

ROYAUME DU MAROC

OFPPT

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RÉSUMÉ DE THÉORIE
&
GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE 18

SYSTÈMES AUTOMATISÉS

SECTEUR : FABRICATION MECANIQUE

SPECIALITE : TSMFM

NIVEAU : TS

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : www.marocetude.com

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

MODULES ISTA



The screenshot shows the website interface for Maroc Etude.Com. At the top, a navigation bar contains the following menu items: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, and SE CONNECTER. Below the navigation bar is the site's logo, 'Maroc Etude.Com', and the tagline 'Connaissance - Métier - Technique'. A search bar is located in the top right corner. The main content area is divided into three columns. The left column features a login section with fields for 'Identifiant' (containing 'sniper') and 'Mot de passe', a 'Connexion' button, and links for 'Mot de passe oublié ?' and 'Identifiant oublié ?'. The middle column displays a promotional banner for 'MacKeeper' with a '-20%' discount, a coupon code, and a 'Apply Discount Automatically' button. The right column contains a sidebar with 'Annonces Google' and a list of links: 'Jeu De Jeux', 'Jeux Sur Internet', 'Ecole Ingénieur', 'Dépanner et configurer votre réseau à domicile', '(Outil de Diagnostic)', 'Wi-Fi / Ethernet', 'Console de jeu', 'Imprimante', and 'Messagerie'. A blue arrow points to the 'MODULES ISTA' menu item in the top navigation bar.

Document élaboré par :

Nom et prénom
NICA DORINA

CDC Génie Mécanique

DRIF

Révision linguistique

-
-
-

Validation

-
-
-

OBJECTIF DU MODULE

MODULE 18 : SYSTEMES AUTOMATISES

Code :

Durée : 45 heures

**OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit **analyser le fonctionnement d'un système automatisé simple** selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONDITIONS D'EVALUATION

- Travail individuel.
- À partir :
 - Des consignes et directives
 - de plan, de croquis ou des schémas;
 - de questions et problèmes posés par le formateur;
- À l'aide :
 - De matériels pneumatiques, hydrauliques
 - Des documents techniques et catalogues fournisseurs de composants
 - Éventuellement d'outils informatiques

CRITÈRES GÉNÉRAUX DE PERFORMANCE

- Analyse correcte du fonctionnement
- Lecture correcte des plans et schémas
- Identification et utilisation adéquate des composants
- Respect de la démarche de travail et d'élaboration du GRAFCET
- Exactitudes des réponses aux questions et problèmes posés par le formateur

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT (suite)**

**PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

**CRITERES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE**

- | | |
|--|---|
| A. Concevoir un schéma hydraulique et pneumatique (simple, limité à un mouvement en L et U) et d'établir la nomenclature des composants | <ul style="list-style-type: none"> - Distinction correcte des différents composants - Interprétation adéquate des schémas hydrauliques/pneumatiques de l'automatisme |
| B. Analyser le fonctionnement d'un mécanisme et établir un Grafcet | <ul style="list-style-type: none"> - Bonne analyse du fonctionnement - Dialoguer avec un spécialiste dans le domaine - Représentation correcte et justifiée du GRAFCET |
| C. Rédiger le cahier des charges fonctionnel et positionner les composants indiqués par le spécialiste | <ul style="list-style-type: none"> - Rédaction adéquate et représentative d'un cahier des charges |

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

Le stagiaire doit maîtriser les savoirs, savoir-faire, savoir-percevoir ou savoir-être juges préalables aux apprentissages directement requis pour l'atteinte de l'objectif opérationnel de premier niveau, tels que :

Avant d'apprendre à concevoir un schéma hydraulique et pneumatique (simple, limité à un mouvement en L et U) et d'établir la nomenclature des composants (A) :

1. Lire et interpréter des schémas et la symbolisation graphique des composants pneumatiques et hydrauliques
2. Vérifier la capabilité d'un composant hydraulique ou pneumatique à partir du schéma de principe, des performances à atteindre et des catalogues constructeurs.

Avant d'apprendre à analyser le fonctionnement d'un mécanisme et établir un Grafcet (B) :

3. Décrire les règles de construction de diverses représentations graphiques d'une séquence.
4. Reconnaître les principaux symboles associés à diverses représentations graphiques d'une séquence.

SOMMAIRE

SYSTEMES AUTOMATISES PNEUMATIQUES ET HYDRAULIQUES

PARTIE A : SYSTEMES PNEUMATIQUES.....	7
CHAPITRE 1	
STRUCTURE D'UN SYSTEME AUTOMATISE.....	8
1.1 Description sommaire des principaux éléments.....	8
1.2 Description d'un automatisme « tout pneumatique ».....	10
1.3 Description d'un automatisme « électro-pneumatique ».....	10
CHAPITRE 2	
L'AIR COMPRIME.....	12
2.1 Utilisation de l'air comprimé.....	12
2.2 Production et distribution d'air comprimé.....	13
2.3 Structure d'une installation pneumatique.....	15
2.4 Conditionnement d'air comprimé.....	21
CHAPITRE 3	
LES PRINCIPAUX COMPOSANTS PNEUMATIQUES.....	27
3.1 Distributeurs (préactionneurs).....	27
3.2 Clapets.....	35
3.3 Réducteurs de débit.....	38
3.4 Actionneurs.....	39
CHAPITRE 4	
CIRCUITS PNEUMATIQUES. EXERCICES.....	46
4.1 Pilotage direct d'un vérin.....	46
4.2 Pilotage indirect d'un vérin.....	48
4.3 Circuit mémoire et commande en fonction de la vitesse.....	51
4.4 Déplacement coordonné.....	53
PARTIE B : SYSTEMES HYDRAULIQUES.....	56
CHAPITRE 1	
LA CENTRALE HYDRAULIQUE.....	57
1.1 Réservoir.....	57

1.2 La filtration.....	58
1.3 Les pompes.....	60
1.4 Le limiteur de pression (soupape de sûreté).....	63
1.5 Mesures de pression.....	65
 CHAPITRE 2	
LES COMPOSANTS HYDRAULIQUES.....	66
2.1 Réducteur de pression à action directe.....	66
2.2 Soupape de séquence.....	67
2.3 Distribution du fluide.....	68
2.4 Réglage de débit.....	72
2.5 Les actionneurs.....	74
 CHAPITRE 3	
CIRCUITS HYDRAULIQUES. EXERCICES DE SYNTHÈSE.....	84
3.1 Schéma d'une installation prévue pour le contrôle du déplacement d'une charge Q par une soupape de séquence utilisée en équilibrage.....	84
3.2 Utilisation d'un accumulateur en réserve d'énergie.....	84
3.3 Utilisation d'un accumulateur pour maintenir un vérin sous pression.....	85
3.4 Schéma d'une presse hydraulique avec pompe à main à deux vitesses.....	86
3.5 Travaux pratiques.....	86
 PARTIE C LE GRAFCET.....	
92	
 CHAPITRE 1	
NOTIONS DE BASE.....	93
1.1 Diagramme fonctionnel.....	93
1.2 Description du fonctionnement de la partie opérative.....	94
1.3 Etude de la partie commande.....	94
1.4 Représentation du Grafcet.....	96
 CHAPITRE 2	
GRAFCET A SEQUENCE UNIQUE.....	100
2.1 Notion de séquence.....	100
2.2 Grafcet à séquence unique. Exemple.....	100
 CHAPITRE 3	
GRAFCET AVEC SELECTION DE SEQUENCE :	
AIGUILLAGE.....	106
3.1 Multiplicité des cycles.....	106
3.2 Exclusivité des choix. Exemple.....	107
 CHAPITRE 4	
RECAPITULATIF.....	112

CHAPITRE 5

EXERCICES.....114

5.1 Remplissage d'un silo à grains.....114

5.2 Poste de reprise.....114

5.3 Station de mélange.....116

5.4 Poste de distribution.....117

5.5 Palettiseuse.....118

5.6 Chaîne de soudage.....119

5.7 Exercice de synthèse.....120

BIBLIOGRAPHIE.....12

2

PARTIE A

SYSTEMES PNEUMATIQUES

CHAPITRE 1 STRUCTURE D'UN SYSTEME AUTOMATISE

Tous les systèmes automatisés répondent, en général, à la même structure :

- une partie opérative ;
- une partie commande ;
- un pupitre (dialogue) (voir fig. 1.1)

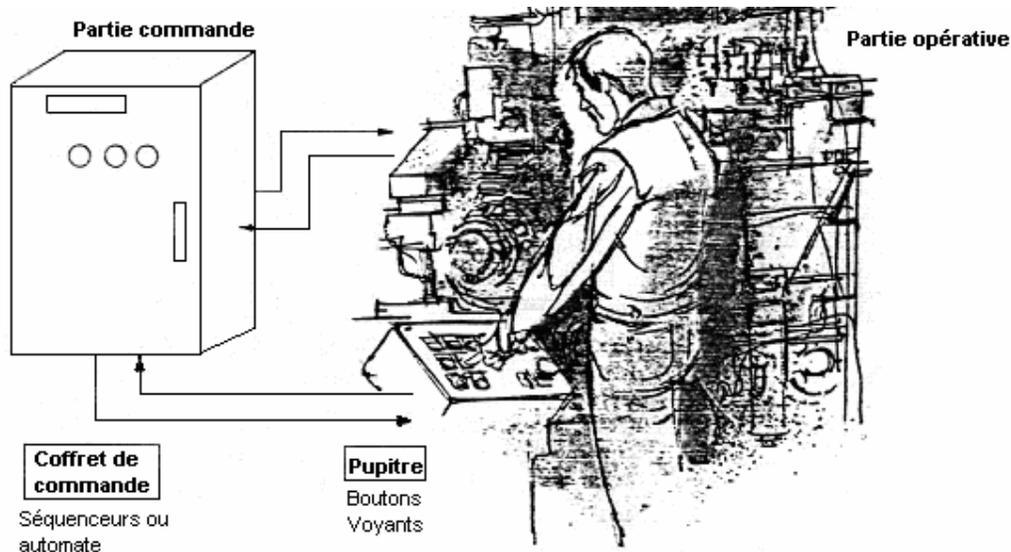


Figure 1.1 Structure d'un système automatisé « tout pneumatique »

La partie opérative. Ce secteur de l'automatisme relie les actionneurs de type électrique, pneumatique ou hydraulique aux divers éléments mécaniques pour effectuer des actions suivant une logique organisée.

La partie commande. Cette partie du système automatisé contrôle le déroulement du cycle. Elle fournit les signaux de commande de type électrique ou pneumatique vers les pré-actionneurs.

Le pupitre. Cet élément regroupe les boutons et voyants qui assurent la mise en marche, les arrêts d'urgence et autres commandes du système.

1.1 Description sommaire des principaux éléments

- **Les actionneurs.** Ils représentent les organes visibles du mécanisme.

Ils effectuent le travail et doivent être adaptés au milieu dans lequel ils travaillent.

Parmi les principaux **actionneurs** utilisés dans les systèmes automatisés, on peut citer :

- les vérins linéaires (simple et double effet) VSE - VDE ;
- les vérins rotatifs ;
- les vérins sans tiges ;
- les moteurs pneumatiques et hydrauliques ;
- les moteurs électriques.

- **Les préactionneurs (distributeurs).**

Le rôle de ces éléments est de diriger la pression vers l'actionneur et de réagir aux ordres en provenance de la partie commande.

- **La détection (les capteurs).**

Il existe sur le marché de nombreux types de capteurs. Ils peuvent être pneumatiques ou électriques. Leurs rôles consistent à contrôler l'exécution du travail. Ils délivrent une information à la partie commande.

- **La partie commande.**

Dans les automatismes, il existe obligatoirement une partie commande qui a pour rôle d'organiser le déroulement logique des opérations. Son travail consiste à collecter les informations en provenance des capteurs, de traiter ces informations et de délivrer ensuite des ordres à la partie opérative, en vue d'effectuer une tâche programmée. La partie commande assure donc le traitement des informations dans un ordre logique étudié auparavant à partir d'un cahier des charges parfaitement défini.

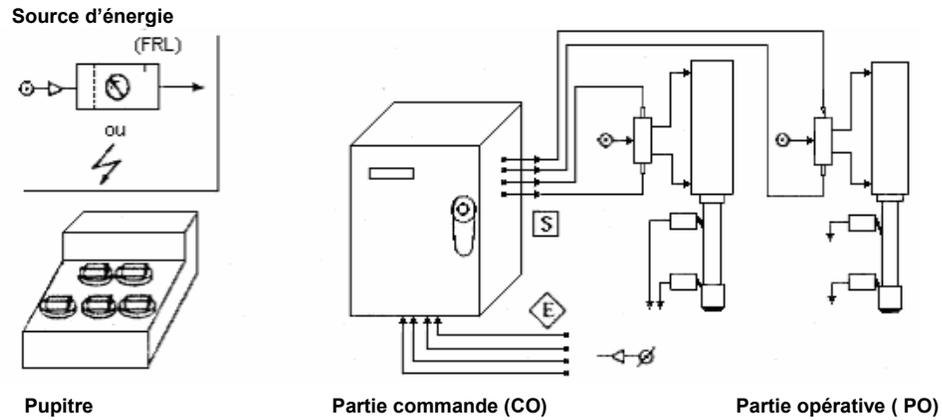


Figure 1.2

Cette technologie peut être de deux types :

- tout pneumatique,
- électro – pneumatique.

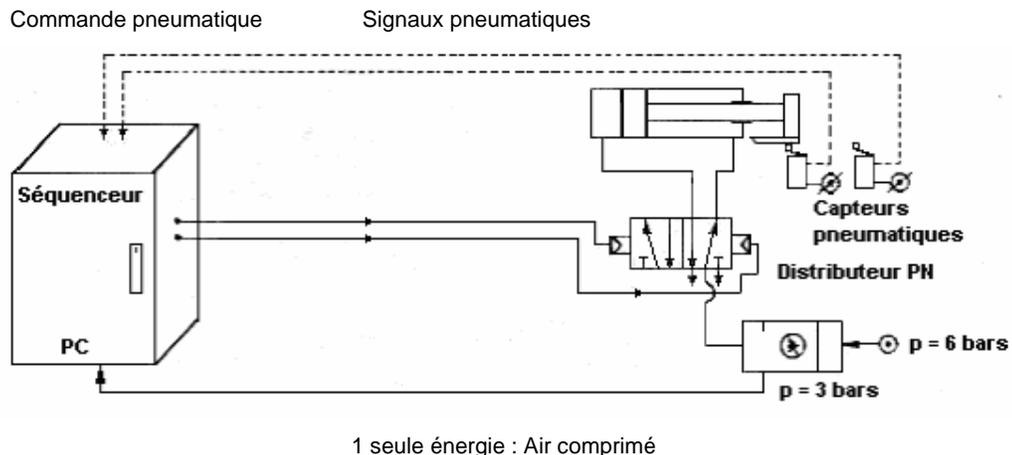
1.2 Description d'un automatisme « tout pneumatique »

Dans ce type d'automatisme, l'énergie pneumatique sera la seule utilisée. L'air comprimé alimente les vérins et assure également le traitement des informations émises par les capteurs.

Généralement, on distingue *trois circuits* :

- le circuit air lubrifié :
- le circuit air sec :
- le circuit basse pression :

Schéma de principe



1 seule énergie : Air comprimé

Figure 1.3

Le distributeur est pneumatique (pilotage pneumatique).

Les capteurs sont pneumatiques.

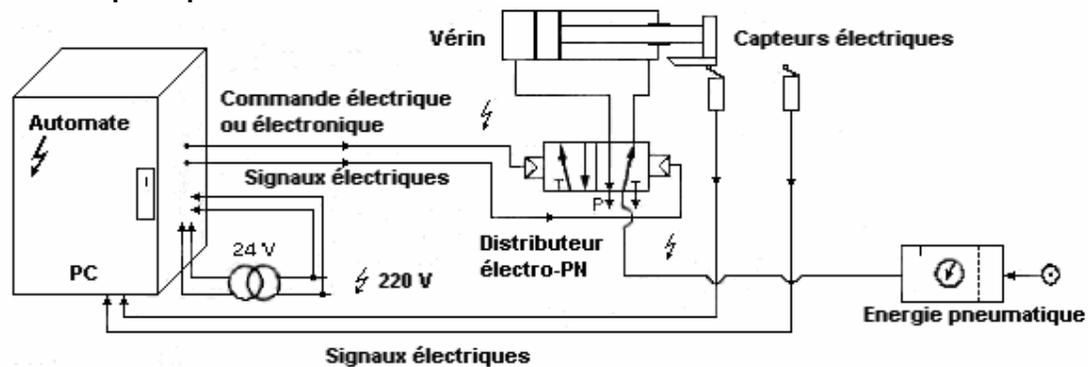
1.3 Description d'un automatisme « électro-pneumatique »

Ici, les deux sources d'énergie sont utilisées.

L'énergie pneumatique assure l'alimentation des actionneurs.

L'énergie électrique servira à l'alimentation de la partie commande.

Schéma de principe



2 énergies : Electrique-pneumatique

Figure 1.4

Des électrovannes équipent le distributeur pneumatique.

Les capteurs sont de type électrique.

Remarque sur la commande « tout pneumatique »

Dans la pratique, les vérins pneumatiques s'associent mieux aux capteurs pneumatiques qu'aux capteurs électriques.

CHAPITRE 2 L'AIR COMPRIME

2.1 Utilisation de l'air comprimé

Dans les systèmes pneumatiques, l'air comprimé est utilisé comme source d'énergie. De production facile, il présente un certain nombre d'avantages. A la base, il est disponible partout et en quantité illimitée.

L'air comprimé utilisé dans les systèmes pneumatiques est au départ de l'air à la pression atmosphérique porté artificiellement à une pression élevée appelée *pression d'utilisation*.

➤ **Avantage de cette source d'énergie**

- L'air comprimé se transporte facilement dans des conduites.
- Il est propre et les composants fonctionnant sous cette énergie sont peu coûteux.
- Une grande quantité d'énergie peut être emmagasinée sous forme d'air comprimé dans un réservoir.
- Les échappements d'air ne sont que peu polluants donc l'air utilisée peut être rejeté directement à l'air libre après usage.

➤ **Inconvénients**

Malgré de nombreux avantages, l'automatisation par l'air comprimé présente certains inconvénients qu'il faut prendre en considération.

- Cette source d'énergie, exige un excellent conditionnement (filtration). Aucune impureté, aucune poussière, etc., ne doit pénétrer dans le système.

- Le mauvais entretien des compresseurs et l'installation inadéquate des circuits de distribution sont les facteurs qui occasionnent le plus des dépenses lors de l'utilisation de l'air comprimé.
- Il est difficile d'obtenir des vitesses régulières du fait de la compressibilité de l'air. Les forces développées restent relativement faibles. Pour des efforts importants il est préférable et impératif d'avoir recours à « l'hydrauliques ».
- L'air des échappements est bruyant. Ce phénomène désagréable se trouve en partie résolu grâce à l'utilisation de silencieux.

➤ Pression d'utilisation

Dans les systèmes pneumatiques, la pression d'utilisation se situe entre 3 et 10 bars.

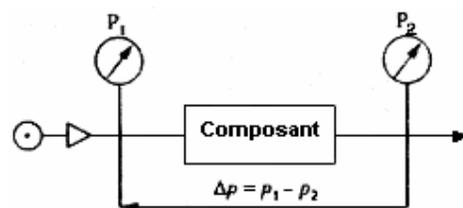
➤ Unité de pression

La pression constitue la première grandeur. Elle s'exprime en bars.

- *Définition* : Le bar est le rapport d'une force de 1 daN sur une surface de 1 cm².
- *Formule*: $1 \text{ bar} = \frac{1 \text{ daN}}{1 \text{ cm}^2}$

➤ Les pertes de charge

Elles se définissent comme étant la différence de pression mesurée entre l'orifice d'entrée (amont) et l'orifice de sortie (aval). La désignation se nomme Δp .



Remarques concernant la sécurité

L'air comprimé peut être mortel. En aucun cas, il ne doit être utilisé pour souffler sur une personne, plus particulièrement à proximité des yeux ou des oreilles. Toute tendance à agir de cette sorte sera sévèrement réprimée. Une pression inférieure à 0,6 bar suffit à l'air pour pénétrer à travers la peau et former des bulles d'air dans le sang. Ces bulles d'air peuvent remonter vers le cœur et provoquer une issue fatale.

2.2 Production et distribution d'air comprimé

La production de l'air comprimé commence dès la phase de compression. L'air comprimé doit traverser toute une série de sous-ensembles avant d'atteindre l'organe moteur. Le type de compresseur utilisé, ainsi que sa situation géographique peuvent avoir une influence plus ou moins grande sur la quantité d'impuretés, d'huile et d'eau pouvant atteindre le système pneumatique. Pour éviter ce genre d'inconvénients, le dispositif d'alimentation en air comprimé doit comporter les éléments suivants :

- un filtre d'aspiration ;
- un compresseur ;
- un réservoir d'air comprimé ;
- un déshydrateur ;
- un filtre à air comprimé avec séparateur de condensat ;
- un régulateur de pression ;
- un lubrificateur ;
- des points de purge du condensat.

D'une manière générale, les composants pneumatiques sont conçus pour supporter une pression de service maximum de 8 à 10 bar. Si l'on veut exploiter l'installation avec un maximum de rentabilité, une pression de 6 bars sera amplement suffisante. En raison d'une certaine résistance à l'écoulement au niveau des composants (par exemple au passage des étranglements) et dans les canalisations, il faut compter avec une perte de charge comprise entre 0,1 et 0,5 bar. Il faut donc que le compresseur soit en mesure de fournir une pression de 6,5 à 7 bar pour assurer une pression de service de 6 bars.

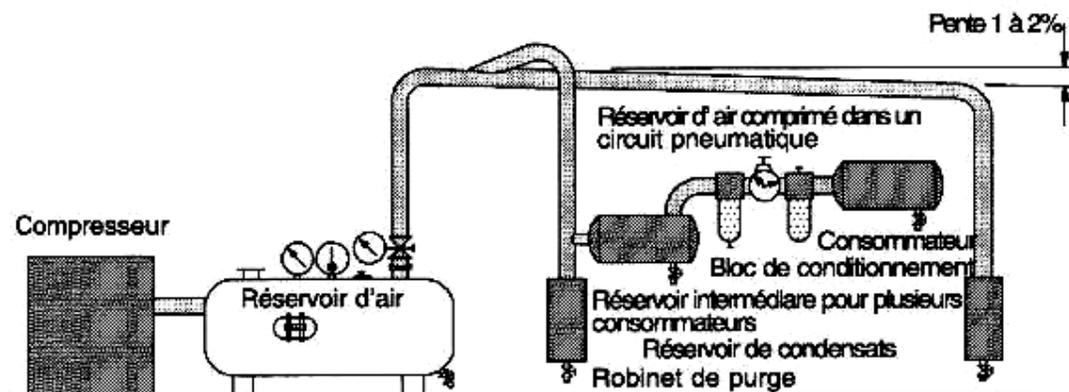


Figure 2.1

- Les prises doivent toujours être situées au sommet de la canalisation afin d'éliminer l'entraînement d'eau de condensation dans l'équipement.
- Toutes les canalisations doivent être installées en pente descendante, vers une tuyauterie de purge, afin de faciliter l'évacuation de l'eau et empêcher qu'elle ne pénètre dans les appareils où elle aurait un effet nuisible.
- La pente doit toujours être descendante, en s'éloignant du compresseur, pour éviter que l'eau de condensation ne retourne dans le réservoir.

2.3 Structure d'une installation pneumatique

2.3.1 Description d'une installation pneumatique

Tout installation pneumatique assurant une production et une distribution d'air comprimé comprend :

- un ou plusieurs compresseurs pourvus chacun d'un moteur d'entraînement,
- un réservoir d'air,
- un système de traitement de l'air,
- un dispositif de sécurité et de régularisation,
- un ensemble de circuits de distribution généralement réalisé en tube acier ou cuivre.

