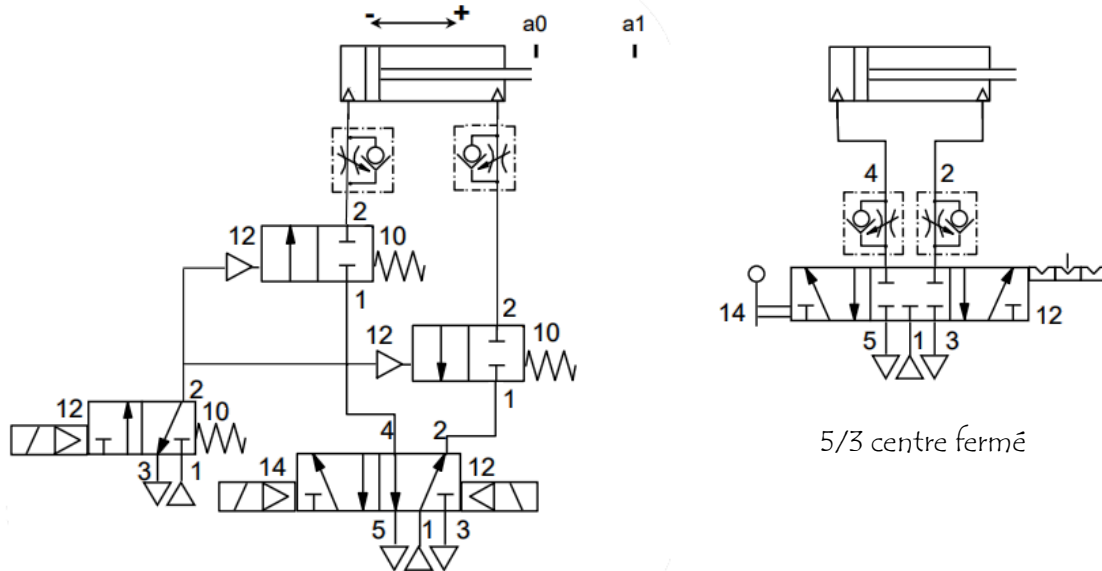


Figure 10 : Blocage d'un vérin

II.9 Mise à la purge

Dans certaines applications, lors d'un arrêt d'urgence, d'un arrêt de production ou à l'état de repos, les actionneurs sont mis à l'échappement (purge du circuit). La figure 11 montre un montage pour la mise en purge d'un circuit pneumatique.

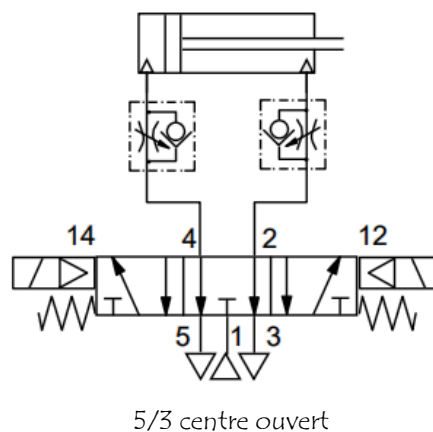


Figure 11 : Mise à la purge d'un circuit pneumatique

III. Étude d'un démarrage progressif

Ce distributeur, associé avec les unités de conditionnement d'air, permet une mise en pression progressive d'une installation après un arrêt ayant entraîné la purge des canalisations. En effet, lorsque les canalisations

sont toutes à la pression atmosphérique, la mise en pression avec un débit trop important provoque une élévation de pression brutale et donc des coups de bélier dans les tuyauteries. Il y a un risque matériel.

Ce distributeur permet une mise en pression progressive grâce à un débit d'air contrôlé. Le débit deviendra maximal lorsque la pression dans l'installation aura dépassé un seuil réglé sur l'appareil. L'ensemble est constitué d'une vanne d'arrêt et d'un démarreur progressif qui ne commute que lorsque la pression de pilotage atteint environ 60% de la pression de service. Le régleur de débit permet d'ajuster la vitesse de remplissage de l'installation avale.

III.1 Les différentes phases de fonctionnement

Les différentes phases de fonctionnement d'un démarrage progressif sont récapitulées dans la figure 12. Elles peuvent être résumées par :

Etape1 : Le système est à l'arrêt, le régleur de débit est positionné à la valeur souhaitée. La pression dans le réseau est nulle.

Etape2 : La vanne a été ouverte et l'air circule via le régleur de débit car le clapet antiretour du démarreur est fermé. La pression augmente lentement.