2.3.2 Mise en œuvre d'un réseau

Lorsque la consommation d'air est importante (usine fortement automatisée) le compresseur, avec ses installations annexes, sera assez conséquent. De ce fait, un local souvent insonorisé et propre, sera réservé à ces effet. L'air comprimé produit doit donc être amené sur les lieux d'utilisation. Pour cela, un réseau de canalisations va parcourir les différents ateliers et sites d'utilisation.

Quelques règles sont à respecter

- Il faut prévoir pour le réseau principal une canalisation capable d'assurer d'éventuelles extensions. Cette canalisation doit être correctement dimensionnée.
- Les dimensions des tuyaux doivent être calculées assez largement pour que la perte de charge entre le réservoir et le point d'utilisation n'excède pas 10% de la pression initiale.

- Il est impératif de prévoir, sur les canalisations, une légère pente et de placer à chaque point bas un réservoir avec purgeur afin de recueillir toute la condensation se trouvant dans les tuyaux.
- La pente doit toujours être descendante, en s'éloignant du compresseur, pour éviter que l'eau de condensation ne retourne dans le réservoir.

2.3.3 Schéma d'installation et de distribution d'un réseau d'air

(Figure 2.2)

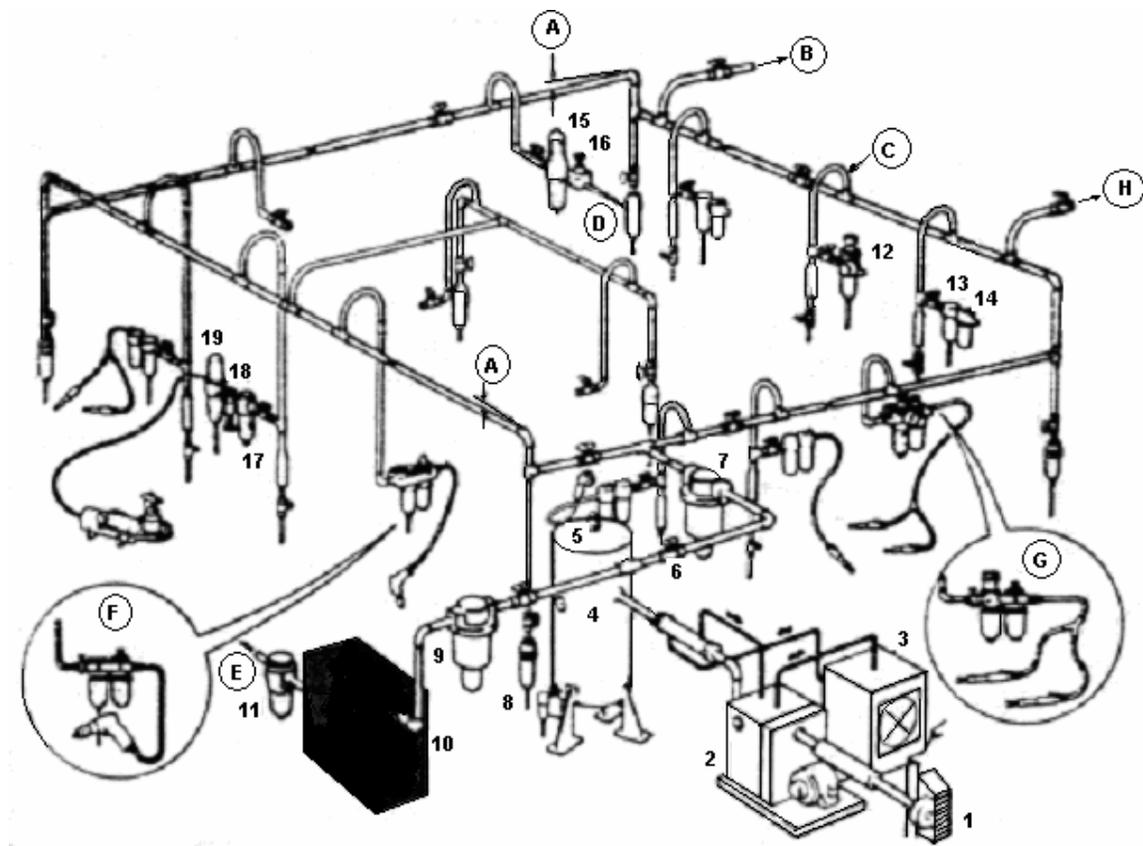


Figure 2.2 Réseau type d'air comprimé

1 - Filtre d'aspiration

2 - Compresseur

3 - Système de circulation d'eau

4 - Réservoir d'air

5 - Soupape de sûreté

16 - Régulateur de pression

17 - Filtre

18 - Régulateur de pression

19 - Filtre

6 - *Vanne d'isolement*

7 - *Filtre principal*

8 - *Purge automatique*

9 - *Filtre*

10 - *Sécheur*

11 - *Filtre*

12 - *Filtre - régulateur*

»

13 - *Filtre à purge automatique*

14 - *Lubrificateur*

15 - *Filtre*

• *Ensembles de précision*

A - Pente dans le sens d'écoulement

B - Vers local des machines

C - Courbe de prise d'air

D - Vers instruments de mesure

E - Air sec vers contrôle « régularisation

F - Ensemble F L Section A

G - Ensemble F R L Section A

H - Vers extension future

2.3.4. Compresseurs

Les compresseurs peuvent être classés, selon leur type de construction, en deux catégories :

- **Les compresseurs dynamiques** : la compression est obtenue par transformation de la vitesse de l'air aspiré en pression. Dans ce groupe on a principalement : les compresseurs alternatifs à pistons, les compresseurs rotatifs à vis, les compresseurs rotatifs à palettes, etc.
- **Les compresseurs volumétriques** : la compression est obtenue par réduction de l'espace contenant l'air aspiré. Ces compresseurs ne sont pas utilisés pour la fabrication de l'air comprimé destiné aux réseaux de distribution des ateliers. Ils trouvent un emploi, par exemple :
 - pour aspirer des matériaux légers : poussières et liquides (aspirateurs domestiques et industriels), gaz nocifs, etc.
 - pour climatiser les locaux.

Le choix d'un compresseur dépend de la pression de travail et du débit d'air dont on a besoin. Si le compresseur est monté directement sur le réservoir, l'ensemble ainsi formé est désigné sous le terme de groupe motocompresseur.

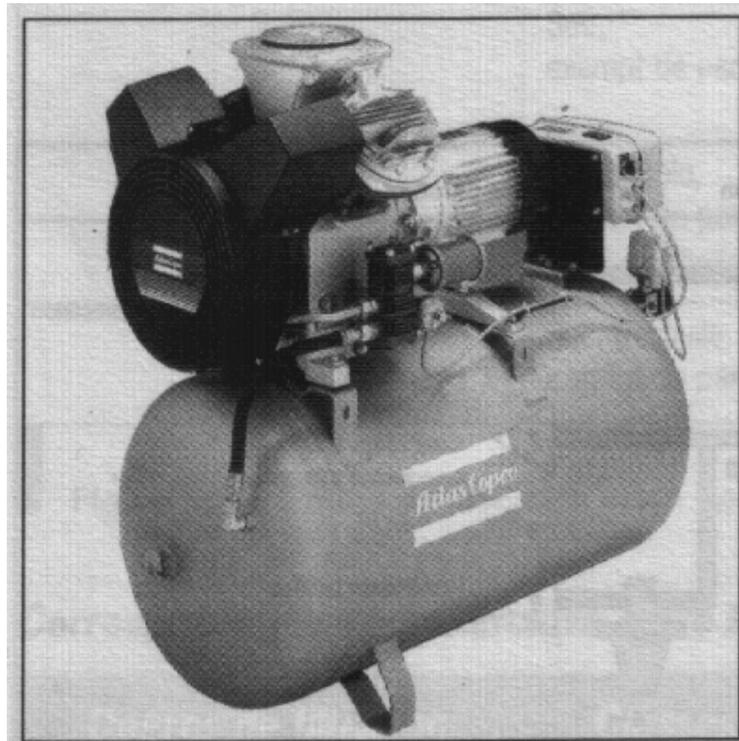
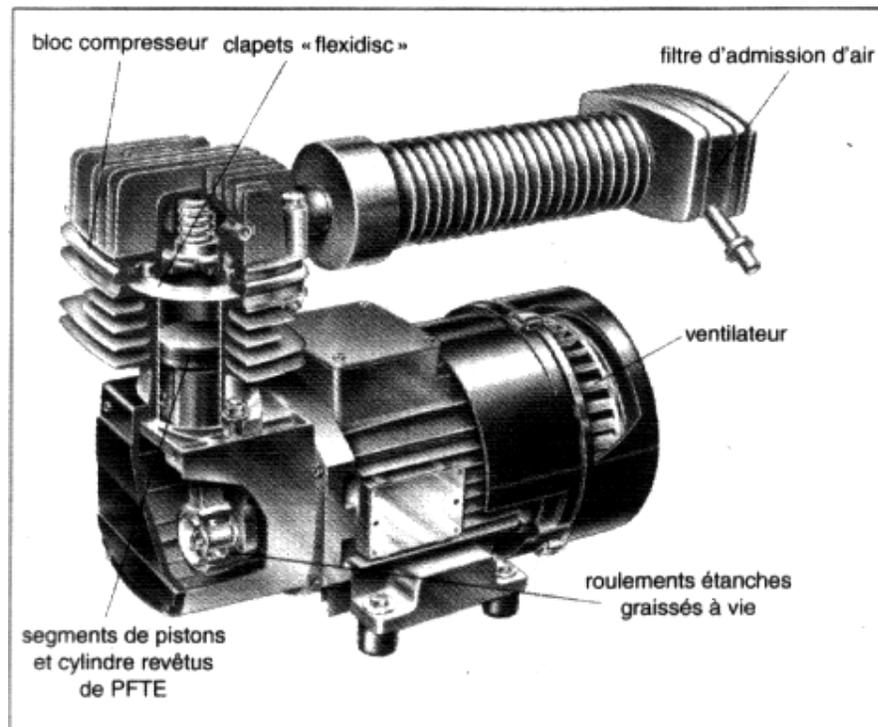


Figure 2.3 Groupe motocompresseur

- **Compresseur à piston**

L'air aspiré par une soupape d'admission est comprimé par un piston puis envoyé dans le circuit par une soupape d'échappement.



* PFTE polytétrafluoroéthylène (Teflon)

Figure 2.4 Compresseur à piston

Les compresseurs à pistons sont fréquemment utilisés en raison de l'importante plage de pressions qu'ils offrent. Pour la production de pressions encore plus importantes on fera appel à des compresseurs à plusieurs étages, le refroidissement de l'air se faisant dans ce cas entre les étages du compresseur.

- **Compresseur rotatif à palettes**

Les palettes coulissent librement dans les rainures du rotor et sont plaquées par la force centrifuge sur la périphérie de la chambre du compresseur. L'axe du rotor étant excentré par rapport à l'axe du stator, on obtient ainsi, lors de la rotation, une zone d'aspiration dont le volume augmente progressivement, suivie d'une zone de compression dont le volume décroît régulièrement.

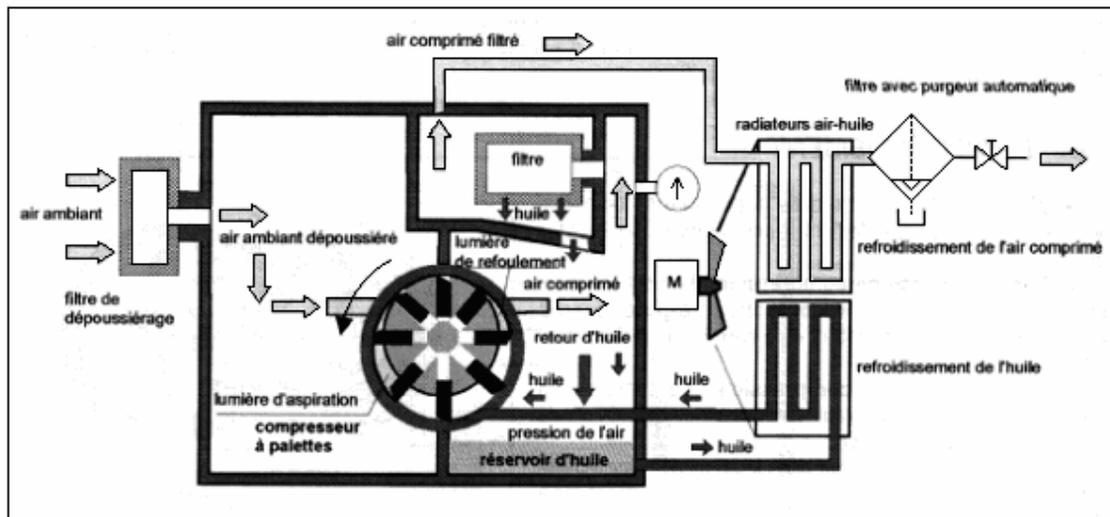


Figure 2.5 Principe d'un groupe compresseur à palettes

- **Compresseur à vis**

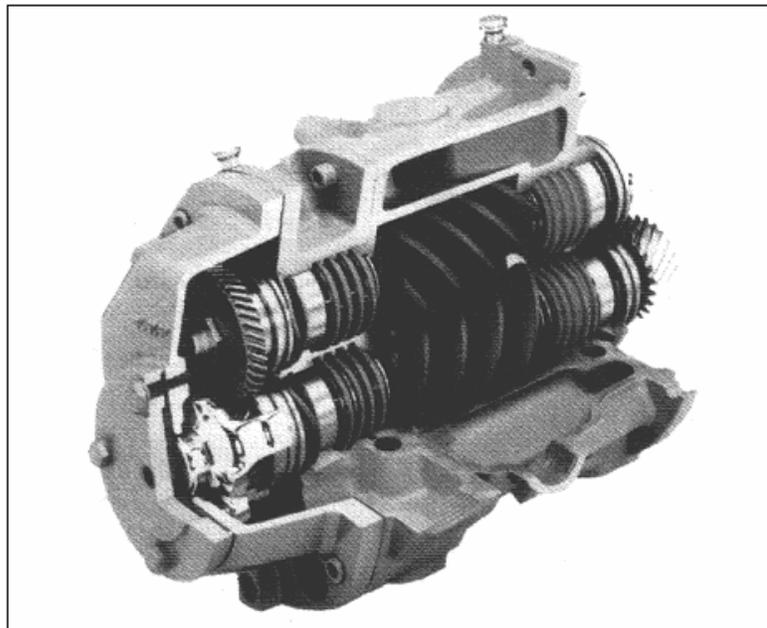


Figure 2.6

Les vis engrènent sans contact avec un jeu très réduit et tournent à sec ou dans un mélange huile - air. Le plein de la vis mâle en entrant dans le creux de la vis femelle réduit le volume existant. L'air emprisonné monte en pression progressivement le long de la vis et est évacué vers l'avant.

2.3.5 Réservoir d'air

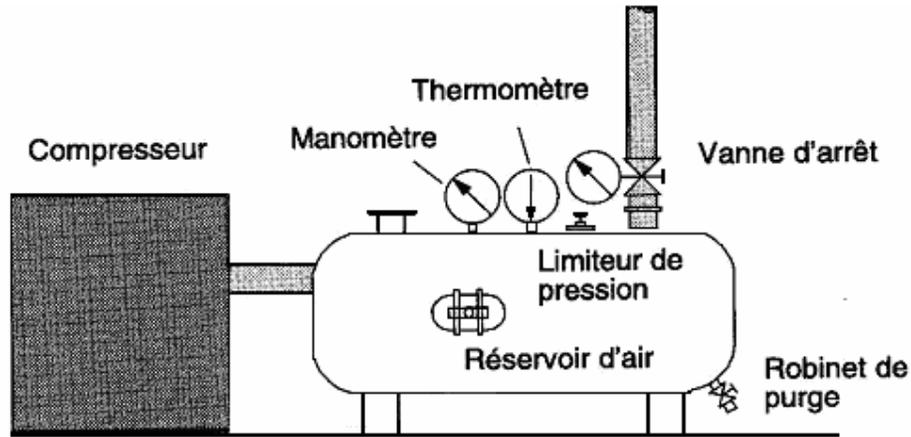


Figure 2.7

Le réservoir est chargé d'emmagasiner l'air comprimé refoulé par le compresseur. Il permet de stabiliser l'alimentation en air comprimé sur le réseau et de compenser les variations de pression.

La surface relativement importante du réservoir permet de refroidir l'air comprimé. L'eau de condensation est ainsi éliminée et doit être régulièrement purgée au moyen du robinet de purge.

La capacité du réservoir est fonction :

- du débit du compresseur ;
- de la consommation du réseau ;
- de la longueur du réseau de distribution (volume supplémentaire) ;
- du mode de régulation ;
- des variations de pression admissibles à l'intérieur du réseau.

2.3.6 Déshydrateur

Un taux d'humidité trop important dans l'air comprimé peut contribuer à réduire la durée de vie des systèmes pneumatiques. Il est donc indispensable de monter sur le réseau un déshydrateur qui permet d'abaisser l'humidité de l'air au taux voulu. La déshydratation de l'air peut être réalisée par :

- déshydratation par le froid ;
- déshydratation par adsorption ;
- séchage par absorption.

Le déshydrateur le plus fréquemment employé est le dessiccateur d'air par le froid. L'air qui le traverse est porté à une température inférieure au point de rosée. L'humidité contenue dans le flux d'air est ainsi éliminée et recueillie dans un séparateur.

➤ **Déshydrateur d'air par le froid**

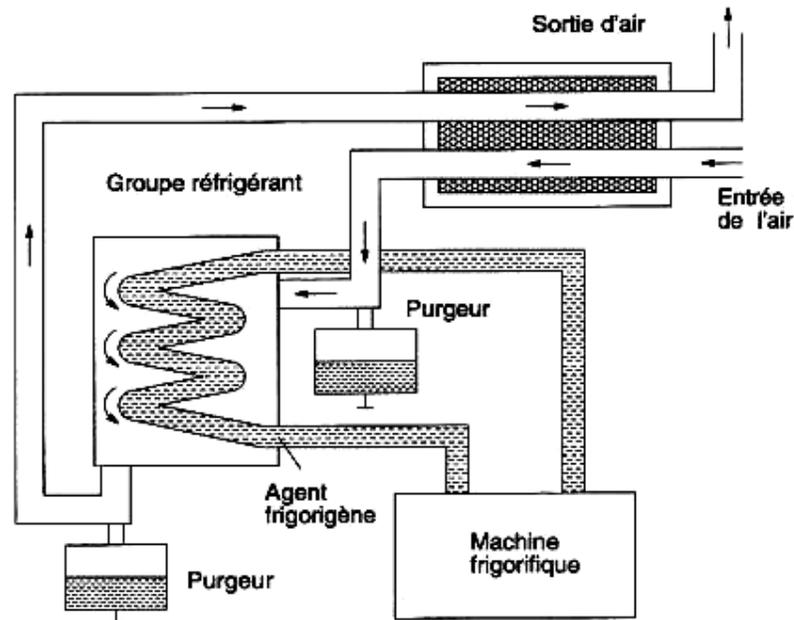


Figure 2.8

2.4 Conditionnement d'air comprimé

➤ **Matériel utilisé**

Pour le traitement de l'air, le matériel utilisé est une **unité de conditionnement d'air comprimé appelée FRL** (filtre, régulateur de pression, lubrificateur)

➤ **Rôle**

L'air à la sortie du compresseur est véhiculé par des conduites en acier ou plastique sur le lieu d'utilisation. L'unité de conditionnement est destinée à préparer l'air en vue de son utilisation dans les systèmes en le débarrassant des poussières, vapeur d'eau et autres particules nuisibles qui provoqueront des pannes dans les installations.

➤ Constitution de l'ensemble

Cet ensemble modulaire est constitué de deux ou trois appareils montés en série dans un ordre déterminé.

Il se compose de la façon suivante :

- un *filtre* qui épure l'air et le purge de l'eau qu'il contient.
- un *régulateur de pression* qui maintient l'air à une pression constante et réglable.
- un *lubrificateur* qui a pour rôle d'incorporer à l'air comprimé un brouillard d'huile afin de lubrifier les parties mobiles des composants constituant le système pneumatique (figure 2.9).

Représentation symbolique

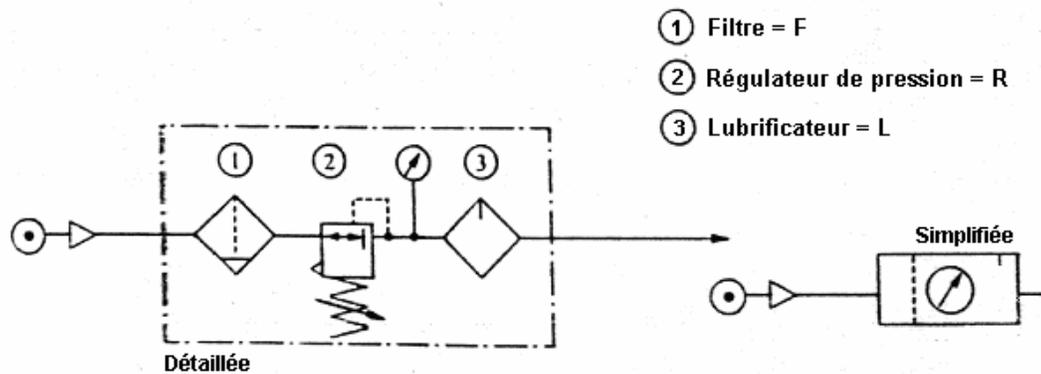


Figure 2.9

➤ Installation

Sur les systèmes utilisant l'air comprimé comme source d'énergie, le traitement de l'air se monte à l'entrée de l'installation. Il faut également prévoir une vanne d'isolement pour les opérations de maintenance.

2.4.1. Filtre à air comprimé

L'eau de condensation, l'encrassement et un excès d'huile peuvent provoquer une usure des pièces mobiles et des joints des composants pneumatiques. Il peut arriver que ces substances s'échappent par des fuites. Sans l'utilisation de filtres à air comprimé, des matières d'œuvre telles que les produits des industries alimentaire, pharmaceutique et chimique peuvent être polluées et, par conséquent, rendues inutilisables.

Le choix d'un filtre à air comprimé est très important pour l'alimentation du réseau en air comprimé de bonne qualité. Les filtres à air se caractérisent en fonction de leur porosité. C'est elle qui détermine la taille de la plus petite particule pouvant être filtrée.

En entrant dans le filtre à air (voir la figure ci-dessous), l'air comprimé est projeté contre un déflecteur qui l'entraîne en rotation. Les particules d'eau et les particules solides sont séparées du flux d'air par l'effet de la force centrifuge et sont projetées sur la paroi intérieure de la cuve du filtre avant de s'écouler dans le collecteur. L'air pré-nettoyé traverse la cartouche filtrante dans laquelle doit encore avoir lieu la séparation des particules solides de taille supérieure à la taille des pores. Sur les filtres normaux, la porosité se situe entre 5 μm et 40 μm .

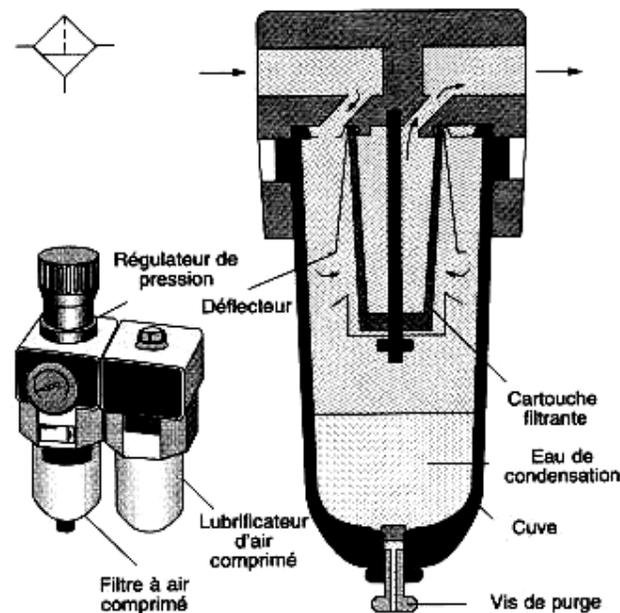


Figure 2.10

On entend par taux de filtration le pourcentage de particules retenues par le filtre au passage du flux d'air. En se basant sur une largeur de pore de 5 μm , le taux de filtration atteint en général 99,99%. Certaines versions de filtre sont même capables de filtrer les condensats. L'air de condensation accumulé doit être vidangé avant d'atteindre le repère car il pourrait sinon être réaspiré par le flux d'air.

Au bout d'un certain temps de fonctionnement, il faut remplacer la cartouche filtrante car elle pourrait être obturée par un trop fort encrassement.

En fait, le filtre continue à fonctionner malgré l'encrassement mais il risque d'opposer une trop grande résistance au flux d'air et, par conséquent, augmenter la chute de pression.

2.4.2. Régulateur de pression (manodétendeur)

L'air comprimé produit par le compresseur est soumis à des variations. En se répercutant sur le réseau, ces variations de pression peuvent affecter les caractéristiques de commutation des distributeurs, le facteur de marche des vérins et le réglage des réducteurs de débit et distributeurs bistables.

Un niveau de pression constant est un préalable au fonctionnement sans problème d'une installation pneumatique. Afin de garantir un maintien constant de ce niveau de pression, on raccorde au circuit des manodétendeurs, montés de façon centrale, qui assurent une alimentation en pression constante du réseau (pression secondaire), ce, indépendamment des variations de pression pouvant se manifester dans le circuit de commande principal (pression primaire). Le réducteur de pression, encore appelé manodétendeur, est monté en aval du filtre à air comprimé et maintient constante la pression de service. Le niveau de pression doit toujours être ajusté en fonction des exigences de chaque installation.

➤ Régulateur de pression avec orifice d'échappement

Une pression de service trop importante peut entraîner une dépense d'énergie excessive et une augmentation de l'usure. Par contre, une pression trop faible peut être à l'origine d'un mauvais rendement, en particulier dans la partie puissance.

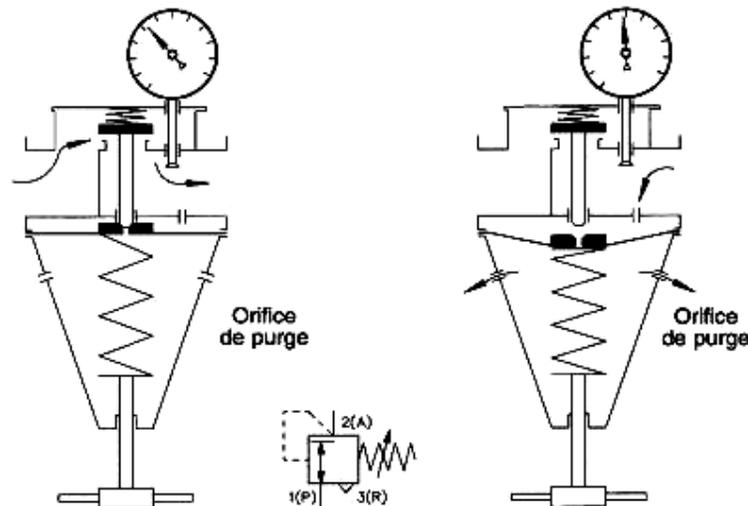


Figure 2.11

Principe de fonctionnement (voir la figure 2.11): La pression d'entrée (pression primaire) du réducteur de pression est toujours supérieure à la pression de sortie (pression secondaire).

La régulation de la pression se fait par l'intermédiaire d'une membrane. La pression de sortie s'exerçant sur un côté de la membrane s'oppose à la force d'un ressort s'exerçant de l'autre côté. La force du ressort peut être réglée par l'intermédiaire d'une vis.

Lorsque la pression secondaire augmente, par exemple en cas d'alternance de charge sur le vérin, la membrane est poussée contre le ressort, ce qui a pour effet de réduire, et même de fermer complètement la section de sortie du clapet. Le clapet de la membrane s'ouvre et l'air comprimé peut s'échapper à l'air libre par les orifices d'échappement pratiqués dans corps du régulateur.

Lorsque la pression secondaire baisse, le ressort ouvre le clapet. Le fait de pouvoir obtenir, grâce à une régulation de l'air comprimé, une pression de service pré-ajustée signifie donc que le clapet effectue un mouvement d'ouverture et de fermeture permanent commandé par le débit d'air. La pression de service est indiquée par un manomètre.

➤ **Régulateur de pression
sans orifice d'échappement**

Principe de fonctionnement : Lorsque la pression de service (pression secondaire) est trop haute, la pression augmente au niveau du clapet et pousse la membrane à l'encontre de la force du ressort. Simultanément, la section de sortie du clapet se réduit ou se ferme, ce qui a pour effet de réduire ou de stopper le débit. L'air comprimé ne pourra recirculer que lorsque la pression de service sera redevenue inférieure à la pression primaire (voir la figure 2.12).

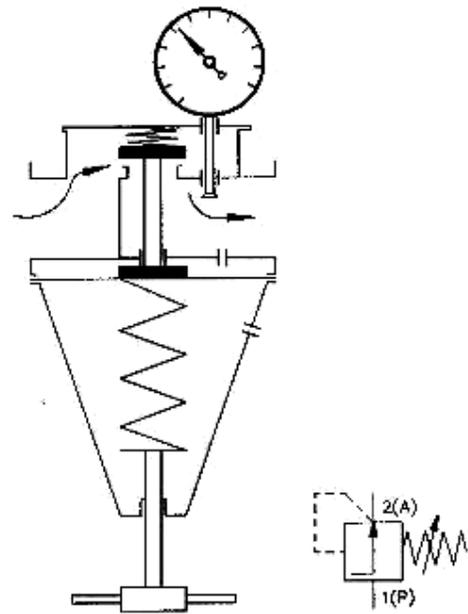


Figure 2.12

2.4.3. Lubrification de l'air comprimé

D'une manière générale, il faut éviter de lubrifier l'air comprimé. Par contre, si certaines pièces mobiles des distributeurs et des vérins nécessitent une lubrification extérieure, il faut prévoir un apport d'huile suffisant et continu dans l'air comprimé.

La lubrification de l'air comprimé doit se limiter aux parties d'une installation nécessitant un air comprimé lubrifié. L'huile mêlée à l'air comprimé par le compresseur ne convient pas pour la lubrification des éléments pneumatiques.

Il ne faut pas faire fonctionner avec un air comprimé lubrifié les vérins dotés de joints résistants à la chaleur car leur graisse spéciale pourrait être rincée par l'huile.

L'air comprimé doit être lubrifié dans les cas suivants :

- nécessité de déplacements extrêmement rapides ;
- utilisation de vérins à grand alésage (dans ce cas il est conseillé de monter le lubrificateur immédiatement en amont du vérin).

Une lubrification excessive peut entraîner les problèmes suivants :

- mauvais fonctionnement de certains composants ;
- pollution de l'environnement ;
- gommage de certains éléments après une immobilisation prolongée.

L'air comprimé traverse le lubrificateur (voir la figure 2.13) et provoque au passage d'un venturi une dépression utilisée pour aspirer l'huile arrivant par un tube vertical relié au réservoir. L'huile passe ensuite dans une chambre où elle est pulvérisée par le flux d'air avant de continuer son parcours.

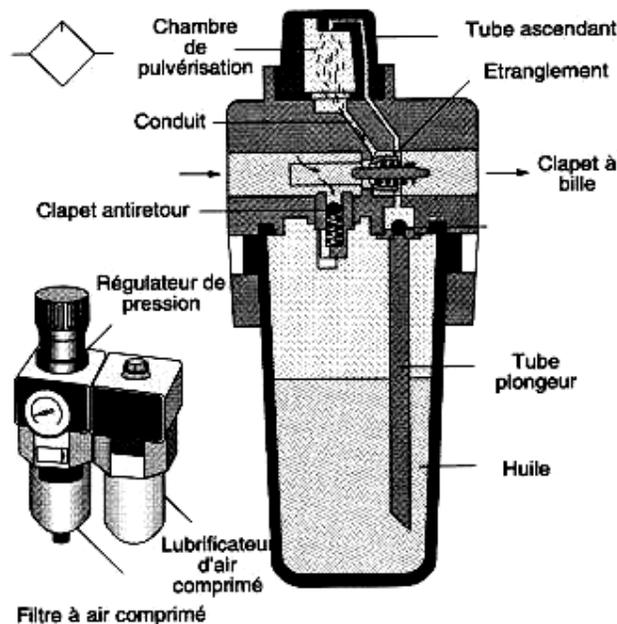


Figure 2.13

CHAPITRE 3 LES PRINCIPAUX COMPOSANTS PNEUMATIQUES

3.1 Distributeurs (préactionneurs)

Les distributeurs sont des appareils qui permettent d'agir sur la trajectoire d'un flux d'air, essentiellement dans le but de commander un démarrage, un arrêt ou un sens de débit. Il existe plusieurs types de distributeurs (voir le tableau suivant) :

Distributeurs: orifices et positions de commutation		
Nombre de positions		
Nombre d'orifices		
Distributeur en position ouverte	2/2	
Distributeur en position fermée	3/2	
Distributeur en position ouverte	3/2	
Distributeur orifices à droite position commutation à gauche	4/2	
Distributeur orifices à droite position commutation à gauche	5/2	
Distributeur fermé en position médiane	5/3	

On représente les différents modèles de distributeurs à l'aide de symboles. Le symbole représentant le distributeur indique le nombre de ses orifices, ses positions de commutation et son mode de commande. Aucune indication n'est donnée en ce qui concerne sa technologie de construction, l'accent étant mis uniquement sur ses fonctions.

Chaque symbole est constitué d'une case rectangulaire à l'intérieur de laquelle on trouve deux ou trois carrés. Ces carrés désignent le nombre de positions que peut prendre le distributeur symbolisé. À l'intérieur de chaque carré, des flèches indiquent le sens de la circulation du fluide pour chacune des positions du distributeur.

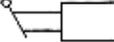
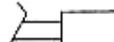
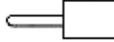
Généralement les orifices sont identifiés par des lettres. Ainsi, selon la norme ISO 1219, les orifices d'un distributeur sont identifiés comme suit :

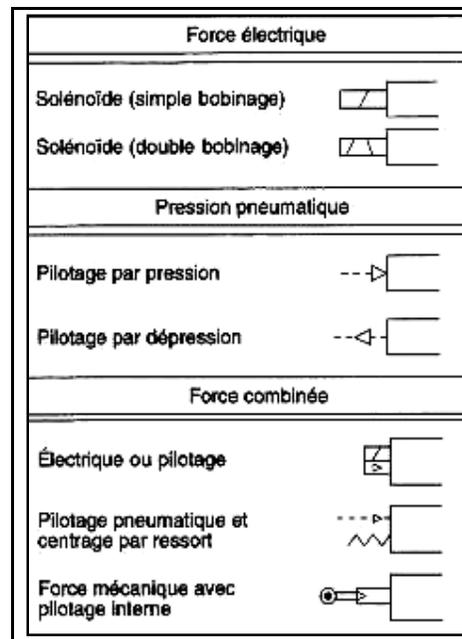
- Pression d'alimentation (source d'énergie) : P
- Sortie ou utilisation (travail) : A, B, C...
- Echappement (évacuation de l'air libre) : R, S, T...
- Commande (pilotage) : Z, Y, X...

Chaque distributeur est muni d'un moyen de commande et d'un moyen de rappel :

- le moyen de commande constitue le mode d'actionnement et est dessiné, par convention, à gauche du symbole du distributeur ;
- le moyen de rappel constitue le mode de désactivation du distributeur et est dessiné, par convention, à la droite du symbole.

Les tableaux suivants contiennent une liste des symboles pour les moyens des commandes des distributeurs :

Force musculaire	
En général	
À bouton-poussoir	
Par levier	
Par levier à crans dentés	
Par pédale	
Force mécanique	
Par ressort	
Par plongeur ou poussoir	
Par galet	
Par galet escamotable	



Pour les modèles à commande pneumatique, il faut noter que les orifices de pilotage ne servent pas au compte qui sert à désigner les distributeurs (3/2 ou 4/2, par exemple). On considère uniquement les orifices d'alimentation, d'utilisation et d'échappement.

Par ailleurs, on distingue deux principales classes de distributeurs selon le nombre de positions stables qu'ils possèdent :

- *Monostable* : possède une seule position stable, soit celle de repos. Le mode d'actionnement doit être activé en permanence pour toute la durée de l'actionnement du distributeur. C'est le cas d'un modèle à bouton-poussoir et à rappel par ressort.
- *Bistable* : possède deux états stables, ce qui signifie qu'un actionnement momentané ou une seule impulsion sert à commuter le distributeur. On dit aussi qu'un distributeur bistable agit comme une mémoire, car il a la capacité de conserver sa position. C'est le cas d'un modèle muni d'un pilotage pneumatique de chaque côté.

Types de construction des distributeurs :

- *Distributeurs à clapet* :
 - distributeurs à bille ;
 - distributeurs à siège plane (à clapet ou à disque) ;
- *Distributeurs à tiroir* :
 - distributeurs à tiroir longitudinal ;
 - distributeurs à tiroir longitudinal plat ;
 - distributeurs à plateau tournant.

3.1.1 Distributeurs 2/2

Le distributeur 2/2 dispose de deux orifices et de deux positions (ouvert, fermé). Sur ce distributeur, il n'est pas prévu d'échappement en position fermée.

Le type de construction le plus couramment rencontré est le distributeur à bille.

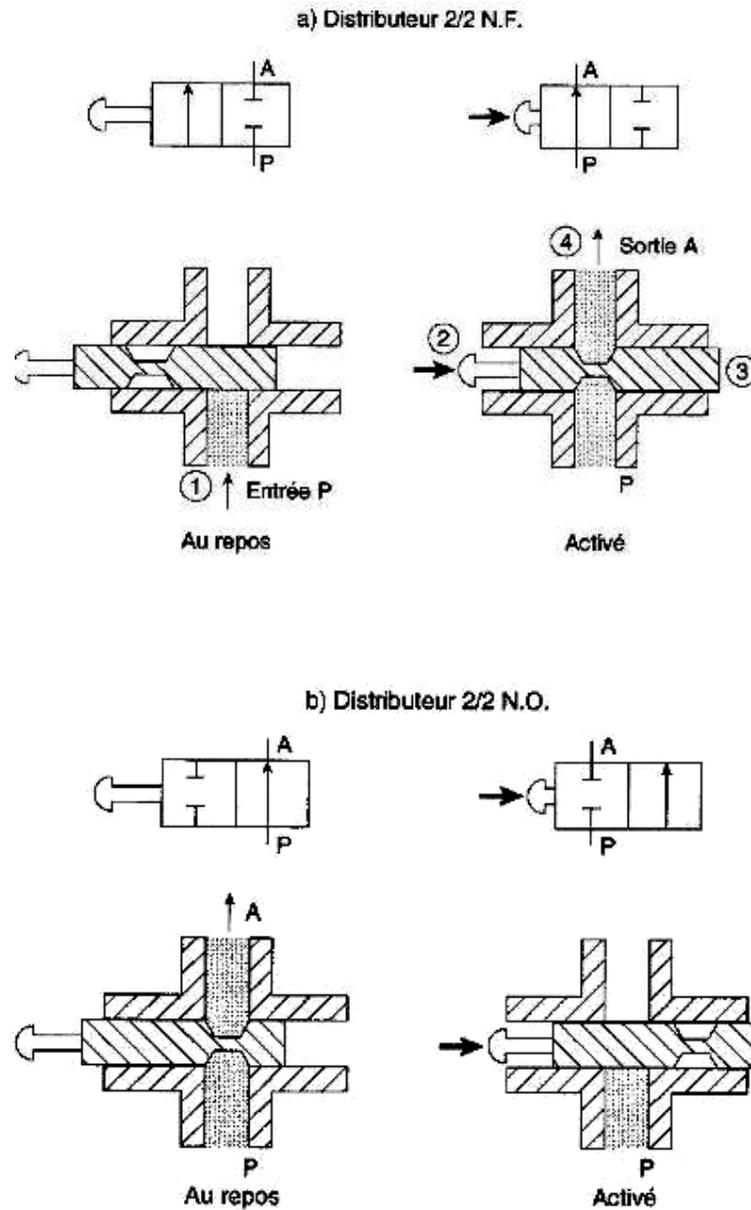


Figure 3.1

3.1.2. Distributeurs 3/2

Les distributeurs 3/2 permettent l'activation ou la remise à zéro des signaux.

Le distributeur 3/2 dispose de 3 orifices et 2 positions de commutation.

Le troisième orifice 3(R) sert à la mise à l'échappement de la voie du signal.

➤ *Distributeurs 3/2 à bille*

Une bille est maintenue contre le siège du distributeur par la force d'un ressort, ce qui stoppe le passage entre l'orifice d'alimentation 1(P) et l'orifice de travail 2(A).

L'orifice 2(A) est mis à l'échappement vers l'orifice 3(R) en traversant le poussoir.

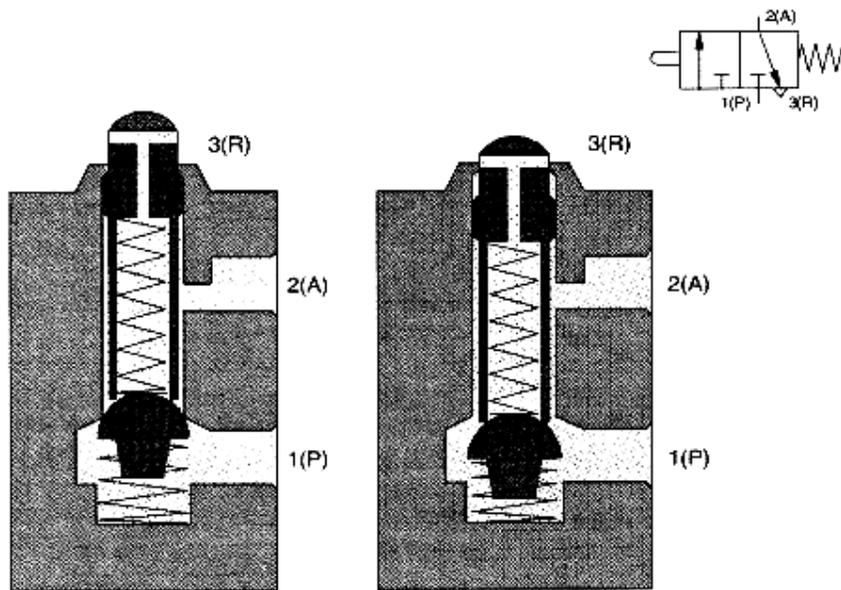


Figure 3.2

Une action sur le poussoir du distributeur fait décoller la bille de son siège. Il faut pour cela vaincre la force du ressort de rappel et la force de la pression présente.

➤ *Distributeurs 3/2 à tiroir*

Le principe de fonctionnement de ce distributeur est basé sur un genre de piston qui libère ou obture les différents orifices lorsqu'il effectue un déplacement longitudinal.

Si l'on observe la construction du distributeur 3/2 N.F. de la figure 3.3 A, on voit que l'air sous pression arrive à l'orifice d'entrée (1) et ne passe pas. Quant à l'air emprisonné du côté travail (5), il peut s'échapper par l'orifice de sortie (4).

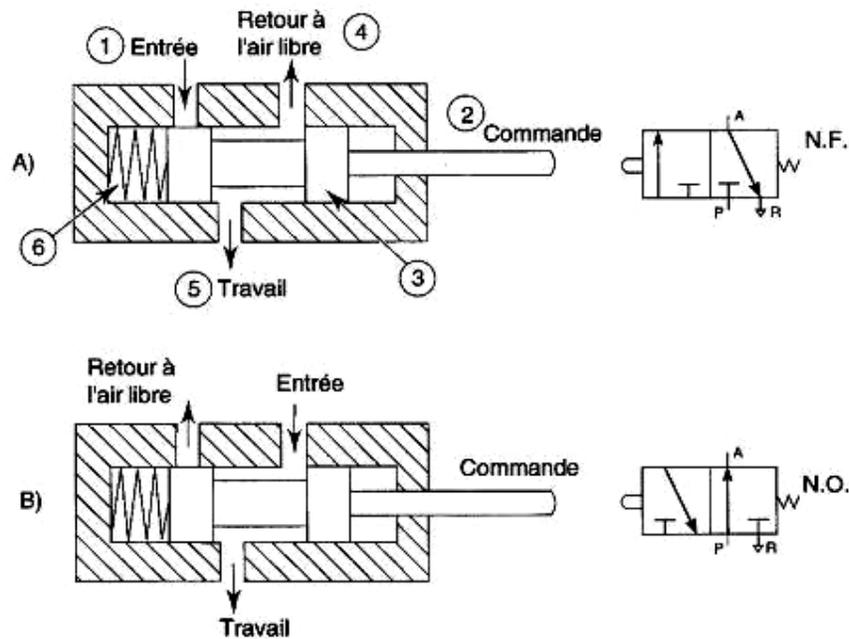


Figure 3.3

Lorsque l'on actionne la commande (2), le tiroir (3) se déplace vers la gauche, l'orifice d'entrée (1) s'ouvre, l'orifice d'échappement (4) devient bloqué et l'air circule de l'entrée vers la sortie travail. Lorsque l'on relâche la commande (2), le ressort (6) repousse le tiroir (3) à sa position initiale. L'orifice d'entrée (1) est bloqué et l'air emprisonné circule de l'orifice travail (5) vers l'air libre (4). L'étanchéité entre le tiroir et le corps du distributeur est généralement assurée par des joints toriques.

Le modèle à tiroir est très polyvalent, car en inversant simplement le branchement des orifices, on obtient un distributeur 3/2 N.O. (figure 3.3 B). L'air circule alors librement de l'entrée vers la sortie lorsque le distributeur n'est pas actionné. D'autre part, le principe de construction du tiroir permet de faire circuler la grande quantité d'air nécessaire pour alimenter directement un moteur ou un vérin.

L'usage des distributeurs 3/2 est très répandu. On peut s'en servir pour actionner directement des vérins ou des moteurs, ou simplement pour fournir une impulsion d'air nécessaire au pilotage d'un autre distributeur.

Les distributeurs 3/2 peuvent être à commande manuelle, mécanique, électrique ou pneumatique. Le choix du mode de commande est dicté par le cahier des charges.

Le distributeur 3/2 à commande pneumatique (voir la figure 3.4) est actionné par le biais d'un signal pneumatique envoyé à l'entrée 12(Z). Généralement, il est avec un ressort de rappel.

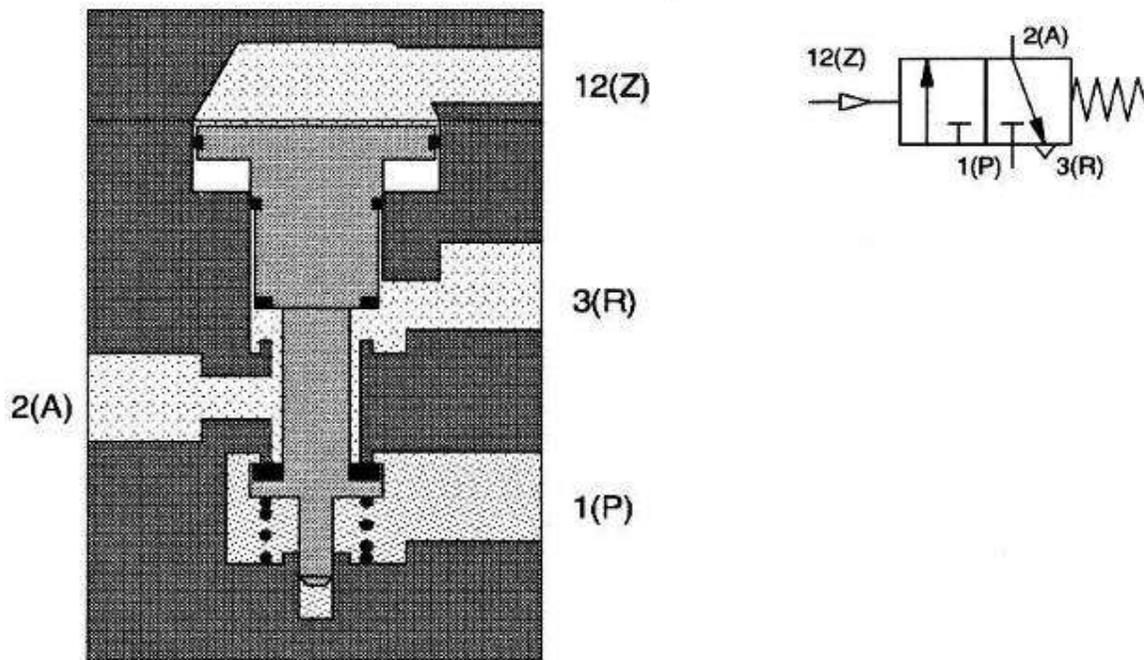


Figure 3.4 Distributeur 3/2 à commande pneumatique, fermé au repos, non actionné

3.1.3. Distributeurs 4/2

Le distributeur 4/2 dispose de quatre orifices et de deux positions. Il remplit la même fonction qu'une combinaison de deux distributeurs 3/2, l'un des distributeurs devant être fermé au repos et l'autre ouvert au repos.