Etape3 : La pression dans le réseau atteint 60% de la pression nominale, le démarreur va pouvoir basculer en position débit maximum.

Etape4 : Le débit est maintenant au maximum et la pression augmente rapidement pour atteindre les 100%. L'installation est opérationnelle.

Etape5 : La vanne d'arrêt est fermée, l'air dans le réseau va s'échapper à travers le démarreur à plein débit.

Etape6 : La pression étant passée sous le seuil des 60%, le démarreur revient à sa position repos mais le clapet anti-retour reste ouvert. L'échappement reste au débit maximum.

Etape7 : Le réseau est revenu à la pression atmosphérique, le clapet se ferme et le circuit est purgé, prêt à être remis en pression.

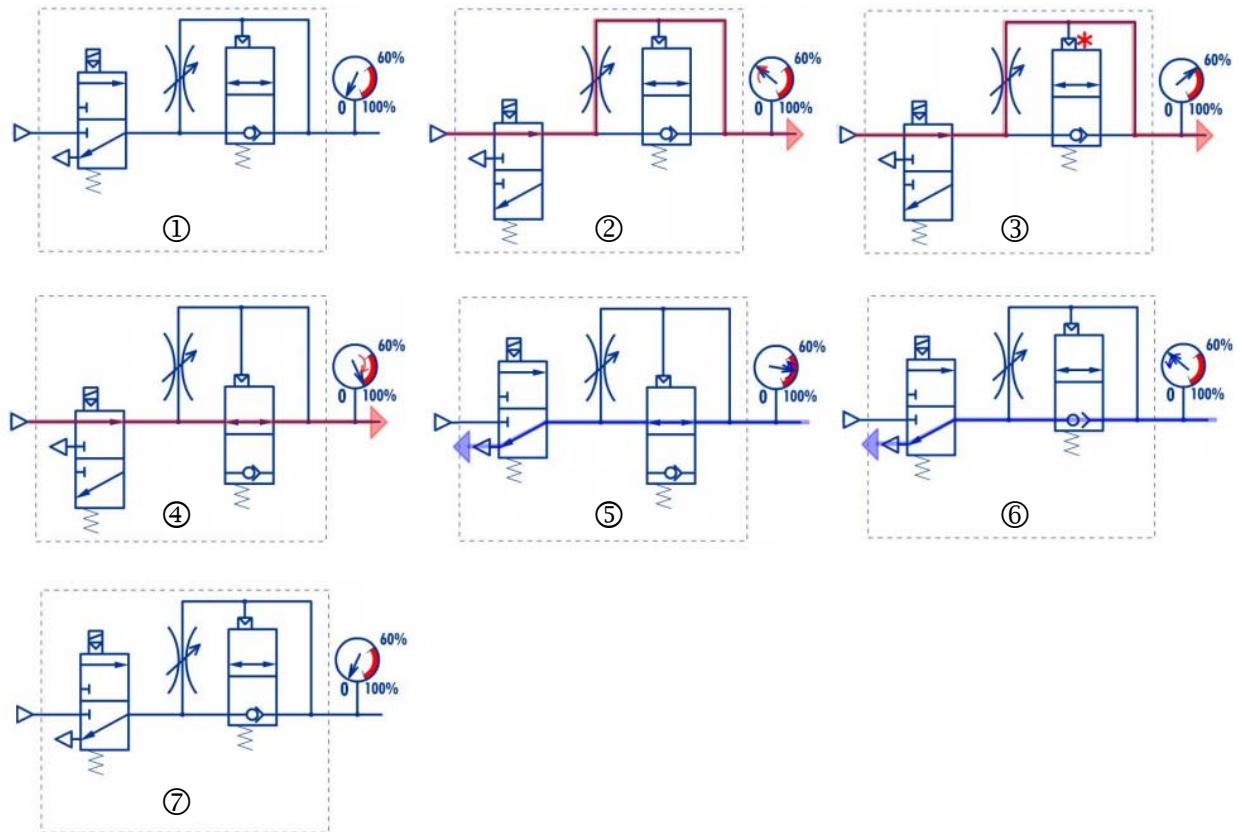


Figure 12 : Différentes phases de fonctionnement d'un démarrage progressif

IV. Exemple

Soit le système de la figure 13. Les boîtes sont acheminées vers leur lieu d'entreposage par un ensemble de convoyeurs et de vérins. Le déplacement des boîtes d'un convoyeur à l'autre se fait à l'aide du vérin (A). Lorsqu'une boîte arrive à l'extrémité du convoyeur, elle est placée sur un monte-charge (vérin (A)) qui la met sur un autre convoyeur. Lorsque la boîte est près du deuxième convoyeur, le vérin (B) la pousse sur celui-ci. La tige du vérin (A) ne redescend que lorsque la tige du vérin (B) est entièrement sortie. La tige du vérin (B) ne rentre que si la tige du vérin (A) est entièrement rentrée.