En pratique, on considère un distributeur à tiroir comme un préactionneur ou un distributeur de puissance en raison de sa capacité à faire circuler un grand débit d'air. Les sorties A et B sont raccordées directement à un actionneur, un vérin ou un moteur pneumatique.

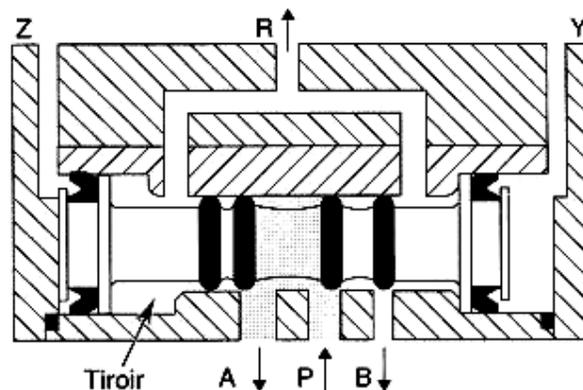


Figure 3.5

L'air sous pression arrive par l'orifice P (voir la figure 3.5) et circule autour du tiroir à l'intérieur du distributeur. Selon la position du tiroir, l'air sera dirigé vers la sortie A ou vers la sortie B. Dans un circuit on peut commander le distributeur à tiroir à l'aide des signaux de pilotage (provenant de distributeurs 3/2 à clapets, par exemple) sur les orifices Z ou Y.

On dit qu'un distributeur à tiroir muni d'un double pilotage (sans ressort de rappel) est à mémoire, car il conserve sa position même après le retrait du signal.

Si le distributeur est piloté par le côté Y, l'air sous pression se dirige vers la sortie A et l'air emprisonné du côté B se dirige vers l'échappement R. Au contraire, une impulsion d'air dans l'orifice de pilotage Z déplace le tiroir dans la position opposée. L'air venant de P se dirige alors vers B et le retour d'air libre de A sort par l'échappement R.

3.1.4. Distributeurs 5/2

Le distributeur 5/2 est à cinq orifices et deux positions. Il est utilisé principalement pour le pilotage de vérins. Le distributeur à tiroir longitudinal en est un exemple (figure 3.6).

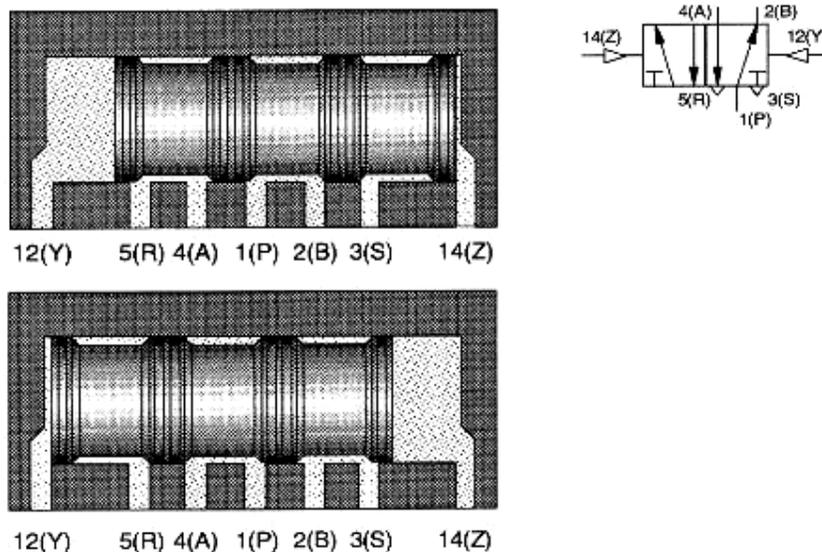


Figure 3.6

L'élément moteur de ce distributeur est constitué par un piston qui relie entre eux ou isole les différents orifices en exécutant des déplacements longitudinaux.

3.2 Clapets

3.2.1. Clapet antiretour

Les clapets servent à interrompre le passage dans un sens et à l'autoriser dans l'autre sens. La pression exercée du côté de l'écoulement agit sur l'organe d'obturation et contribue ainsi à l'étanchéité du clapet.

L'obturation dans un sens peut être obtenue par un cône, une bille, un clapet plat ou une membrane (figure 3.7).

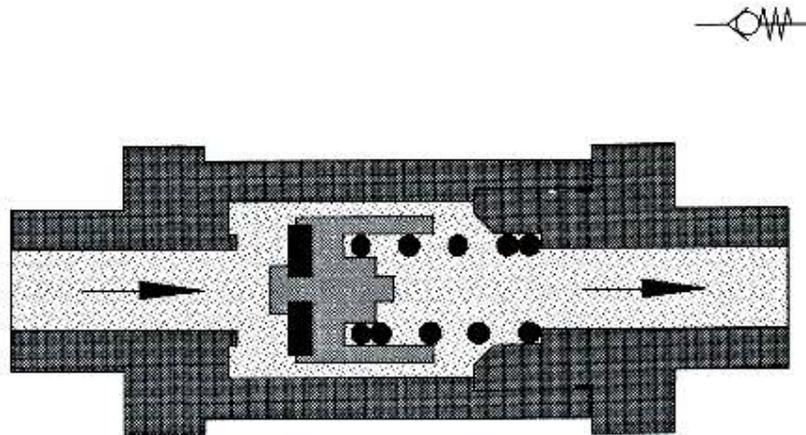


Figure 3.7

3.2.2. Éléments de liaison

Certains éléments possédant les caractéristiques d'un clapet antiretour peuvent être utilisés comme éléments de liaison dans la commande de signaux. Il existe deux soupapes faisant office d'élément de liaison dans le traitement logique de deux signaux d'entrée et la transmission du signal qui en résulte. Le sélecteur à deux clapets ne transmet de signal en sortie que si un signal est présent à chaque entrée (fonction ET); le sélecteur de circuit transmet un signal si au moins un signal est présent en entrée (fonction OU).

- *Sélecteur à deux clapets* – fonction logique *ET* (figure 3.8). Le sélecteur à deux clapets dispose de deux entrées X et Y et d'une sortie A. Le passage de l'air ne peut avoir lieu que si un signal est présent à chaque entrée.

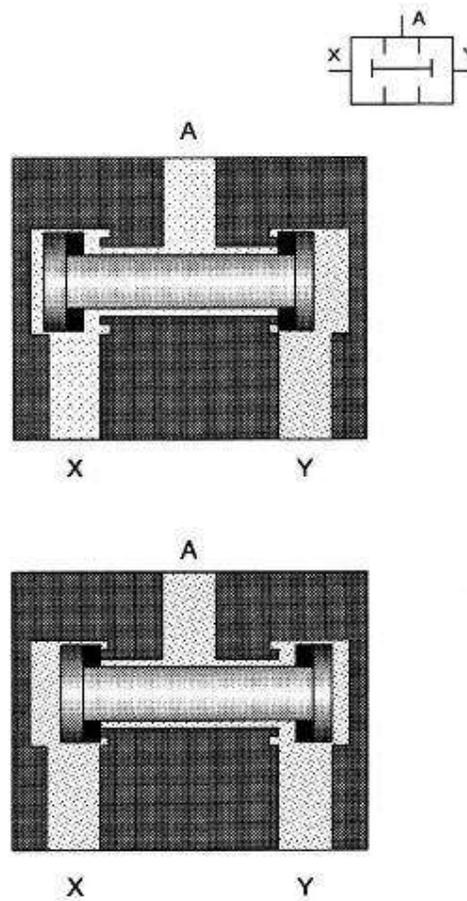


Figure 3.8

Un seul signal d'entrée en X ou Y obture le passage en raison des forces différentes s'exerçant sur le tiroir à piston. Lorsque les signaux d'entrée sont décalés dans le temps, c'est le dernier signal apparu en entrée qui atteint la sortie. En cas de différence de pression des signaux d'entrée, la pression la plus forte obture le clapet et la pression la plus faible atteint la sortie A. Le sélecteur à deux clapets est surtout utilisé dans les commandes de verrouillage, dans les fonctions de contrôle et pour des combinaisons logiques.

L'installation d'un sélecteur à deux clapets dans un circuit équivaut à celle de deux capteurs montés en série (distributeur 3/2 fermé au repos). Il y a un signal en sortie uniquement si les deux capteurs sont actionnés.

- *Sélecteur de circuit* – fonction logique *OU* (figure 3.9). Ce sélecteur dispose de deux entrées X et Y et d'une sortie A.

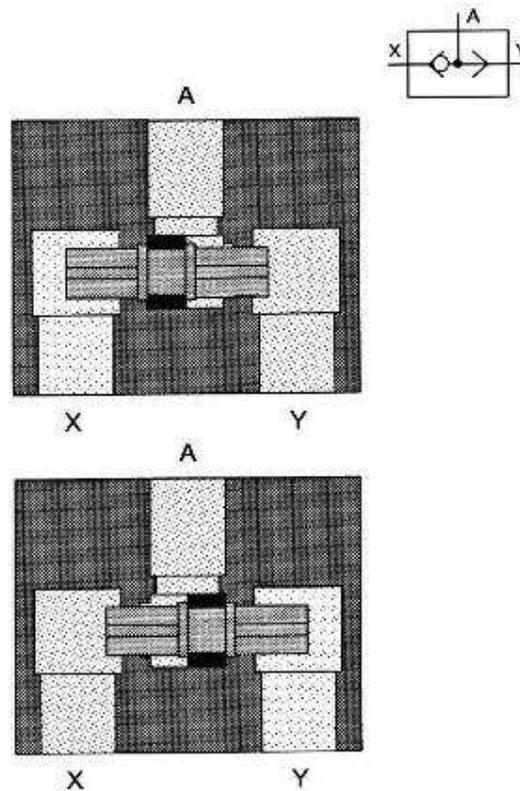


Figure 3.9

Lorsqu'une pression est appliquée à l'entrée X, le piston obture l'entrée Y et l'air passe de X vers A. Si l'air passe de Y vers A, c'est l'entrée X qui est obturée. En cas de reflux d'air, c'est à dire quand un vérin ou un distributeur placé en aval est mis à l'échappement, les conditions de pression maintiennent le piston dans la position qu'il a prise auparavant.

Ce sélecteur est également désigné par opérateur OU. La mise en œuvre d'un ou de plusieurs sélecteurs de circuit est nécessaire lorsqu'on veut actionner un vérin ou un préactionneur à partir de deux (ou plus) endroits.

3.2.3. Soupape d'échappement rapide

Les soupapes d'échappement rapide servent à augmenter la vitesse du piston sur les vérins. On évite ainsi les temps de retour longs, notamment sur les vérins à simple effet. La tige du vérin peut sortir pratiquement à pleine vitesse en raison de la résistance réduite à l'échappement pendant la rentrée de la tige. L'air est évacué par un orifice d'échappement relativement important. Ce clapet dispose d'un orifice de pression P obturable, d'un échappement R obturable et d'une sortie A.

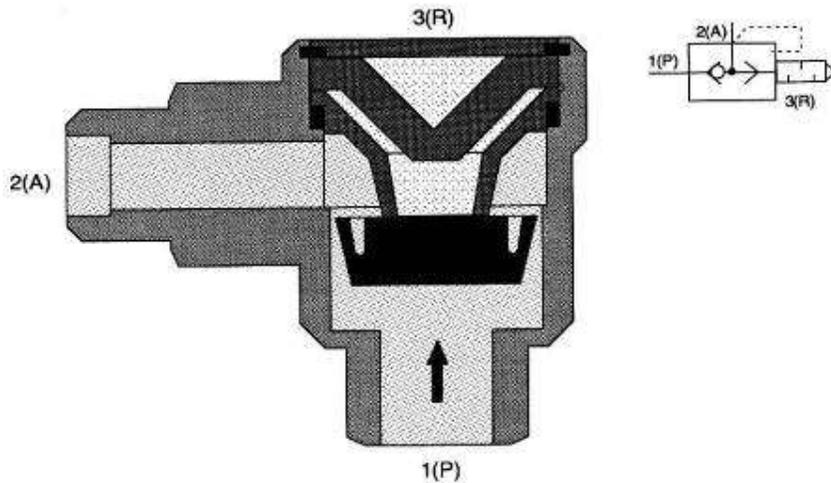


Figure 3.10 Soupape d'échappement rapide – passage de P vers A

Lorsque la pression est établie en P, le disque d'étanchéité obture l'échappement A. L'air comprimé passe de P vers A. Quand il n'y a plus de pression en P, l'air venant de A pousse le disque d'étanchéité contre l'orifice P et le ferme. L'air peut donc s'échapper directement à l'air libre sans avoir à emprunter une trajectoire longue et parfois étroite vers le préactionneur en passant par les conduites de commande. Il est recommandé de monter la soupape d'échappement rapide directement sur le vérin ou aussi près que possible de ce dernier.

3.3 Réducteurs de débit

Les réducteurs de débit (figure 3.11) servent à modifier le débit de l'air comprimé dans les deux sens. Si l'on ajoute un clapet antiretour à ce réducteur de débit, la réduction de vitesse ne se fera que dans un sens.

Les réducteurs de débit sont généralement réglables. Ce réglage peut être bloqué. On utilise les réducteurs de débit pour le contrôle de la vitesse de déplacement des vérins. Un réducteur de débit ne doit jamais être complètement fermé.

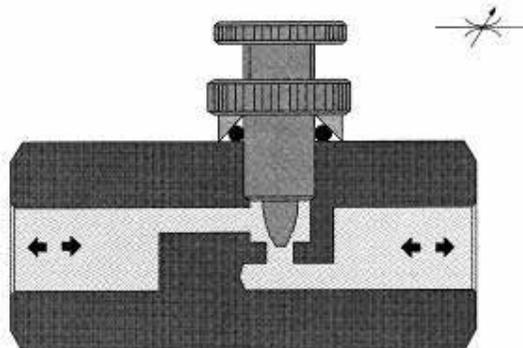


Figure 3.11

3.4 Actionneurs

L'actionneur, encore appelé organe moteur, sert à transformer une énergie pneumatique en travail mécanique. Elaboré dans la partie commande, le signal de sortie est ensuite dirigé vers des préactionneurs qui, à leur tour pilotent les actionneurs.

Les actionneurs pneumatiques sont classés en deux groupes selon que leur mouvement est rectiligne ou rotatif :

- mouvement linéaire ;
 - vérin simple effet ;
 - vérin double effet ;
- mouvement rotatif ;
 - moteur pneumatique ;
 - moteur oscillant.

3.4.1. Vérins

➤ *Vérin simple effet*

Les vérins simple effet (figure 3.12) ne sont alimentés en air comprimé que d'un seul côté. Ils ne peuvent donc fournir un travail que dans un seul sens. Le rappel de la tige de piston est assuré par un ressort incorporé ou par une force extérieure. Le ressort incorporé est dimensionné de manière à ramener le plus rapidement possible le piston dans sa position initiale. Sur les vérins simple effet à ressort incorporé, la course est fonction de la longueur du ressort. De ce fait, les vérins simple effet ne dépassent jamais 80 mm environ.

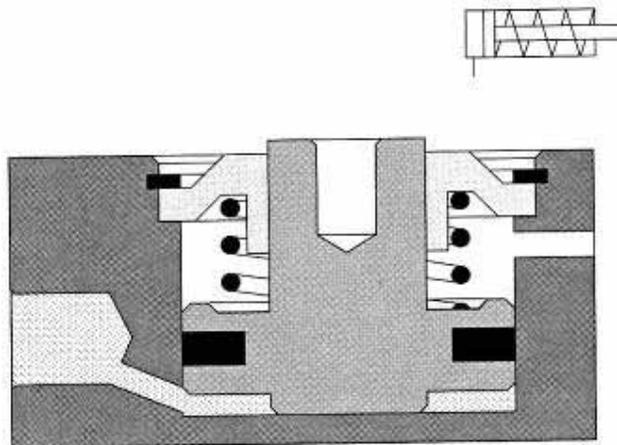


Figure 3.12

➤ **Vérin double effet**

Sa construction est similaire à celle du vérin simple effet, à la différence qu'il ne possède pas de ressort de rappel et que ses deux orifices servent à la fois pour l'alimentation et pour l'échappement. L'avantage du vérin double effet est de pouvoir effectuer un travail dans les deux sens. Ses possibilités d'application sont donc multiples. La force transmise à la tige du vérin est plus importante à la sortie qu'à la rentrée étant donné que la surface sur laquelle s'exerce la pression est plus grande du côté tête que du côté tige du piston.

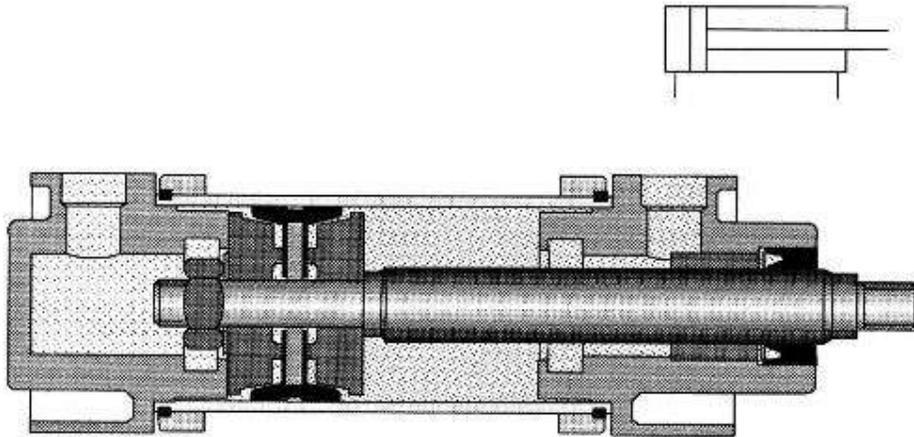


Figure 3.13

Le vérin double effet (figure 3.13) se compose d'un cylindre, d'une culasse avant, d'une culasse arrière, d'un piston avec joint (joint à double chevron), d'une tige de piston, d'un coussinet, d'un joint racleur, d'un certain nombre de pièces de liaison et de joints. Le cylindre est généralement constitué d'un tube en acier étiré sans soudure. Pour augmenter la longévité des joints, les surfaces de glissement du cylindre sont généralement superfinies (honing). Dans certains cas, le cylindre est en alliage d'aluminium, en laiton ou en tube d'acier; la surface de glissement est alors chromée dur. Ce type d'exécution est utilisé pour protéger les vérins travaillant peu souvent ou en milieu corrosif.

Les culasses sont en principe en fonte (fonte d'aluminium ou fonte malléable). Leur fixation sur le cylindre se fait à l'aide de tirants, de vis ou de brides.

La tige de piston est de préférence en acier traité. Pour éviter la rupture, les filetages sont généralement roulés. Pour rendre étanche la tige de piston, la culasse côté tige est équipée d'un joint à doubles lèvres. Le guidage de la tige de piston est assuré par le coussinet en

bronze fritté ou en métal revêtu de matériau synthétique. Devant ce coussinet se trouve le joint racleur. Il empêche que des corps étrangers puissent pénétrer à l'intérieur du corps.

Le vérin double effet à amortissement en fin de course.

Lorsque les masses déplacées sont importantes, on fait appel à des amortisseurs pour éviter les chocs et les détériorations sur les vérins. Avant d'arriver en fin de course, un piston amortisseur interrompt l'échappement direct de l'air à l'air libre en ne laissant libre qu'une faible section d'évacuation, la plupart du temps réglable (figure 3.14). Ceci permet de réduire progressivement la vitesse de rentrée de la tige pendant la dernière phase de la course. Il faut veiller à ne pas visser complètement les vis de réglage, ce qui empêcherait la tige de piston d'atteindre les fins de course.

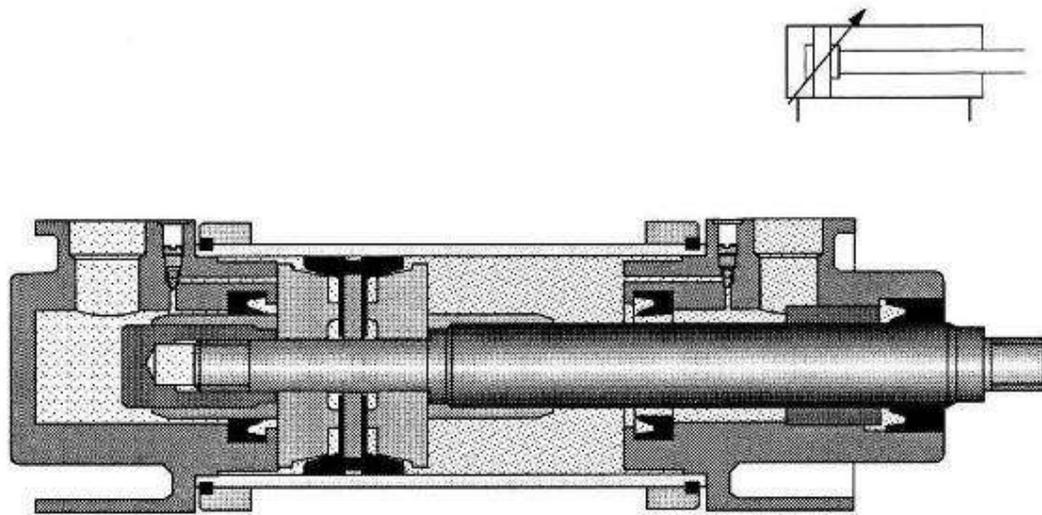


Figure 3.14

➤ Vérin sans tige

Ce vérin linéaire pneumatique (vérin sans tige) est composé d'un cylindre, d'un piston et d'un coulisseau extérieur qui se déplace sur le cylindre (figure 3.15). Le piston logé dans le cylindre se déplace librement en fonction de la commande pneumatique présente. Le piston et le coulisseau extérieur sont dotés d'un aimant permanent. La transmission des mouvements du piston sur le coulisseau extérieur se réalise par adhérence au moyen de l'accouplement magnétique. Dès qu'une pression est appliquée au piston, le chariot se déplace en synchronisation avec le piston.

Ce type de vérin est utilisé spécialement pour les courses extrêmement longues pouvant aller jusqu'à 10 m. Les dispositifs, charges etc. peuvent être vissés directement sur le plan du

coulisseau extérieur de façon absolument hermétique étant donné qu'il n'existe aucune liaison mécanique. Il n'y a par conséquent aucun risque de fuite.

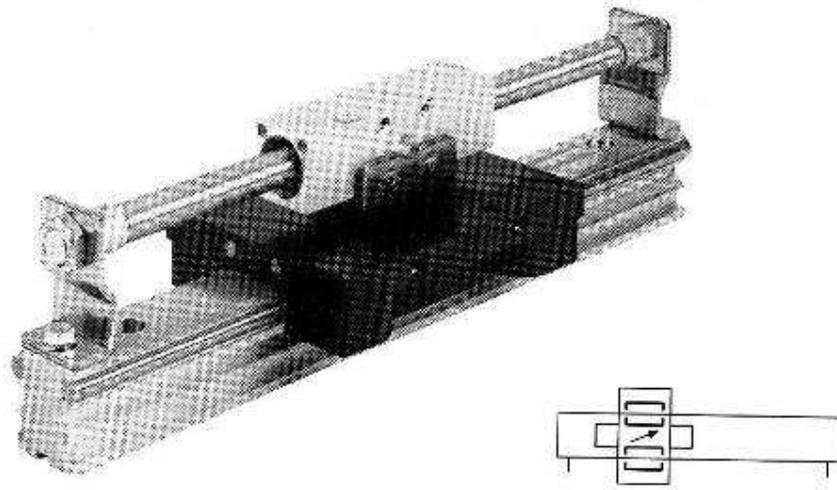


Figure 3.15

Modes de fixation

Le mode de fixation est fonction de l'implantation du vérin sur les dispositifs et les machines. Etant donné que la charge des vérins ne doit être appliquée que dans le sens axial, leur fixation, ainsi que l'accouplement du piston doivent être soigneusement adaptés en fonction des applications visées.

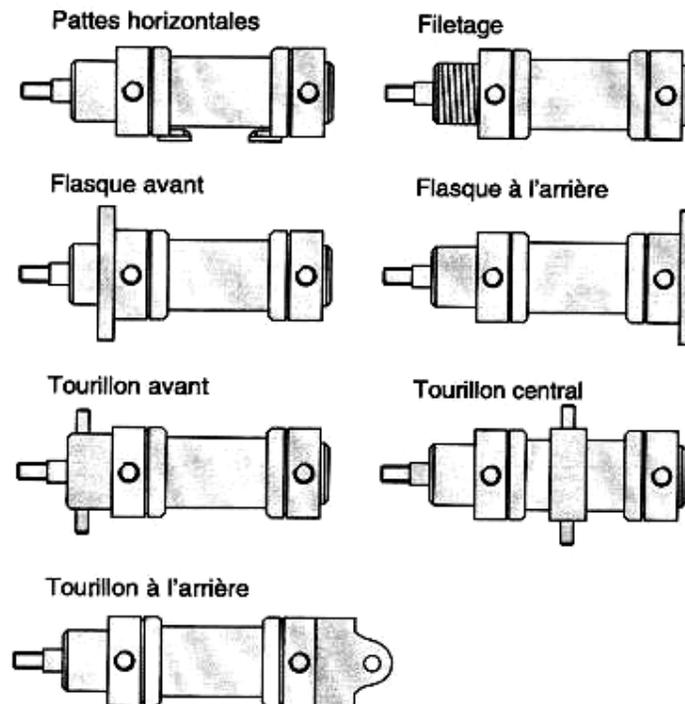


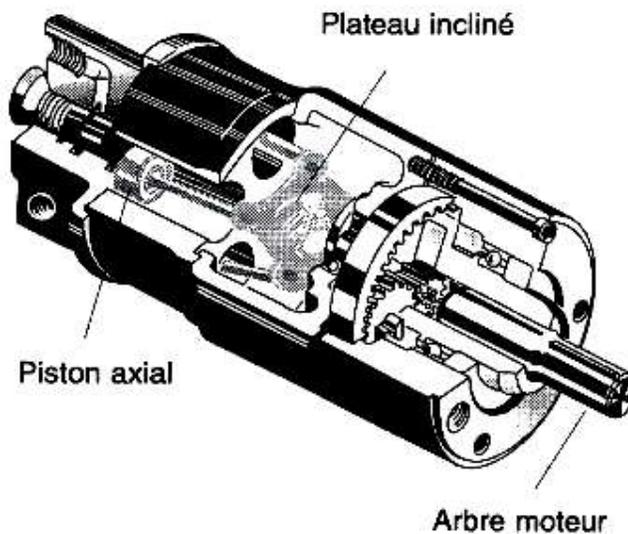
Figure 3.16 Modes de fixation des vérins

3.4.2 Moteurs pneumatiques

On appelle moteurs pneumatiques des organes dont la particularité est de transformer de l'énergie pneumatique en mouvement de rotation mécanique. Selon leur construction, on classe les moteurs pneumatiques en :

- moteurs à pistons ;
- moteurs à palettes ;
- moteurs à engrenages ;
- turbines (moteurs à flux continu).

➤ **Moteurs à piston**

**Figure 3.17 Moteur à piston axial**

Ici on distingue encore le moteur axial (figure 3.17) et le moteur radial. Par l'intermédiaire de pistons animés d'un mouvement de va-et-vient, l'air comprimé entraîne, par l'intermédiaire d'une bielle, le vilebrequin du moteur. Plusieurs cylindres sont nécessaires, afin d'assurer une marche sans à-coups. La puissance du moteur est fonction de la pression disponible à l'entrée, du nombre, de la surface, de la course et de la vitesse des pistons.

Leur vitesse de rotation maximale est de l'ordre de 5000 tr/min, la gamme des puissances allant de 1,5 à 19 kW.

➤ **Moteurs à palettes**

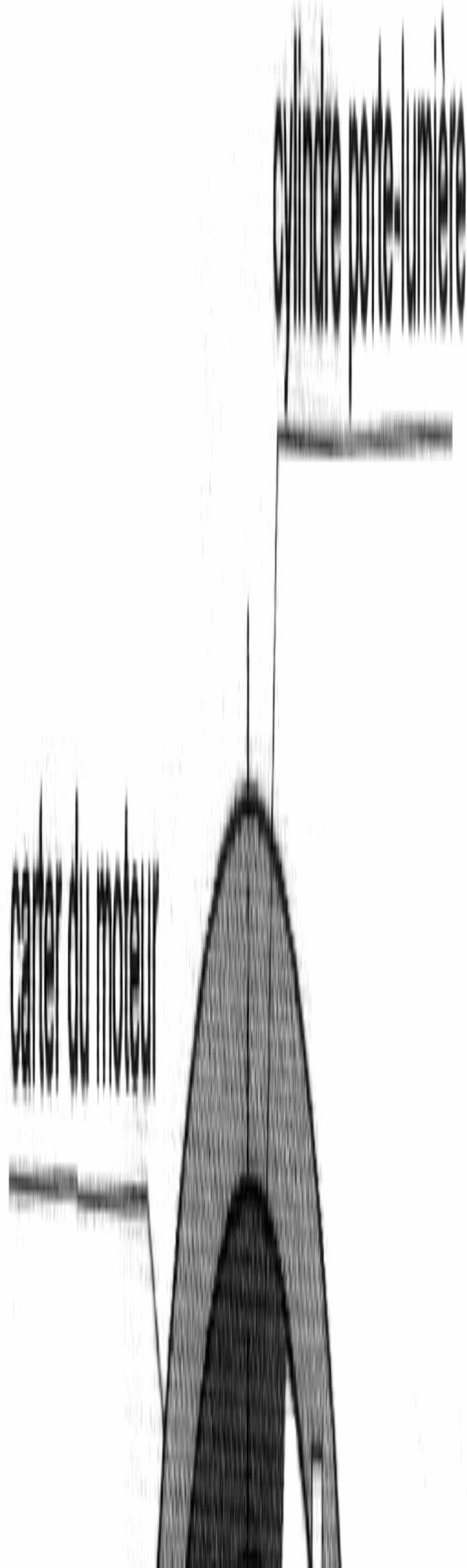
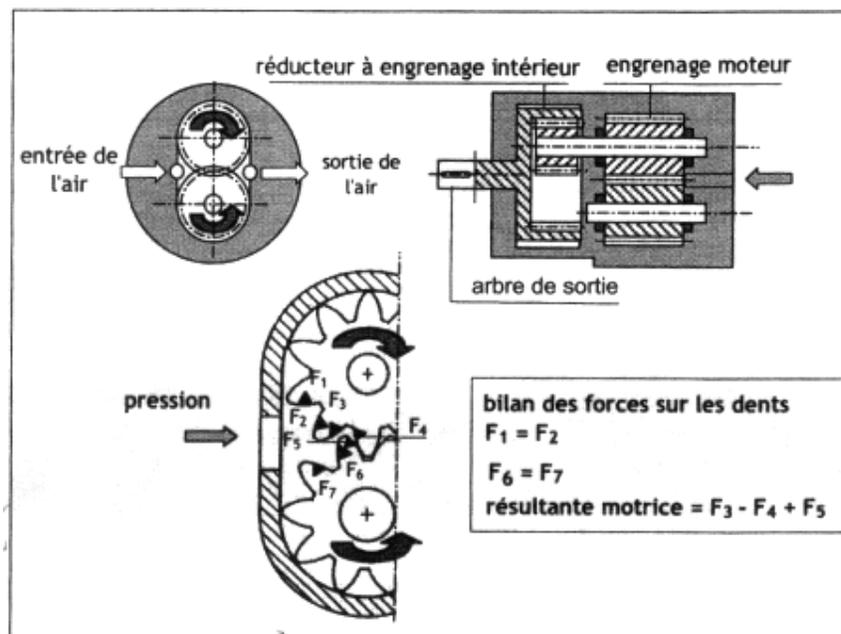


Figure 3.18 Moteur à palettes

Un rotor est excentré par rapport au centre de gravité d'une enceinte cylindrique. Ce rotor comporte un certain nombre de palettes qui coulissent dans des fentes et sont pressées par la force centrifuge contre la paroi interne de cette enceinte. L'étanchéité des différentes chambres est ainsi garantie. La vitesse du rotor varie entre 3000 et 8500 tr/min. Moteur disponible en deux versions: sens de rotation à droite ou à gauche. Puissance: 0,1 à 17 kW.

➤ **Moteurs à engrenages**

**Figure 3.19 Principe du moteur pneumatique à engrenage**

Pour ce type de moteurs, le couple de rotation est engendré par la pression qu'exerce l'air sur les flancs de la denture de deux roues dentées s'engrenant l'une dans l'autre. L'une des roues est solidaire de l'arbre moteur. Ces moteurs à engrenages ou pignons permettent d'atteindre des puissances élevées, jusqu'à 44 kW. Le sens de rotation de ces moteurs, équipés soit d'une denture droite, soit d'une denture hélicoïdale, est réversible.

➤ **Moteurs à turbine**

Les moteurs à turbine ne conviennent que pour de faibles puissances. Leur plage de vitesses est très élevée, de 100 000 à 200 000 tr/min et au-delà dans le cas des outillages pour soins dentaires (Les roulettes de dentistes tournent jusqu'à 500 000 tr/min).

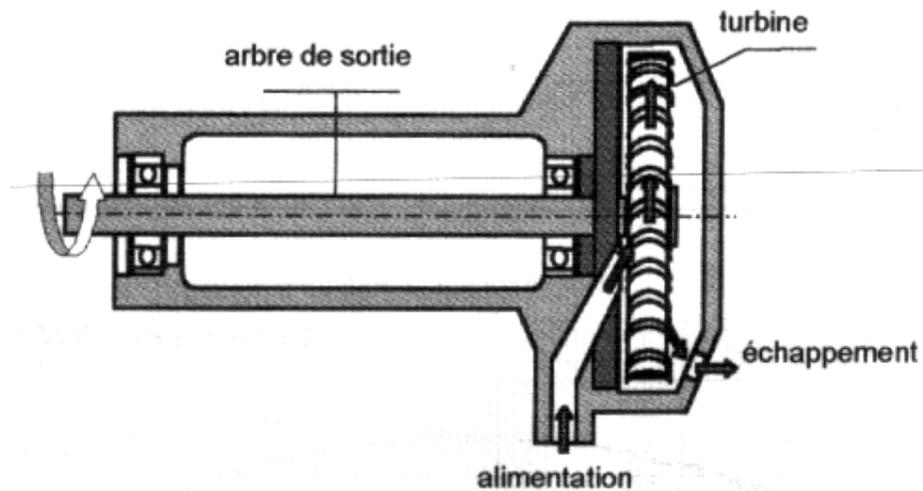


Figure 3.20 Principe d'un moteur pneumatique à turbine

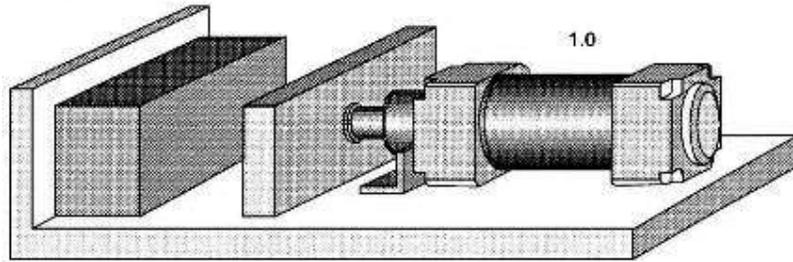
CHAPITRE 4 CIRCUITS PNEUMATIQUES. EXERCICES

4.1 Pilotage direct d'un vérin

A. D'un vérin simple effet

Problème posé

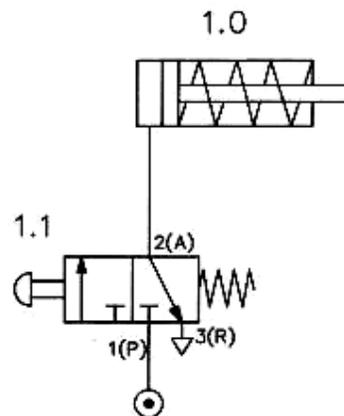
Un vérin simple effet de 25 mm d'alésage doit serrer une pièce lorsqu'on actionne un bouton-poussoir. Le vérin doit assurer le serrage tant que le bouton n'a pas été relâché. Dès le relâchement du bouton, le dispositif de serrage doit s'ouvrir.



Solution

Le pilotage d'un vérin simple effet est assuré par un distributeur 3/2. Etant donné que le vérin est de faible puissance, la commande peut être confiée à un distributeur 3/2 à commande manuelle et ressort de rappel.

Lorsqu'on actionne le bouton, de l'air afflue par l'orifice 1(P) et se dirige vers 2(A) et la chambre du vérin en traversant le distributeur. La pression établie pousse le piston et comprime le ressort de rappel du vérin. Dès qu'on relâche le bouton, le ressort ramène le distributeur 3/2 en position initiale et fait revenir la tige de piston, chassant l'air du vérin vers l'extérieur par l'orifice 3(R) du distributeur.



Etant donné que ce vérin est le seul organe de travail (ou actionneur), on le désignera par 1.0.

B. D'un vérin double effet

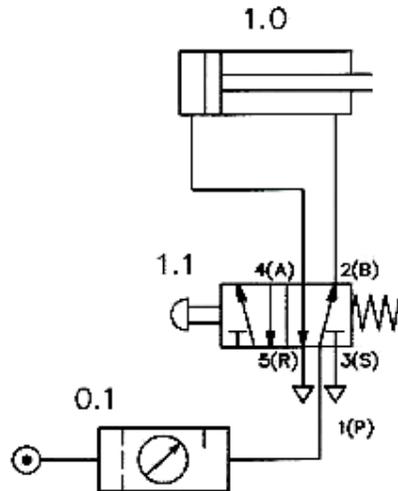
Problème posé

La tige de piston d'un vérin à double effet doit sortir lorsqu'on actionne un bouton-poussoir et rentrer dès que l'on relâche ce bouton. D'un alésage de 25 mm ce vérin ne nécessite qu'une faible quantité d'air pour son pilotage.

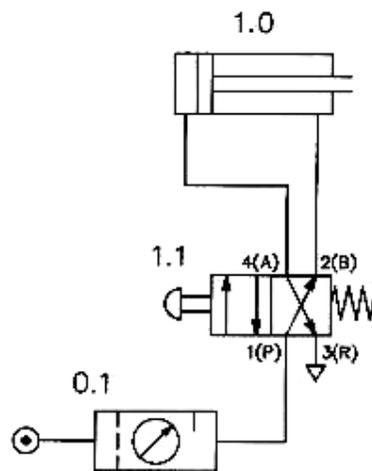
Solution

On peut utiliser comme préactionneurs les capteurs à force musculaire à bouton-poussoir suivants :

- distributeur 5/2



- distributeur 4/2



En position initiale, le bouton-poussoir n'est pas actionné, le côté tige de piston du vérin est soumis à une pression et la tige de piston du vérin est rentrée.

Dès que le bouton-poussoir est actionné, l'air comprimé passe de 1(P) vers 4(A), le côté tête du piston est soumis à une pression et la tige de piston sort. L'air refoulé est évacué à l'air libre par les orifices 2(B) et 3(S). Dès que le bouton-poussoir est relâché, le distributeur commute et la tige de piston rentre. Le vérin est mis à l'échappement par l'orifice 5(R).

Lorsque le bouton-poussoir est relâché, le sens de déplacement change immédiatement et la tige de piston rentre. Une modification du sens de déplacement n'est donc pas possible tant que la tige de piston n'a pas atteint sa position initiale ou sa position de fin de course.

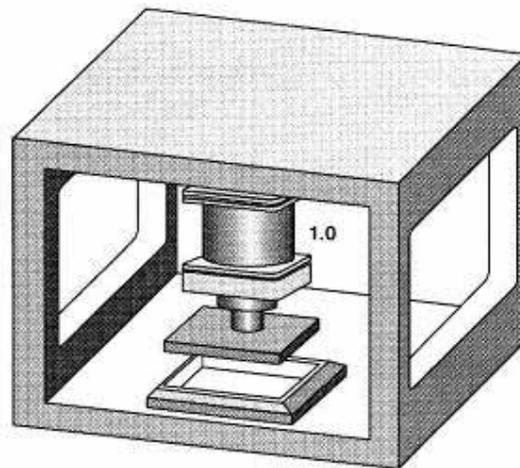
4.2 Pilotage indirect d'un vérin

Les vérins à sortie et rentrée rapides et les vérins à grand alésage ont besoin d'une grande quantité d'air. Pour leur pilotage, on doit utiliser un préactionneur à gros débit nominal. Dès que la force à appliquer pour le pilotage d'un vérin devient trop importante, il faut recourir à un pilotage indirect. Pour cela, on utilise un autre distributeur, plus petit, chargé d'émettre un signal grâce auquel peut être libérée la puissance nécessaire à la commande du préactionneur.

A. D'un vérin simple effet

Problème posé

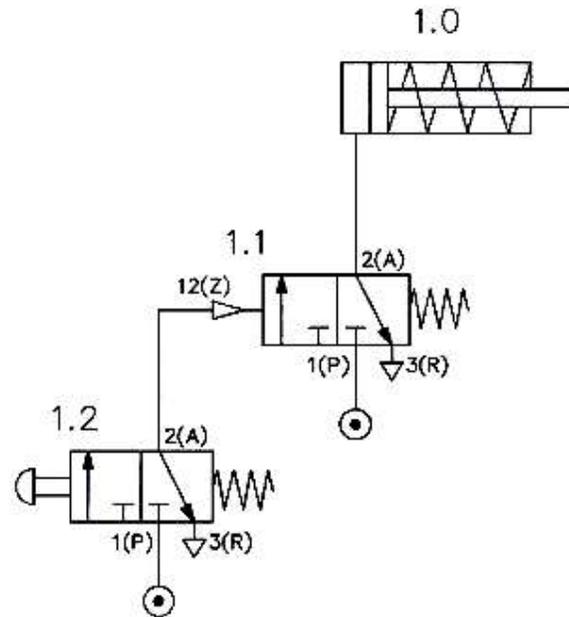
Un vérin simple effet à grand alésage soit sortir lorsqu'on actionne un bouton-poussoir et rentrer dès que le bouton est relâché.



Solution

En position initiale, la tige de piston du vérin simple effet 1.0 est rentrée, le préactionneur 1.1 est inactif en raison de l'action du ressort de rappel et l'orifice 2(A) est mis à l'échappement à l'air libre.

Lorsqu'on actionne le bouton-poussoir, le capteur 1.2 ouvre le passage et envoie une pression à l'orifice de commande 12(Z) du préactionneur 1.1 qui se déplace en repoussant le ressort et ouvre à son tour le passage. La pression qui vient alors s'appliquer sur le piston provoque la sortie de la tige du vérin simple effet. Le signal reste présent au niveau de la canalisation 12(Z) tant que le bouton-poussoir reste actionné. Lorsque la tige du vérin est arrivée en fin de course, elle ne pourra quitter cette position qu'après que le bouton-poussoir ait été relâché.



Lorsqu'on relâche le bouton-poussoir, le capteur revient en position initiale et l'orifice de commande du préactionneur est délesté à l'air libre, ce qui provoque l'effacement du signal. Le préactionneur revient lui aussi en position initiale. Le retour de la tige du vérin côté piston est délestée à l'air libre par le biais du préactionneur.

B. D'un vérin double effet

Problème posé

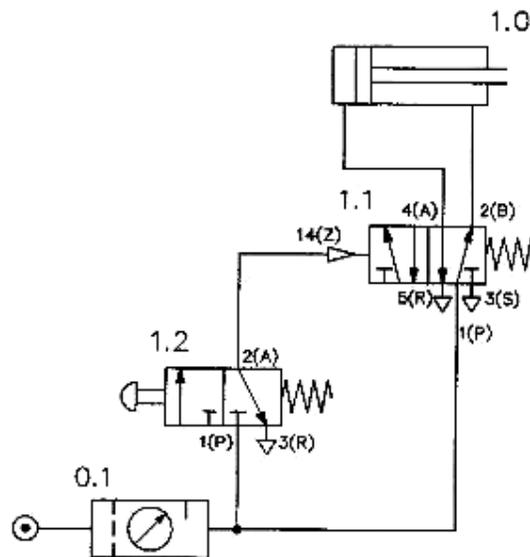
Un vérin double effet doit sortir lorsqu'on actionne un bouton-poussoir et rentrer lorsqu'on libère le bouton. Le vérin a un alésage de 250 mm et, par conséquent, nécessite une grande quantité d'air.

Solution

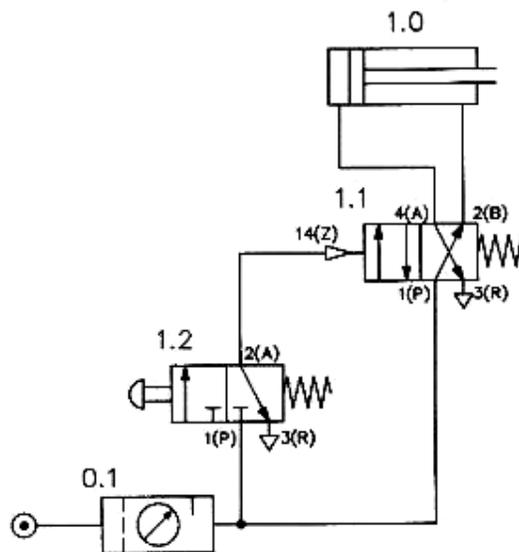
Pour le pilotage de vérins dont la consommation est importante, il est conseillé de faire appel à un préactionneur à fort débit. Etant donné que la force d'actionnement peut être importante, il conviendra d'opter pour un pilotage indirect.

On peut utiliser comme préactionneurs les capteurs à commande pneumatique suivants :

- distributeur 5/2



- distributeur 4/2



Une action sur le bouton-poussoir provoque la mise en action du capteur 1.2 qui libère le passage et un signal apparaît à l'entrée 14(Z) du distributeur 1.1. Ce dernier commute, le côté tête du piston est soumis à une pression et la tige de piston du vérin 1.0 sort. Dès que le bouton-poussoir est relâché, l'entrée de signal du distributeur 1.1 est délestée à l'air libre. Le distributeur 1.1 revient alors en arrière et la tige de piston rentre.