Étudier le système et proposer des solutions pour des fonctionnements en mode manuel, automatique et d'arrêt d'urgence (commande pneumatique).

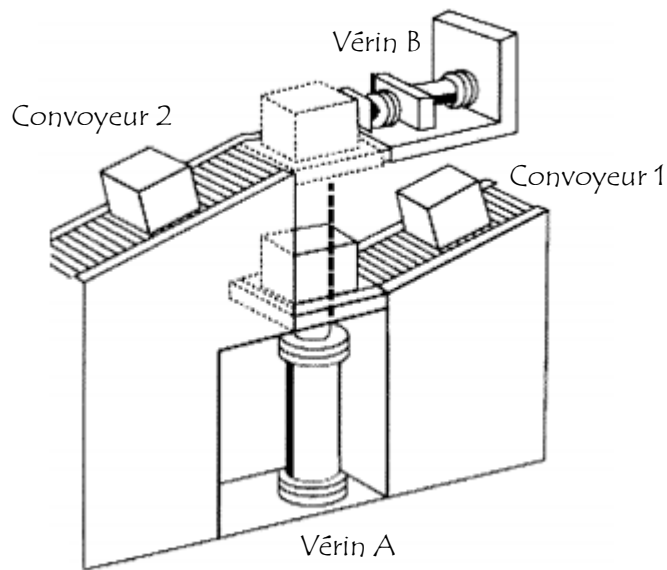


Figure 13 : Système d'entreposage de boîtes

IV.1 Solution

La conception du système décrit peut être réalisée selon trois modes :

Mode manuel : ce mode exécute une suite de commande une seule fois qu'on appelle séquence.

Mode automatique : ce mode permet de répéter plusieurs fois la même séquence.

Arrêt d'urgence : ce mode parvient en cas d'accident ou de mauvais fonctionnement. La situation d'urgence varie d'un système à un autre. D'une façon générale, ce mode force le retour du système en position initiale, quelle que soit l'évolution du cycle de la séquence. Le fonctionnement de ce mode consiste à désactiver commande des distributeurs et à actionner le rappel des vérins.

Le chronogramme de fonctionnement du système est illustré sur la figure 14 indiquant le déplacement des actionneurs en fonction du temps.

- A^+ : montée du monte-charge,
- B^+ : sortie du vérin de transfert,
- A^- : descente du monte-charge,
- B^- : rappel du vérin de transfert,

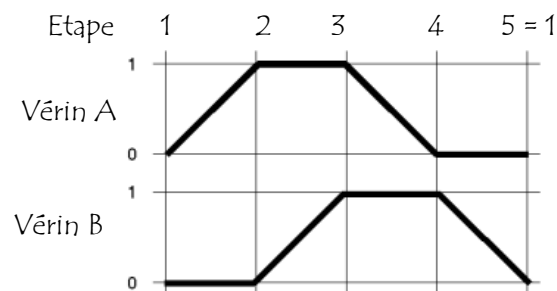


Figure 14 : Chronogramme de fonctionnement

La liste de composants nécessaires pour le fonctionnement demandé est :

- 1) Quatre distributeurs à galet pour surveiller les déplacements des deux vérins,
- 2) Un distributeur à commande manuel pour mode manuel (une seule fois),
- 3) Un distributeur à commande manuel pour mode automatique,
- 4) Une cellule "OU" pour la combinaison du mode manuel pour mode automatique,
- 5) Un distributeur muni d'un cran d'arrêt de manière à verrouiller l'arrêt d'urgence,
- 6) Deux cellules "OU" placées du "côté rappel" des pré-actionneurs qui envoient soit le signal de commande normale soit le signal de l'arrêt d'urgence.

Les étapes de fonctionnement du système seront comme suit :

Repos : une pression sur le bouton poussoir "démarrage" commande la sortie du vérin (A) (A^+).

Etape 1 : Le vérin (A) commence sa course et le galet (A0) est relâché. Juste avant que le vérin A n'atteigne la fin de sa course, sa tige touche le galet (A1). Ce dernier envoie un signal de commande (B^+) pour faire sortir la tige du vérin(B).