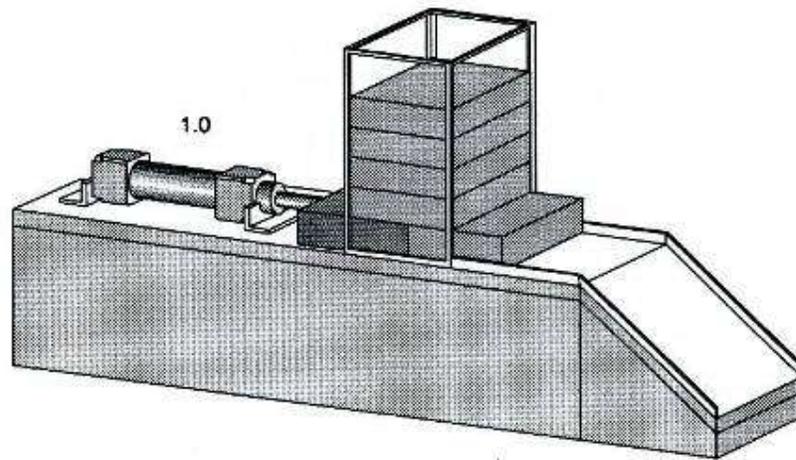
Dès que le bouton-poussoir est relâché, le sens de déplacement est immédiatement inversé et la tige de piston rentre. Il est possible de modifier le sens de déplacement même si la tige du

piston n'a pas encore atteint sa position initiale ou sa position de fin de course. Etant donné que le distributeur 1.1 n'est pas à mémoire, la position de commutation change dès l'action sur le bouton-poussoir 1.2.

4.3 Circuit mémoire et commande en fonction de la vitesse

Problème posé

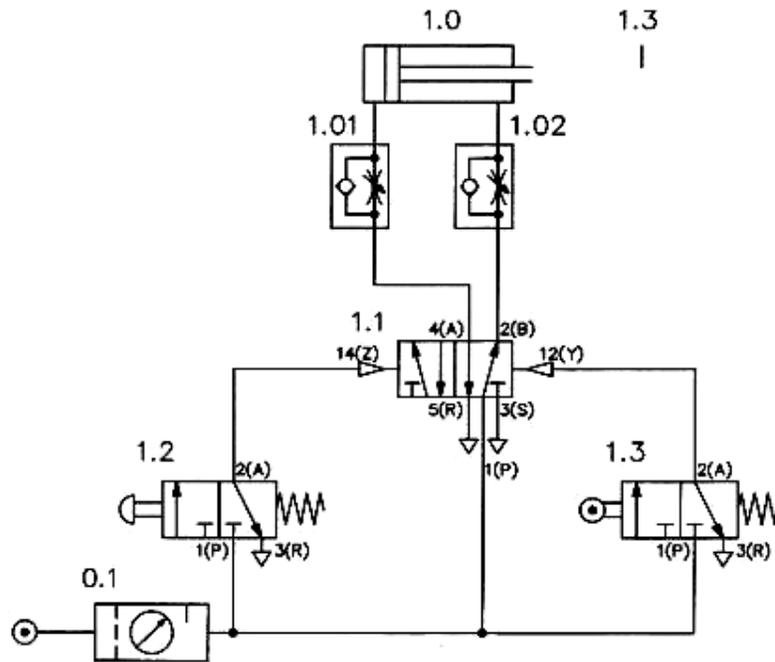
Pour prélever des pièces dans un magasin de pièces, la tige de piston d'un vérin double effet doit sortir jusqu'en position de fin de course lorsqu'on actionne un bouton-poussoir puis revenir automatiquement en position initiale. L'arrivée en position de fin de course est détectée par un capteur à galet. La sortie de la tige du piston ne s'interrompt pas lorsqu'on relâche le bouton-poussoir. La vitesse de déplacement du piston doit pouvoir être réglée dans les deux sens.



Solution

Les distributeurs 5/2 et 4/2 à impulsions utilisés dans le cas présent ont la particularité de mémoriser l'état de commutation. Le distributeur reste dans sa position jusqu'à ce qu'un nouveau signal de commande vienne modifier cette position. Cette caractéristique est indépendante de la durée d'application du signal sur le préactionneur.

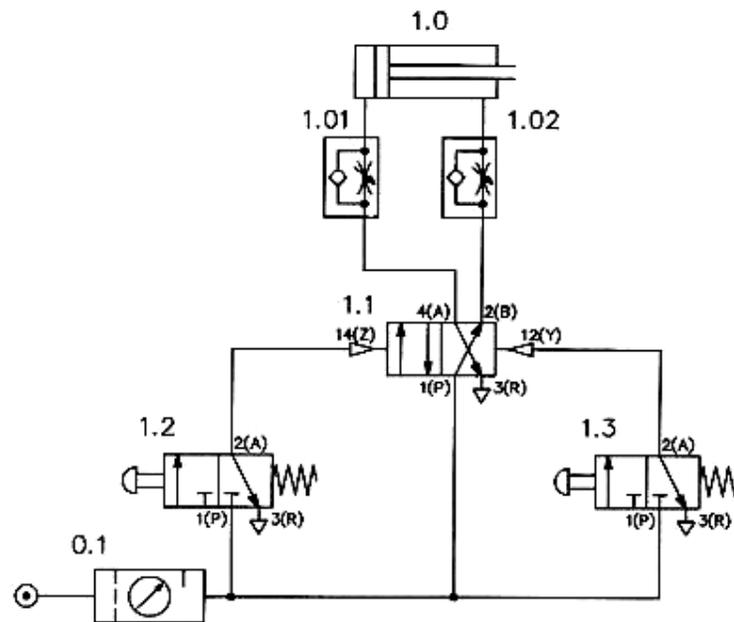
Par ailleurs, la vitesse de déplacement de la tige du piston peut être commandée en réglant le débit volumique au niveau des réducteurs de débit unidirectionnels. Etant donné que le débit d'air est freiné au refoulement, on parle de réduction du débit d'échappement.



En position initiale, le préactionneur 1.1 est au repos, le piston est soumis à une pression côté tige, cette dernière restant alors en position rentrée.

Une action sur le bouton-poussoir 1.2 provoque la commutation du capteur qui libère le passage et permet l'établissement d'un signal à l'entrée 14(2) du préactionneur 1.1. Ce dernier commute, le côté tête de piston du vérin est mis sous pression et la tige du piston sort. Alors que l'alimentation en air se fait sans résistance au niveau du réducteur de débit unidirectionnel 1.01, le délestage de la chambre côté tige de piston est, lui, freiné par le réducteur de débit 1.02. Ce procédé permet de réduire la vitesse de sortie de la tige du vérin.

Lorsqu'on relâche le capteur à bouton-poussoir 1.2, le préactionneur 1.1 conserve le même état puisqu'il s'agit d'un distributeur à mémorisation de signal. Une action sur le capteur à galet 1.3 permet l'envoi d'un signal à l'entrée 12(Y) du préactionneur. Ce dernier commute et provoque la mise sous pression du côté tige du piston et, par conséquent, la rentrée de la tige. L'air d'échappement est freiné par le réducteur de débit unidirectionnel 1.01. Lorsqu'on relâche le capteur à galet 1.3, le préactionneur 1.1 ne change pas d'état puisqu'il conserve le signal en mémoire.



Les réducteurs de débit unidirectionnels permettent ici de ne pas entraver le passage à l'alimentation. Par contre, ils freinent l'air d'échappement, ce qui entraîne une réduction de la vitesse de déplacement du piston. Etant donné que le débit d'échappement n'est pas le même de part et d'autre du piston, les réducteurs doivent être réglés différemment si l'on veut obtenir une vitesse égale à la sortie et à la rentrée de la tige.

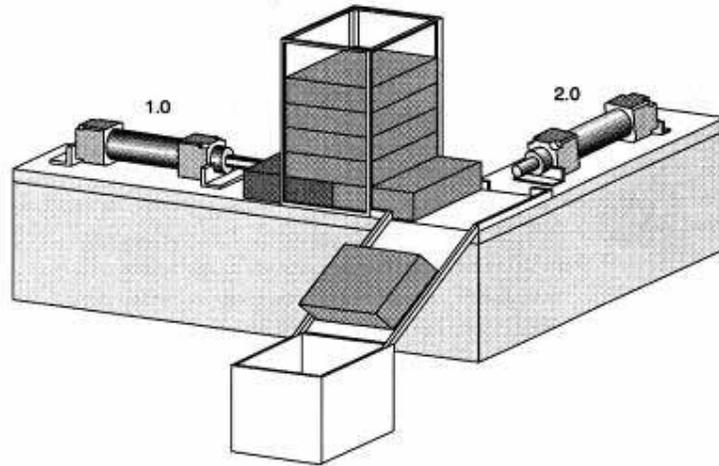
Remarque

L'arrivée en fin de course de la tige de piston déclenche le fin de course 1.3. Si le bouton-poussoir 1.2 reste à l'état actionné, il ne peut y avoir de commutation au niveau du distributeur 1.1. Il y a alors un signal aux deux pilotages 12(Y) et 14(Z) et c'est le signal émis le premier 14(Z) qui prévaut. Le signal présent à l'orifice de commande 12(Y) est sans effet. La tige de piston reste sortie. Sa rentrée ne sera pas possible qu'après le relâchement du bouton-poussoir 1.2 et, par conséquent, la mise hors pression du pilotage 14(Z).

4.4 Déplacement coordonné

Problème posé

Le transfert de pièces d'un magasin de pièces sur un toboggan s'effectue au moyen de deux vérins double effet. Lorsqu'on actionne un bouton-poussoir le premier vérin pousse la pièce hors du magasin puis le second vérin reprend la pièce pour la pousser sur le toboggan. Dès leur tâche accomplie, les vérins reviennent à leur position initiale l'un après l'autre, d'abord le premier, puis le second. Pour assurer un transfert sans risque des pièces, il est indispensable de pouvoir détecter les positions initiales et de fin de course des tiges de piston.

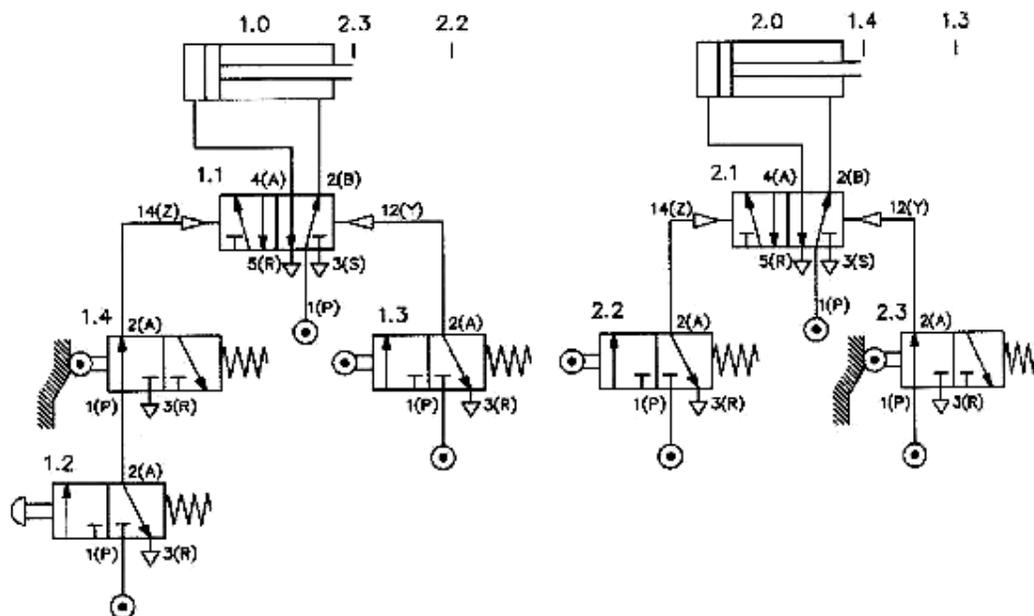


Solution

La détection des positions de rentrée et sortie de la tige du piston se fait au moyen de capteurs à commande par galet. L'entrée manuelle du signal se fait par le biais d'un capteur à bouton-poussoir. En position initiale les deux vérins sont rentrés et les distributeurs 1.4 et 2.3 sont actionnés. Condition de démarrage d'un cycle: les capteurs 1.4 et 1.2 doivent être actionnés.

Le cycle de déplacement peut être décomposé en quatre étapes :

- 1.2 et 1.4 actionnés \Rightarrow Sortie du vérin 1.0
- 2.2 actionné \Rightarrow Sortie du vérin 2.0
- 1.3 actionné \Rightarrow Rentrée du vérin 1.0
- 2.3 actionné \Rightarrow Rentrée du vérin 2.0



Une action sur le bouton-poussoir 1.2 provoque la commutation du distributeur 5/2 (1.1) et la sortie de la tige du vérin 1.0 qui pousse la pièce hors du magasin. En fin de course, la tige du vérin actionne le capteur 2.2, ce qui provoque la mise en action du distributeur 5/2 (2.1) et la sortie de la tige du vérin 2.0. La pièce est alors poussée sur le toboggan. Lorsque le vérin 2.0 atteint sa position de fin de course, il provoque la commutation du capteur 1.3 qui entraîne à son tour la commutation du distributeur 1.1 et la rentrée du vérin 1.0. En revenant à sa position initiale, ce dernier actionne le capteur 2.3 qui fait commuter le distributeur 2.1. Le vérin 2.0 rentre et actionne le capteur 1.4 en arrivant à sa position initiale.

Après être revenu à la position initiale du système, il suffit maintenant d'appuyer à nouveau sur le bouton-poussoir 1.2 pour redémarrer un cycle.

PARTIE B

SYSTEMES HYDRAULIQUES

CHAPITRE 1 LA CENTRALE HYDRAULIQUE

C'est l'ensemble assurant le conditionnement de fluide et sa mise sous pression (figure 1.1)
Cet ensemble composé de plusieurs éléments (moteur, pompe, réservoir, filtre) permet de fournir un débit d'huile dans un système hydraulique

Synonymes de « centrale hydraulique » : groupe générateur de puissance hydraulique, group hydraulique.

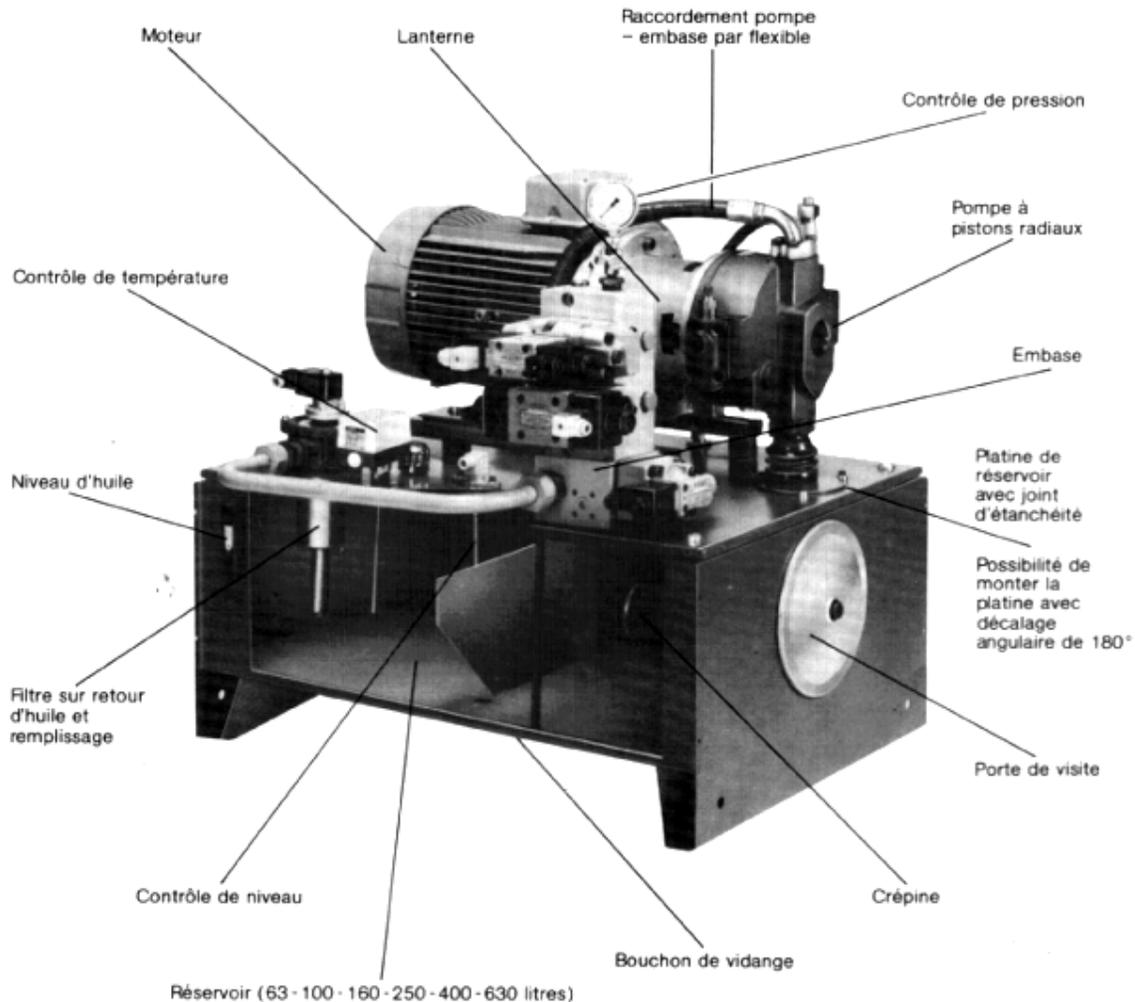


Figure 1.1

1.1 Réservoir (ou bêche)

Il constitue une réserve d'huile permettant un recyclage modéré de l'huile et donc son refroidissement. Fabriqué en tôle d'acier (peinture insensible à l'action chimique du fluide) ou moulé (nervure de refroidissement).

Le volume d'huile au repos doit être supérieur au volume maximal du circuit. En outre, le réservoir doit pouvoir contenir toute l'huile du circuit. On choisit souvent comme valeur moyenne du volume du réservoir le débit maximal de la pompe pendant 2 minutes.

Des déflecteurs isolent l'huile de retour de la zone d'aspiration.

Parmi les accessoires indispensables

- orifice de remplissage avec bouchon et filtre;
- orifice de vidange;
- indicateur de niveau d'huile.

1.2 La filtration

La filtration est indispensable ; la longévité des composants est en fonction de la propreté du fluide. Une huile polluée peut entraîner la détérioration rapide des composants.

La pollution de l'huile peut se manifester sous différentes formes :

- particules métalliques provenant de l'usure des composants;
- montée anormale de l'huile en température;
- présence anormale d'eau dans les circuits ;
- opérations de maintenance négligées ou reportées.

Dans tous les cas, ces problèmes affectent et nuisent au fonctionnement correct, ainsi qu'à la durée de vie du système.

1.2.1 Les différents types de filtration

Sur les systèmes hydrauliques, la filtration de l'huile est obligatoire. Les filtres sont à éléments métalliques, papier ou polyester.

Ils sont placés :

- sur le retour de l'huile au réservoir: dans ce cas, la totalité de l'huile est filtrée avant son retour au réservoir (filtration sur le retour); les filtres sur retour sont toujours équipés d'un clapet anti - retour
- sur l'aspiration : ce filtre protège la pompe (filtration sur aspiration);
- sur la haute pression : le rôle de ce filtre est de protéger par une filtration très fine, de l'ordre de 5 à 10 microns, des composants fragiles comme les servovalves ou les moteurs hydrauliques (filtration sur la pression).

Remarque

En général, les filtres sont équipés d'indicateur de colmatage électrique ou mécanique, indiquant par index de couleur ou cadran avec aiguilles, le degré de colmatage des filtres.

Pour éviter un colmatage très rapide on dimensionne largement les filtres en prenant habituellement : débit filtre = 3 débit pompe.

Les filtres sont généralement doublés de pièges magnétiques destinés à retenir les particules de métaux ferreux.

Exemple de réalisation industrielle et symbolisation des filtres. (voir la figure 1.2)

L'indicateur de colmatage agit pour une différence de pression entre A et B de 5 bars.

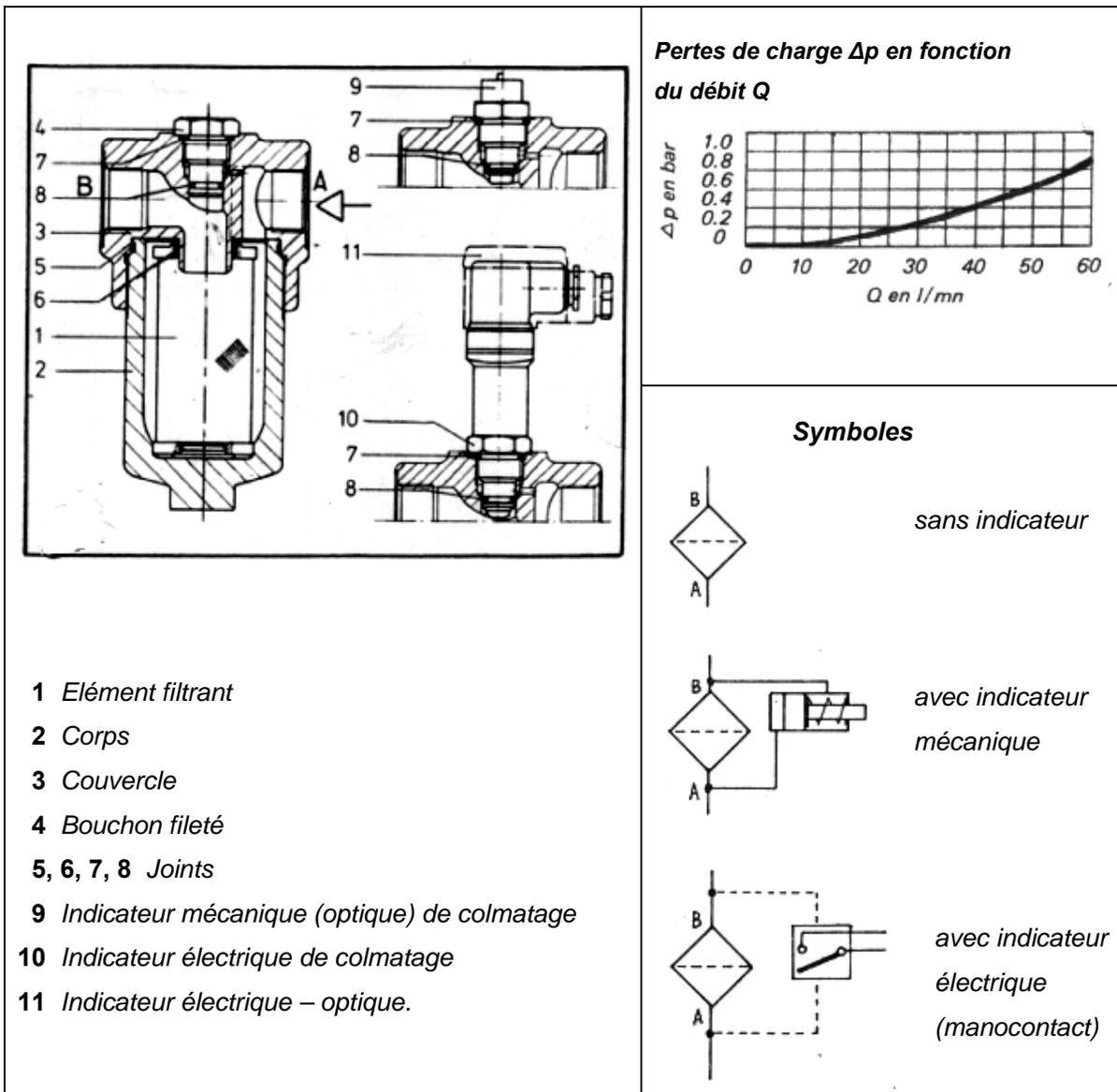


Figure 1.2

1.3 Les pompes

Entraîné par un moteur, la pompe aspire l'huile – ou le fluide hydraulique – contenue dans un réservoir à la pression atmosphérique et la refoule vers les actionneurs.

Les principales pompes montées sur les groupes hydrauliques sont :

- **Les pompes à engrenage** : ce sont les plus répandues ; fonctionnement simple et fiable ; solution la plus économique.
- **Les pompes à palettes** : plus fragiles que la pompe à engrenage, elles demandent une filtration soignée.
- **Les pompes à pistons radiaux** : elles admettent des pressions élevées (+ de 500 bars) ; la filtration doit être soignée.

La caractéristique essentielle des pompes est leur **cylindrée**, c'est-à-dire le volume - généralement exprimé en cm^3 - engendré pour 1 tour de l'arbre de commande.

Une pompe peut être à cylindrée constante ou à cylindrée variable.

$$\text{Cyl} = \frac{Q}{N},$$

Q : débit en cm^3 / min

N : vitesse de rotation en tr / min

Cyl : cylindrée en cm^3 / t (tour)

1.3.1 Pompe à engrenage

Les figures 1.3 et 1.4 donne le principe et un exemple de réalisation d'une pompe à engrenage. L'huile présente à l'orifice d'aspiration est transférée vers la zone de refoulement dans les creux de denture des deux pignons dont l'un seulement est moteur. Le fluide est chassé par la pénétration d'une dent dans le creux de denture de l'autre pignon. Inversement, dans la zone d'aspiration quand une dent quitte le creux correspondant elle crée une dépression, donnant ainsi naissance au phénomène d'aspiration. C'est une pompe à cylindrée constante.

Les difficultés de réalisation sont liées aux problèmes d'étanchéité avec le carter et à l'équilibrage hydrostatique des paliers. Les pignons sont en effet soumis, côté refoulement, à des efforts de pression importants et à des efforts négligeables côté aspiration. Les paliers sont donc fortement chargés. Ils sont très souvent lisses, à forte capacité de charge. L'ensemble de la construction est robuste; l'encombrement est faible et le niveau sonore reste faible. Ce type de pompe est très répandu.

La symbolisation est donnée dans la figure 1.5.

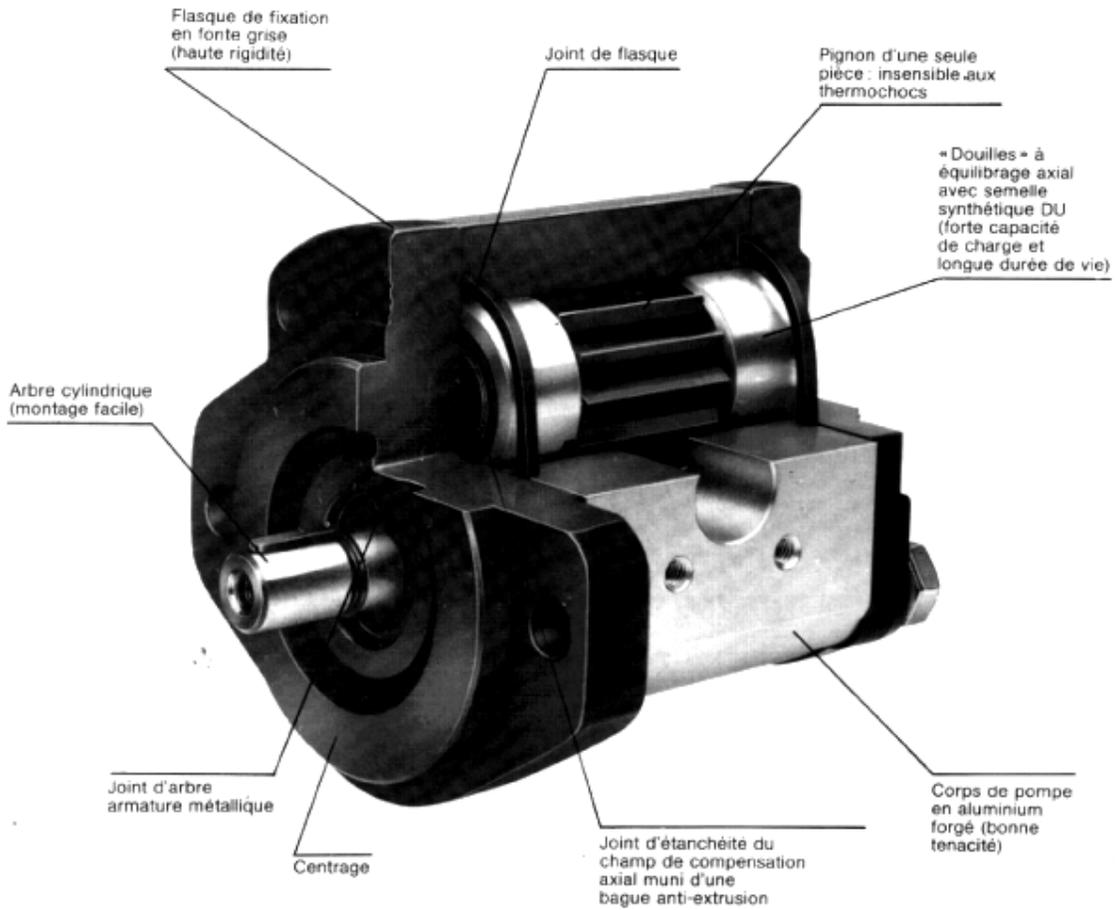


Figure 1.3 Pompe à engraine (corps de pompe)

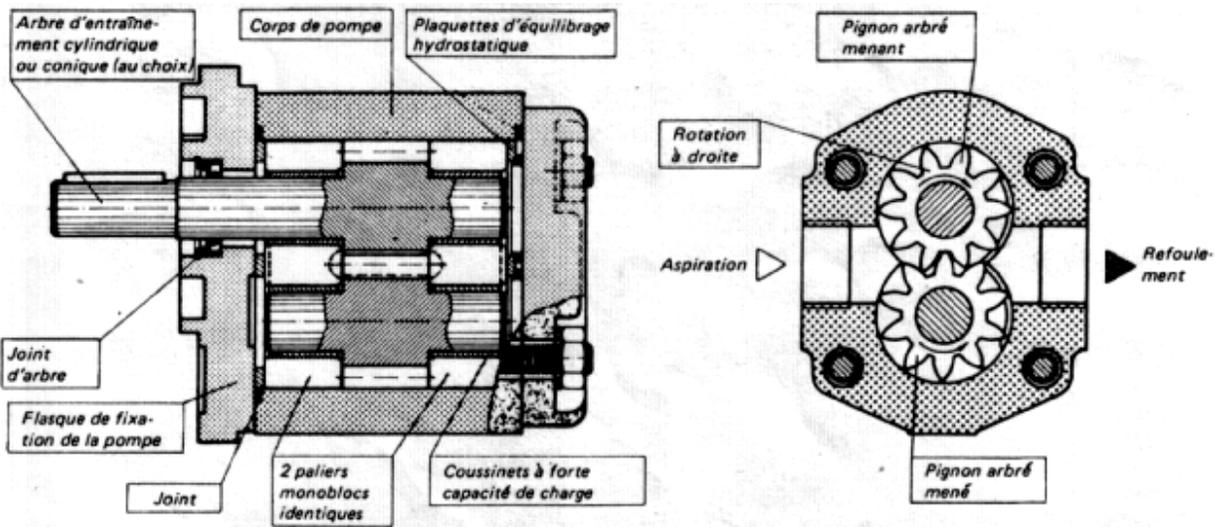


Figure 1.4 Pompe à engraine. Constitution et fonctionnement

➤ Symbolisation

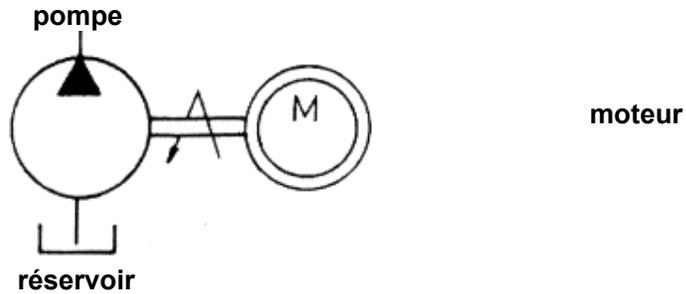


Figure 1.5

1.3.2 Pompe à palettes à cylindrée constante (figure 1.6)

Un rotor, entraîné en rotation, comporte un certain nombre de fentes radiales dans lesquelles couissent librement des palettes. L'extrémité extérieure de chaque palette s'appuie sur un stator dont le profil, formant came, provoque le déplacement de palettes. Le volume compris entre 2 palettes successives passe donc d'une valeur maximale (zone d'aspiration) à une valeur minimale (zone de refoulement). Pour des raisons d'équilibrage hydrostatique on trouve généralement sur ces pompes un stator assurant 2 cycles symétriques d'aspiration et de refoulement.

Les cylindrées sont généralement supérieures à celles des pompes à engrenage pour un même encombrement. Les débits sont donc supérieurs pour une même vitesse de rotation et pour une même pression.

Le symbole est le même que celui d'une pompe à engrenage.

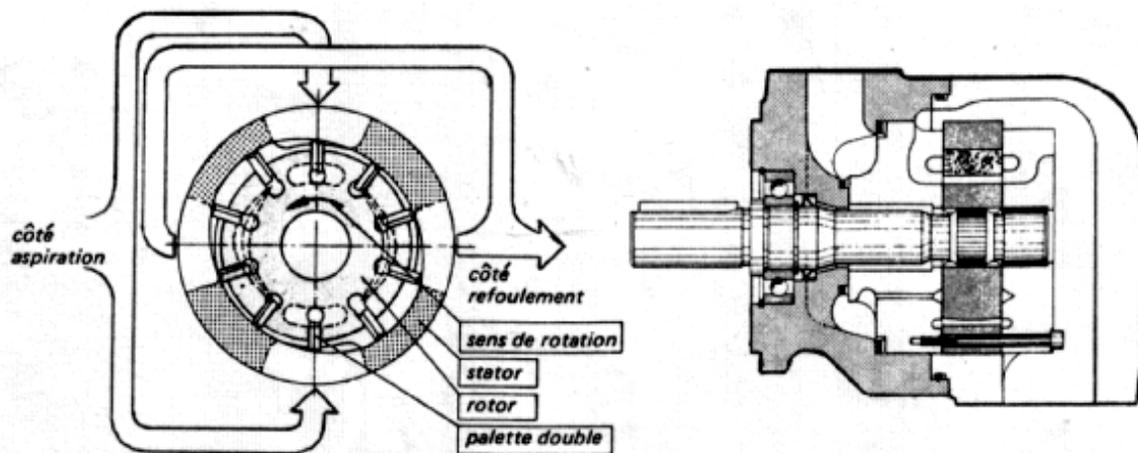


Figure 1.6 Pompe à palette à cylindrée constante

1.3.3 La mise en route des pompes

Le montage et l'installation d'une pompe doivent se faire en respectant certaines règles :

- Remplir la pompe de fluide hydraulique avant son montage dans l'installation.
- Contrôler le sens de rotation du moteur par rapport à la pompe.
- Vérifier que les tuyauteries soient, avant leur montage, débarrassées des impuretés et particules nuisibles.
- Lors de la première mise en service, il est préférable de purger la pompe en desserrant le raccord sur le refoulement.
- Tenir compte des caractéristiques données par le constructeur.
- Vérifier l'accouplement moteur - pompe (alignement des axes)

1.3.4 Le dysfonctionnement des pompes

Dans de nombreux cas d'usure ou de dysfonctionnement des pompes, les causes ont souvent pour origine un fluide hydraulique pollué. Le degré de filtration préconisé par le constructeur doit être impérativement respecté.

Deux types d'incidents peuvent se produire :

- *Un débit faible ou inexistant :*
 - Vérifier la quantité d'huile dans le réservoir.
 - Vérifier la canalisation d'aspiration (bouchée ou obstruée).
 - Vérifier l'étanchéité interne de la pompe.
- *La pompe est chaude en cours de fonctionnement :*
 - La taille de la pompe n'est pas en rapport avec le débit demandé.
 - La quantité d'huile est insuffisante (échauffement de l'huile).

1.4 Le limiteur de pression (*soupape de sûreté*)

Ce composant est indispensable dans les systèmes hydrauliques. Il protège les composants et le système contre les pressions excessives pouvant intervenir dans l'installation. La valeur maximale est prédéterminée par réglage.

La figure 1.7 donne le principe et la symbolisation d'un *limiteur de pression à action directe*. Si la pression p de tarage est atteinte (réglage par le ressort), le clapet s'ouvre.

Une partie du fluide part au réservoir et la pression dans la conduite retombe. Le dispositif est dit « à action directe » car le fluide agit directement sur l'organe de réglage.

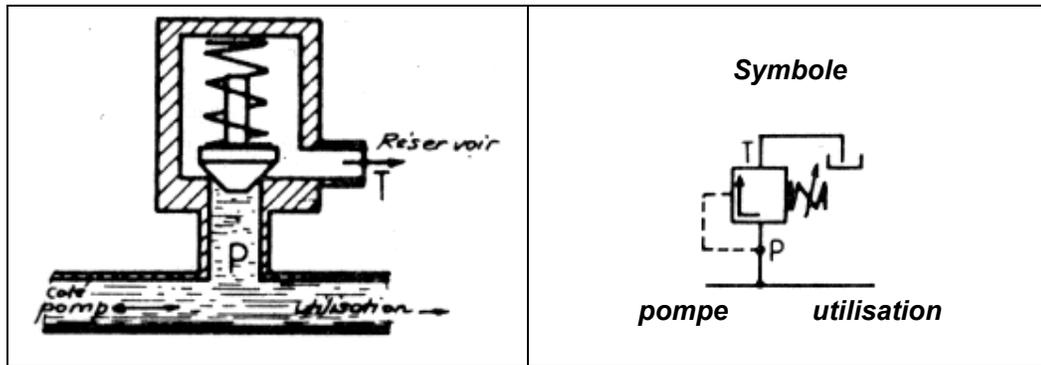


Figure 1.7 Limiteur de pression à action directe

La figure 1.8 donne une réalisation industrielle d'un *limiteur à action indirecte*. La pression p , agit sur le piston 1 mais aussi par les canaux 2 et 3 sur le piston 4. Si la pression dépasse la valeur du tarage (réglée par 5), le clapet 4 s'ouvre. Une partie de l'huile retourne au réservoir par 6, 7. Le piston 1 n'est pas équilibré et se déplace vers la gauche ouvrant directement le passage de P vers T.

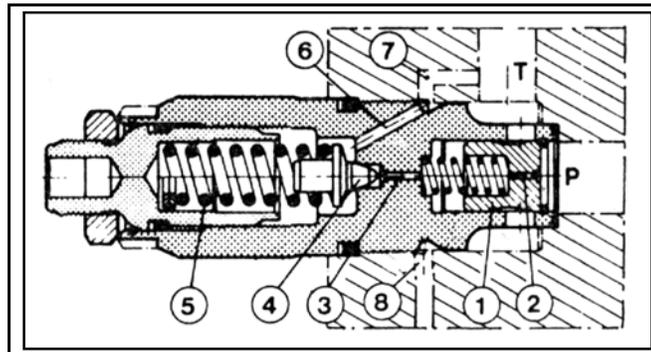


Figure 1.8 Limiteur de pression à action indirecte

➤ Maintenance

Les dysfonctionnements se manifestent différemment.

Le plus souvent, la pression monte lentement ou ne monte pas du tout.

Pour un **limiteur à action directe**, on doit vérifier :

- La mauvaise étanchéité du clapet sur son siège (fuites vers le réservoir).
- La mauvaise position du clapet sur son siège (variation brutale de pression).
- La mauvaise filtration (l'huile est de mauvaise qualité...).

Pour un **limiteur à action indirecte**, on peut avoir une mauvaise étanchéité sur l'un des clapets ou sur les deux (fuites vers le réservoir).

Autres dysfonctionnements qu'on peut rencontrer :

- Le limiteur laisse monter la pression dangereusement. Causes possibles :
 - Le ressort peut être bloqué (le clapet reste sur son siège).
 - Obstruction interne d'un orifice sur un limiteur à action pilotée, ce qui provoque le blocage en position fermée du clapet. La montée en pression devient immédiate (danger).
 - Mauvaise qualité de l'huile (filtration défectueuse).

Remarques importantes

Toutes les opérations de maintenance doivent se faire en l'absence de pression dans le système. Le non-respect de cette règle peut entraîner des accidents graves.

1.5 Mesure de la pression

Les appareils permettant la mesure d'une pression hydraulique sont groupés sous le nom de *manomètres*. Les plus répandus sont les *manomètres « à tube de Bourdon »* qui utilisent la déformation d'un anneau torique. La pression maximale lisible doit être d'au moins 130 % la pression de service. Par ailleurs il n'est pas souhaitable de laisser un manomètre sous pression. Ils sont généralement raccordés - toujours en dérivation - par une vanne d'arrêt qui permet de délester le manomètre au réservoir (figure 1.9 et figure 1.10)

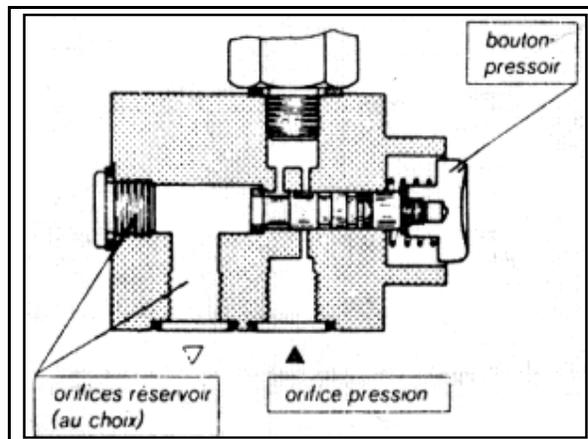


Figure 1.9 Vanne d'arrêt

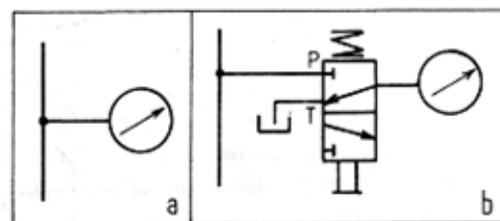


Figure 1.10 a) symbole d'un manomètre
b) monté avec vanne d'arrêt.

En appuyant sur le bouton presseur on met en communication l'entrée de pression p avec le manomètre pour faire la mesure.

CHAPITRE 2 LES COMPOSANTS HYDRAULIQUES

2.1 Réducteur de pression à action directe

2.1.1 Fonction à assurer

Maintenir dans une portion de circuit une pression constante indépendante des fluctuations de débit.

Cet appareil se monte en *série* sur le circuit d'utilisation. Ces dispositifs sont normalement ouverts. Si la pression du circuit d'utilisation augmente, une partie du fluide doit être délesté vers le réservoir.

2.1.2 Principe et symbolisation (figures 2.1 et 2.2)

En régime normal, la perte de charge entre P et A créée par le laminage du fluide abaisse la pression à la valeur choisie.

Le tiroir T est en équilibre, étant soumis à la même pression sur chaque face.

Si la pression en A augmente et dépasse la valeur de tarage du ressort R, celui-ci s'ouvre et laisse partir au réservoir une partie du fluide, l'huile passant par le canal axial du tiroir. Mais l'équilibre du tiroir T est rompu car la pression est plus grande sur la face gauche (pression A). Le tiroir se déplace vers la droite et augmente le laminage du fluide donc la chute de pression entre P et A. La pression A diminue, le clapet se referme et l'ensemble revient à la position initiale.

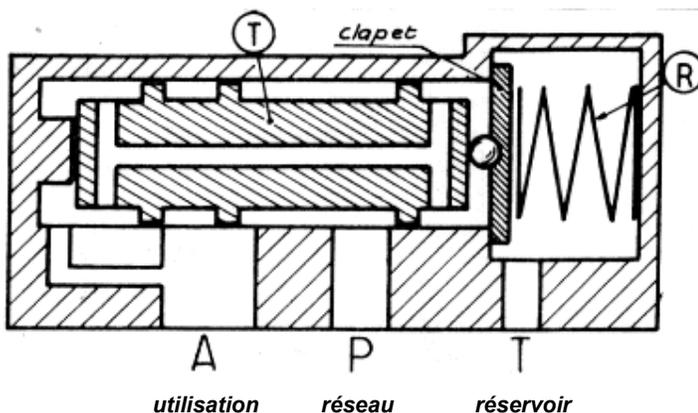


Figure 2.1 Réducteur de pression à action directe

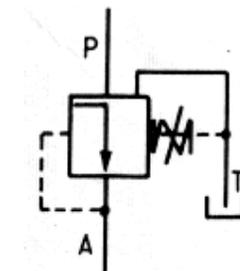


Figure 2.2 Symbole

2.2 Soupape de séquence

2.2.1 Fonction à assurer

Le dispositif doit interdire la mise en communication d'un circuit P vers un autre circuit A tant qu'une pression de pilotage n'a pas atteint une valeur choisie. Cette pression peut être celle du circuit P ou d'un autre circuit extérieur.

2.2.2 Principe (figure 2.3)

Le tiroir 1 est soumis à gauche à la pression P et à droite à l'action du ressort 2. Si P dépasse une certaine valeur et arrive à vaincre l'action de ce ressort, le tiroir se déplace vers la droite et autorise le passage de P vers A.

Ce dispositif justifie son appellation de *soupape de séquence* car il autorise effectivement le départ d'une séquence sous l'effet d'un signal de pression. Ce signal peut d'ailleurs être extérieur au circuit P. On le fait alors arriver en X où il s'ajoute à la pression P.

Le dispositif représenté à la figure 3.3 est donc à huile de pilotage interne (pression P) et à retour externe (orifice T) des fuites.

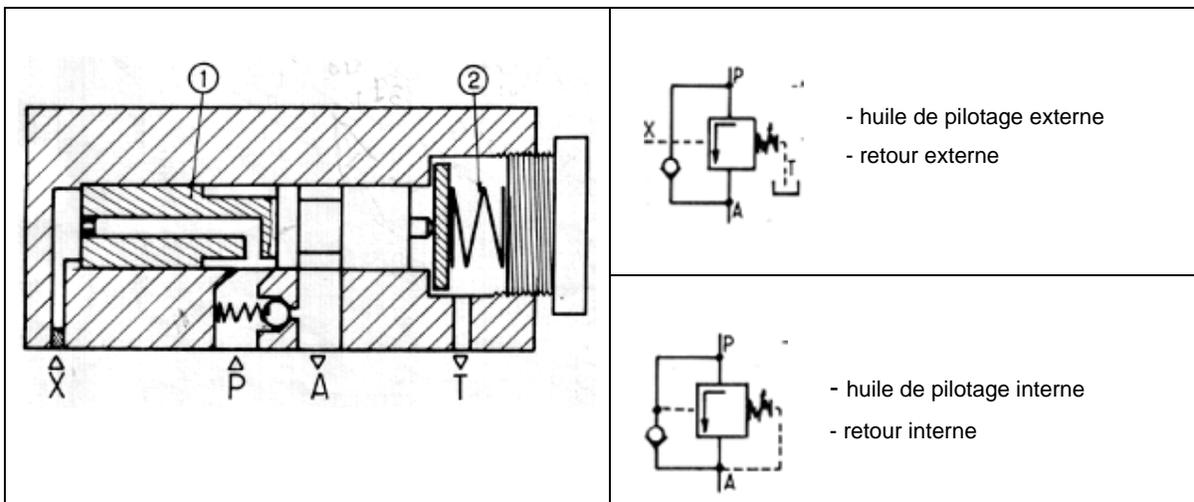


Figure 2.3 Soupape de séquence. Principe et symbolisation

2.3 Distribution du fluide

Les distributeurs autorisent le débit du fluide sous pression vers les actionneurs et le retour de ce fluide vers le réservoir après que ce fluide ait cédé une partie de son énergie dans l'actionneur (vérin ou moteur hydraulique).

Le choix des solutions constructives permet de distinguer :

- les distributeurs à clapet,
- les distributeurs à tiroir cylindrique commandé en rotation,
- les distributeurs à tiroir cylindrique commandé en translation.

La figure 2.4 donne les principes de fonctionnement de ces 3 types de distributeurs. Nous n'étudierons en détail que les distributeurs à tiroir cylindrique commandé en translation, ceux-ci étant de loin les plus répandus.