Etape 2 : Le vérin (B) commence sa course de sortie et juste avant sa fin de course, sa tige actionne le galet (B1). Ce dernier génère le signal de commande (A^-) pour le rappel du vérin (A) (rentrée de la tige).

Etape 3 : Le vérin (A) débute sa course de rentrée et relâche le galet (A1). Le galet (A0) devient actionné juste avant que le vérin (A) ne soit complètement rentré. Le signal de rappel (A0) transmet la commande (B^-) pour effectuer le rappel du vérin(B).

Etape 4 : La rentrée du vérin (B) fait retomber le galet (B1) et le cycle de fonctionnement s'arrête.

Etape 5 : Le système reste immobile jusqu'à ce qu'une nouvelle commande manuelle sur le bouton poussoir de départ.

En cas de fonctionnement en mode automatique le système revient à l'étape 1.

La figure 15 illustre le fonctionnement en manuel et automatique, tandis que la figure 16 présente la séquence précédente munie cette fois d'un arrêt d'urgence.

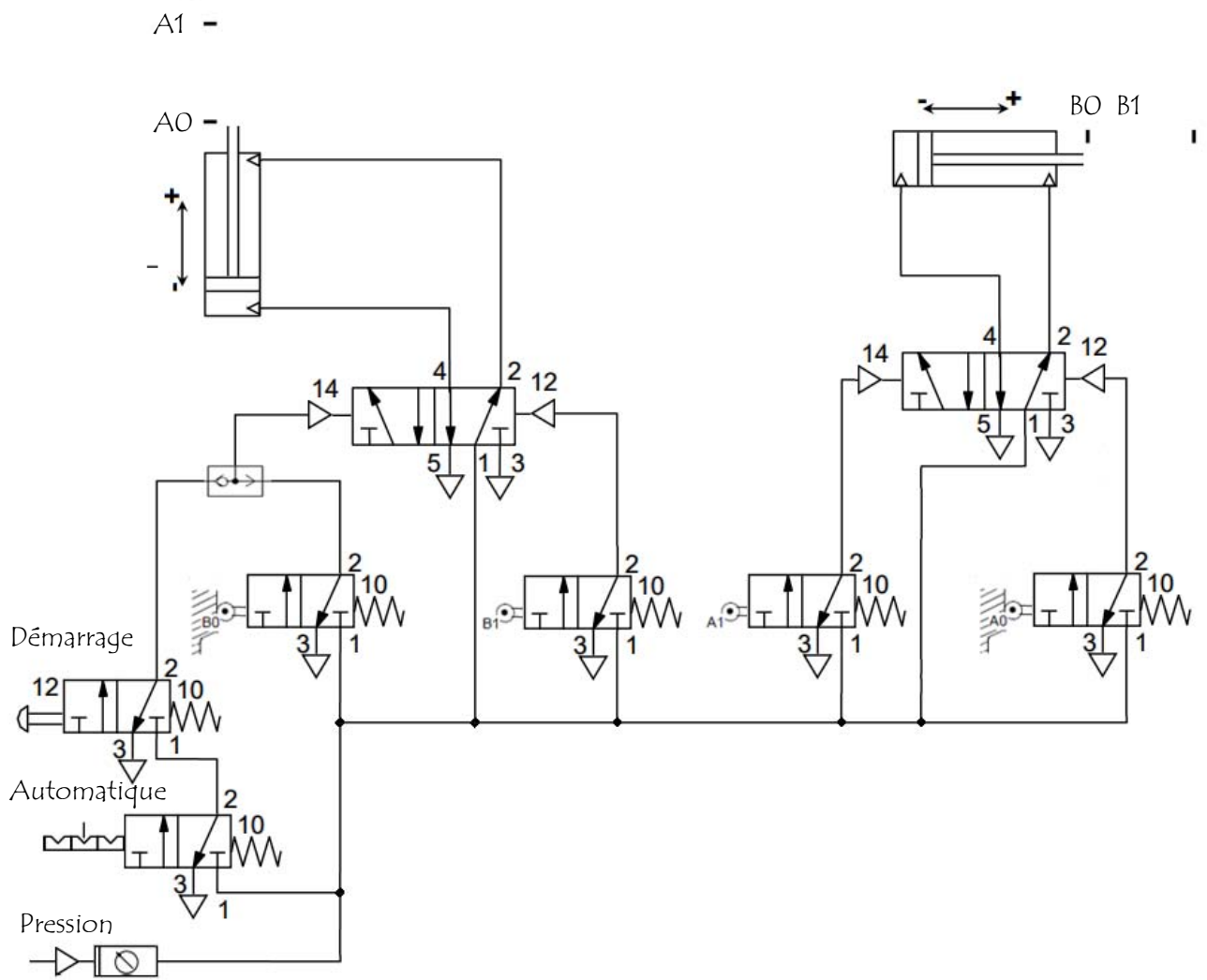


Figure 15 : Fonctionnement en mode manuel et automatique

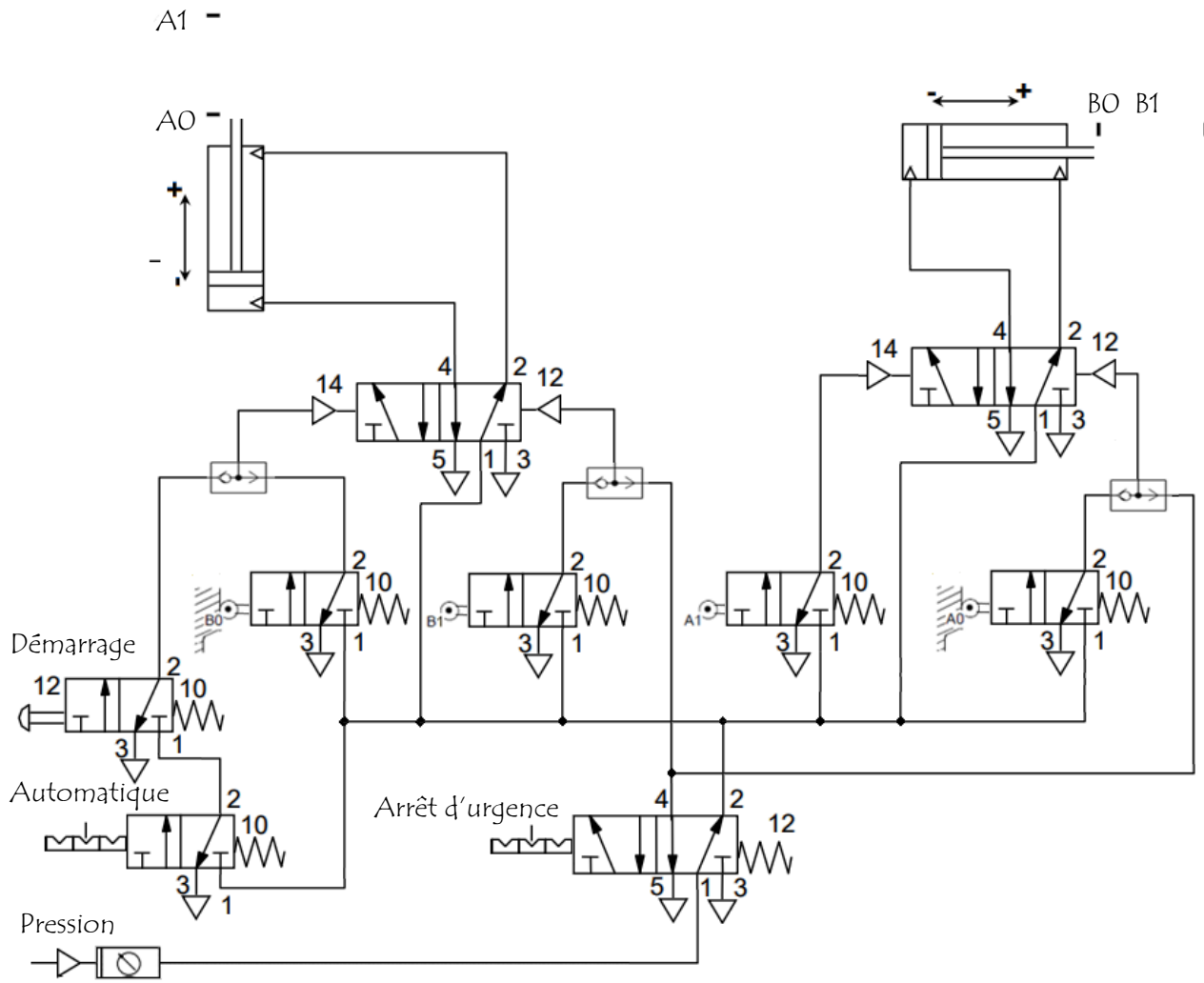


Figure 16 : Fonctionnement complet avec arrêt d'urgence