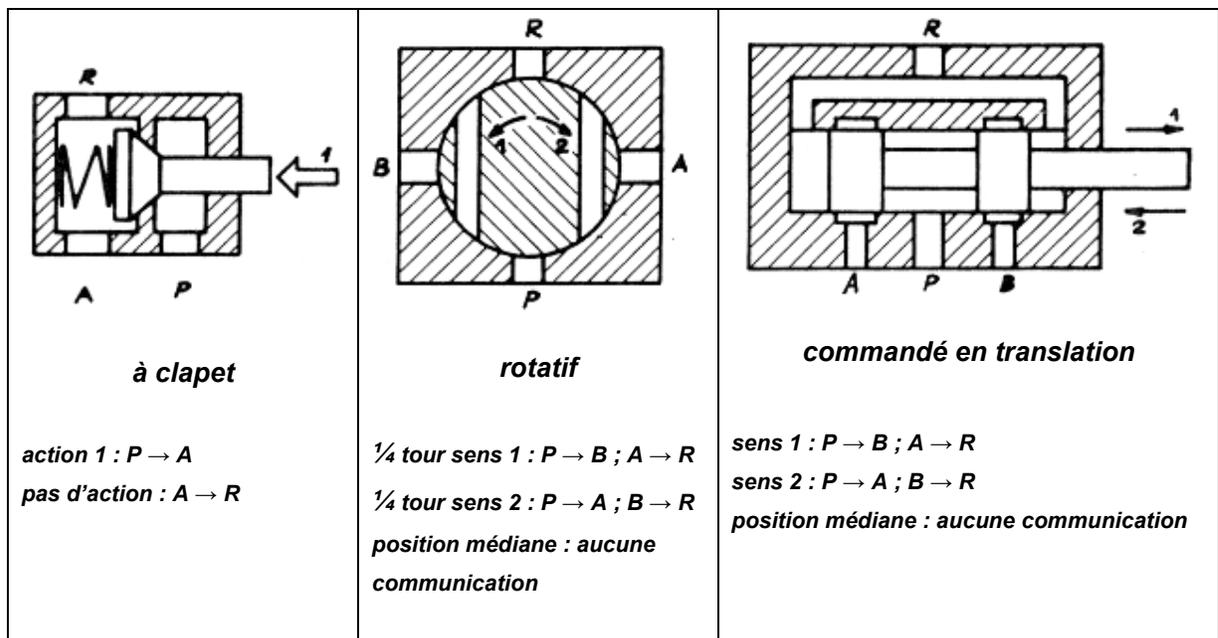


Figure 2.4 Solutions constructives des distributeurs

2.3.1 Technologie des distributeurs à tiroir cylindrique commandé en translation (valves de distribution)

➤ Fonction

Le rôle des valves de distribution est, selon la commande à réaliser, d'isoler ou de mettre en communication les canalisations ou encore d'établir alternativement des liaisons entre les

différentes canalisations hydrauliques qui arrivent et repartent. De cette façon, le sens d'application de la pression et du débit se trouve influencé et le récepteur reçoit d'ordres de départ, d'arrêt ou de changement de son sens de mouvement (vérin ou moteur hydraulique).

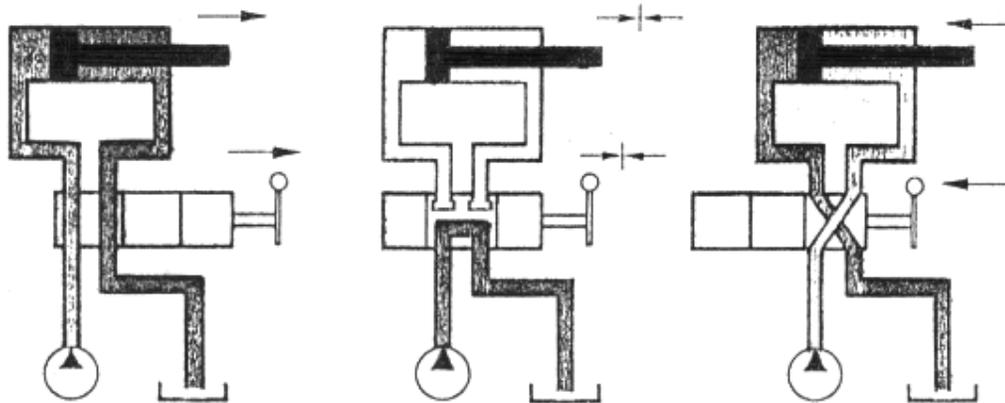


Figure 2.5 Valves de distribution. Fonction

➤ Schémas symboliques et désignations (selon DIN - ISO 1219)

- *Positions de commandes et raccordements*

Pour la définition d'une valve de distribution, le nombre de positions du tiroir de distribution ainsi que celui des canalisations y aboutissant est primordial. Ces critères permettent de définir une valve de distribution.

Chaque position de commande est représentée par un carré. Des flèches et des traits placés à l'intérieur du carré visualisent la mise en communication des différents orifices de branchement.

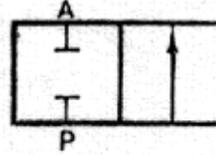
Un symbole complet de valve est constitué par plusieurs carrés de base que l'on juxtapose. La valve de distribution la plus simple comporte 2 orifices de raccordements et 2 positions. La fonction des différentes positions de commande devient claire lorsqu'on déplace les positions du symbole par rapport aux canalisations fixes du schéma dans lequel il est inséré, comme représenté ci-dessus.

Le repérage des orifices de raccordements à l'aide des lettres P, T, A, B et L est à faire sur le carré représentant la valve de distribution dans sa position repos.

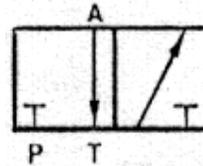
**Nombre d'orifices
de raccords (voies) – première chiffre**

**Nombre de positions
de commande – deuxième chiffre**

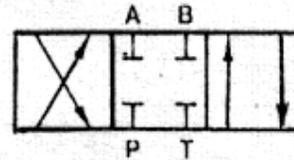
Valve de distribution 2 / 2



Valve de distribution 3 / 2



Valve de distribution 4 / 3



P - Orifice d'arrivée de la pression (pompe)

T - Orifice de retour (réservoir)

A, B - Orifices de sorties (récepteurs)

L - Orifice des fuites

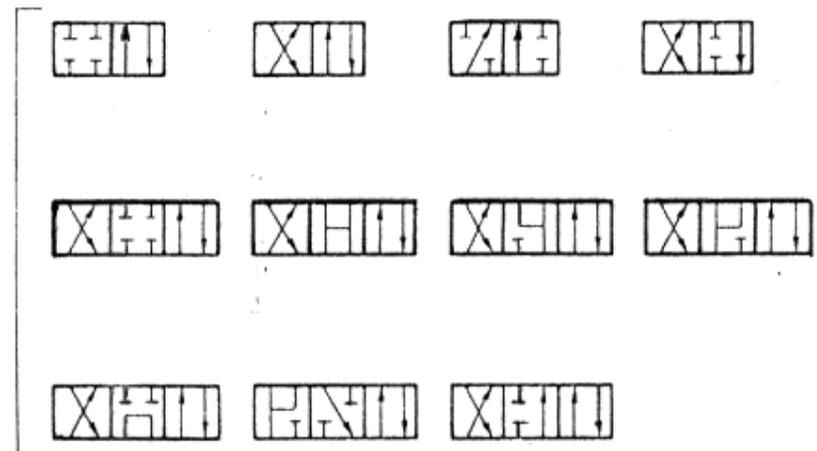
• Variantes des **symboles de distribution**

Les combinaisons des liaisons entre les différents orifices de raccords découlent des besoins qui se sont révélés dans la pratique. Ci - dessous, à titre d'exemple, quelques symboles fréquemment usités :

Valve de distribution 2 voies



Valve de distribution 3 voies



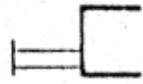
Valve de distribution 4 voies

- *Modes de commandes*

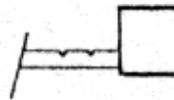
Les différentes positions du tiroir sont activées par des ordres de commandes en provenance de l'extérieur. Le mode de commande est également représenté dans le symbole de la valve.

Les modes de commandes les plus importants sont :

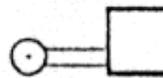
Commande manuelle en général



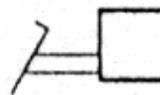
Commande manuelle par levier avec crantage



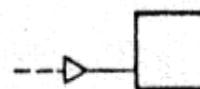
Commande par galet



Commande par pédale

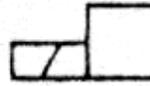


Pilotage hydraulique

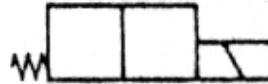


Pilotage pneumatique

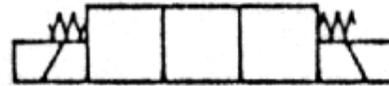
Commande par électro-aimant



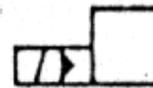
Rappel par ressort
(et électro-aimant)



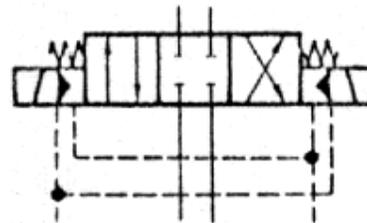
Centrage du tiroir par ressorts
(et électro-aimant)



Commande indirecte par distributeur pilote
(par électro-aimants et pilotage hydraulique)



Commande indirecte par distributeur pilote
(avec centrage par ressorts et représentation
du circuit de pilotage)



2.4 Réglage du débit

2.4.1 Réducteur de débit unidirectionnel

➤ Fonction et principe

- Freinage de la circulation du fluide par un organe réglable (vis pointeau, boisseau à lumière...).

- Ces appareils restent sensibles aux variations de pression. Ils provoquent un laminage important du fluide et donc son échauffement accompagné d'une perte de charge souvent importante.
- Ils ne sont utilisés que pour de petites puissances. Le réglage devient en outre très délicat pour de petits débits (60 à 100 cm³/ min).
- L'organe de freinage est en général associé à un clapet d'anti-retour qui ne rend efficace le freineur de débit que dans un sens de circulation.
- Ces dispositifs se montent en série sur la conduite. Ils sont souvent utilisés pour régler la vitesse d'un vérin.
- Dans les catalogues constructeurs ils sont souvent appelés « étrangleurs ».

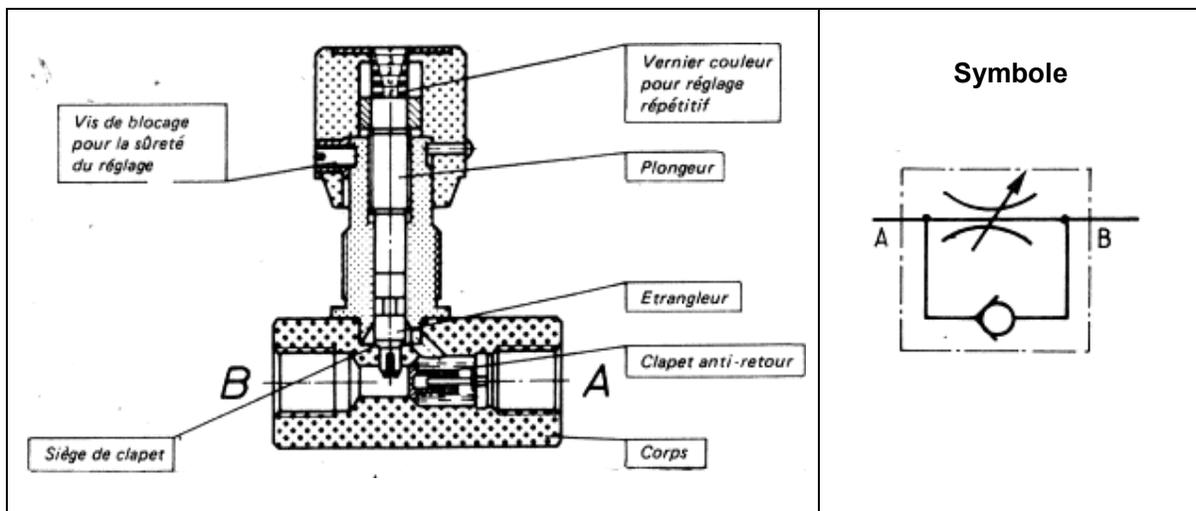


Figure 2.6 Réducteur de débit unidirectionnel et réglable. Principe et symbolisation

2.4.2 Clapet d'anti- retour

Limite la circulation du fluide à un seul sens. Se monte en série sur la conduite. L'ouverture du clapet peut, sur certains modèles, être obtenue par un pilotage extérieur. La figure 2.7 précise la réalisation industrielle et la symbolisation d'un clapet d'anti-retour.

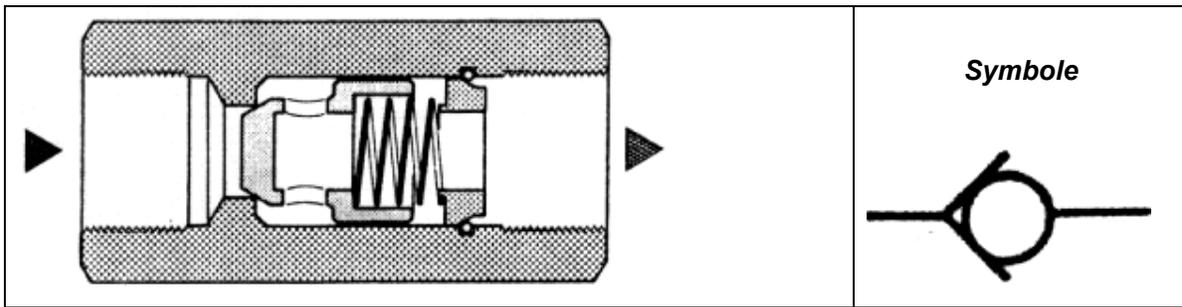


Figure 2.7 Clapet d'anti-retour

2.5 Les actionneurs

2.5.1 Les vérins hydrauliques

- Le principe est le même que celui des vérins pneumatiques. Les différences se situent au niveau des solutions constructives adaptées aux fortes pressions et à la nature même du fluide étanchéités, matériaux, épaisseurs, guidages...

Les constructions standard vont de $\varnothing 25$ à $\varnothing 200$ avec l'échelonnement classique 25 - 32 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100 - 125 - 150 - 200.

- On rencontre 3 types de fabrication : à tirants, à fonds vissés aux extrémités du tube ou tête vissée et fond soudé. Les types de fixation sont identiques à ceux des vérins pneumatiques : par le fond du vérin (rotule, chape, bride,...), par collier à tourillon au milieu du vérin ou par le nez du vérin (bride ou pattes).
- Les vérins à double tige se trouvent assez fréquents dans les installations hydrauliques demandant des efforts et des vitesses identiques dans les 2 sens de déplacement.
- La plupart des vérins hydrauliques comportent un amortissement en fin de course dès que $v > 0,1$ m/s.
- La figure 2.8 donne **les symboles des vérins simple tige et double tige**.

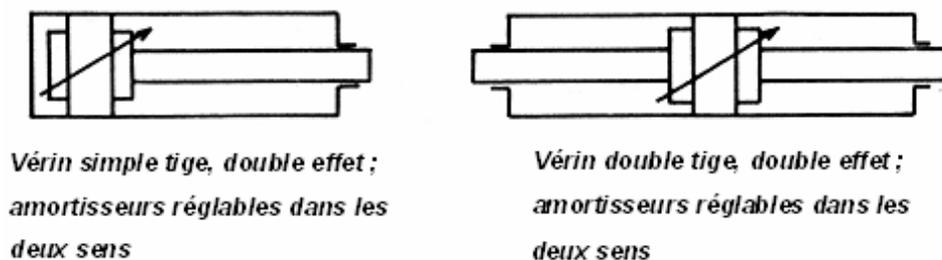


Figure 2.8

Exemple de réalisation industrielle

La figure 2.9 (a) donne un exemple de réalisation industrielle standard d'un vérin hydraulique simple tige.

Voir sur la figure 2.9 (b), le détail du système d'amortissement en fin de course.

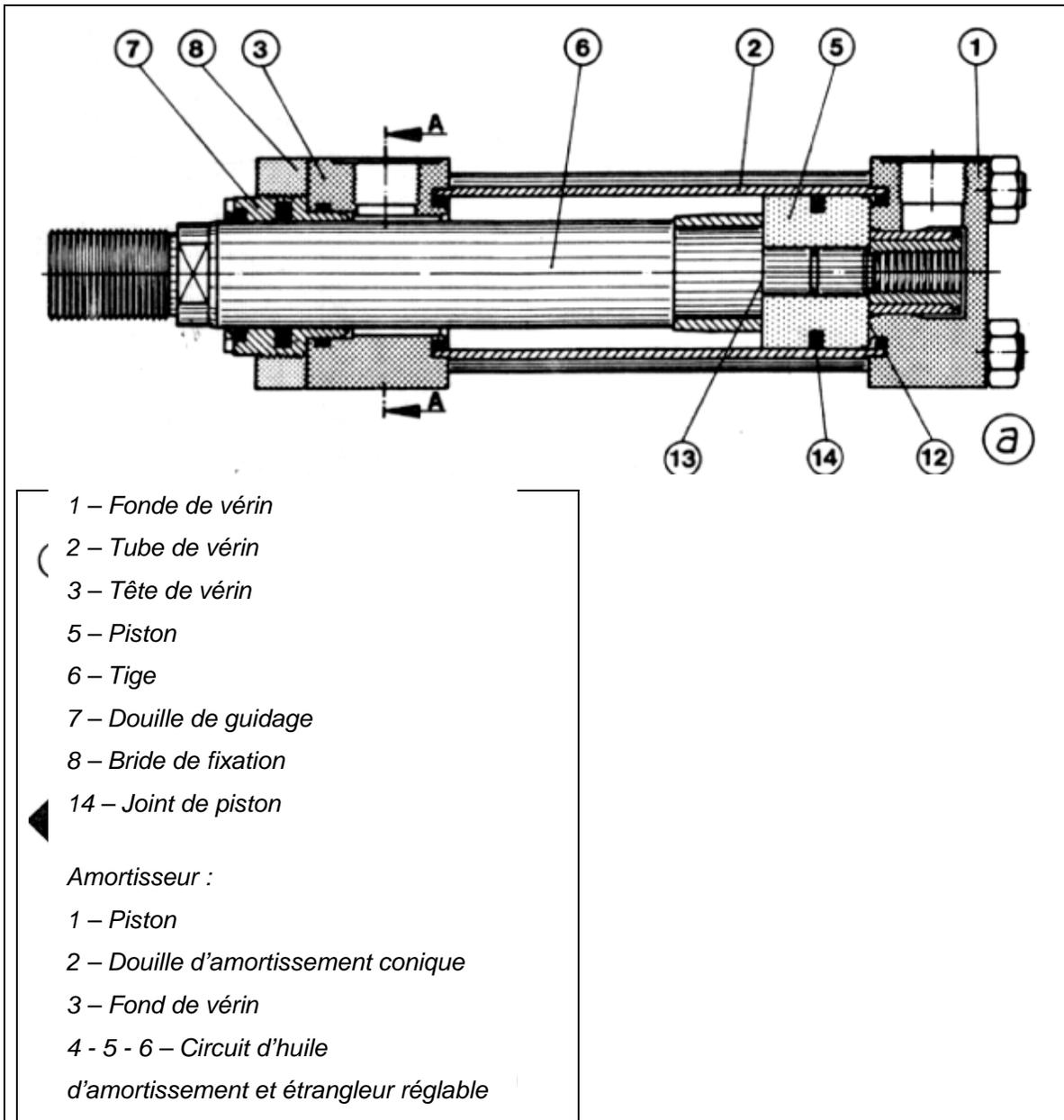


Figure 2.9

2.5.2 Les moteurs hydrauliques

Les moteurs hydrauliques possèdent une apparence et un principe de fonctionnement qui ressemble beaucoup aux pompes hydrauliques volumétriques.

Cependant, le rôle d'un moteur hydraulique est tout autre. Une pompe hydraulique fournit un débit et une puissance hydraulique à un circuit hydraulique. Quant au moteur hydraulique, il fait partie du circuit et est entraîné en rotation par le débit de la pompe. Il transforme l'énergie hydraulique du circuit en énergie mécanique.

Les moteurs hydrauliques utilisent les mêmes technologies et pratiquement les mêmes solutions constructives que les pompes. La plupart des pompes sont d'ailleurs capables de fonctionner en moteurs.

➤ Réglage de la vitesse

Sur les moteurs et sur les vérins, le réglage de la vitesse se fait en agissant sur le débit. Le composant utilisé est alors un « limiteur de débit ».

➤ Symbolisation

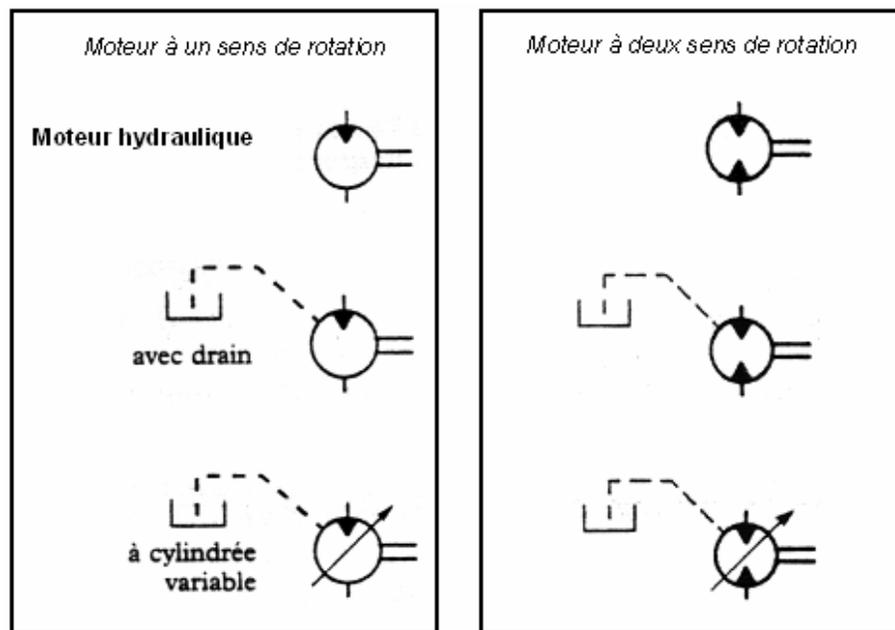


Figure 2.10

➤ Types de moteurs hydrauliques

Les principaux types de moteur hydraulique sont :

- les moteurs à engrenage,
- les moteurs à palettes
- les moteurs à pistons.

Ce sont des moteurs volumétriques généralement à cylindrée constante. Les organes moteurs (pistons, palettes, engrenages) sont entraînés par le débit de fluide.

L'énergie de ce fluide est transformée en énergie mécanique présente sous la forme d'un *couple moteur* [Cm] ; l'autre caractéristique du mouvement étant la *vitesse de rotation* [N tr/min].

Le principe de fonctionnement de tous les types de moteurs est le même. Une différence de pression existe entre l'admission et le refoulement du moteur. Cette différence de pression s'applique sur les parties mobiles internes du moteur qui sont reliées mécaniquement à l'arbre d'accouplement du moteur. Sous l'effet de la différence de pression, les pièces mobiles internes se déplacent et entraînent ainsi l'arbre du moteur et la charge à déplacer.

- **Moteurs à engrenage**

Les moteurs à engrenage sont une réplique des pompes volumétriques à engrenages. Ils sont de constitution simple et ont l'avantage d'être le moins coûteux.

Les principaux types de moteurs à engrenage sont :

- les moteurs à engrenage externe,
- les moteurs à engrenage interne à croissant,
- les moteurs à engrenage interne à gérotor ou orbital.

Moteurs à engrenage à denture externe

Dans un moteur à engrenage à denture externe, le fluide sous pression fourni par la pompe fait tourner les roues dentées en sens opposé.

Une roue dentée est raccordée à l'arbre d'accouplement du moteur et fournit ainsi le couple de sortie du moteur.

La figure 2.11 représente le principe de fonctionnement d'un moteur à engrenage à denture externe.

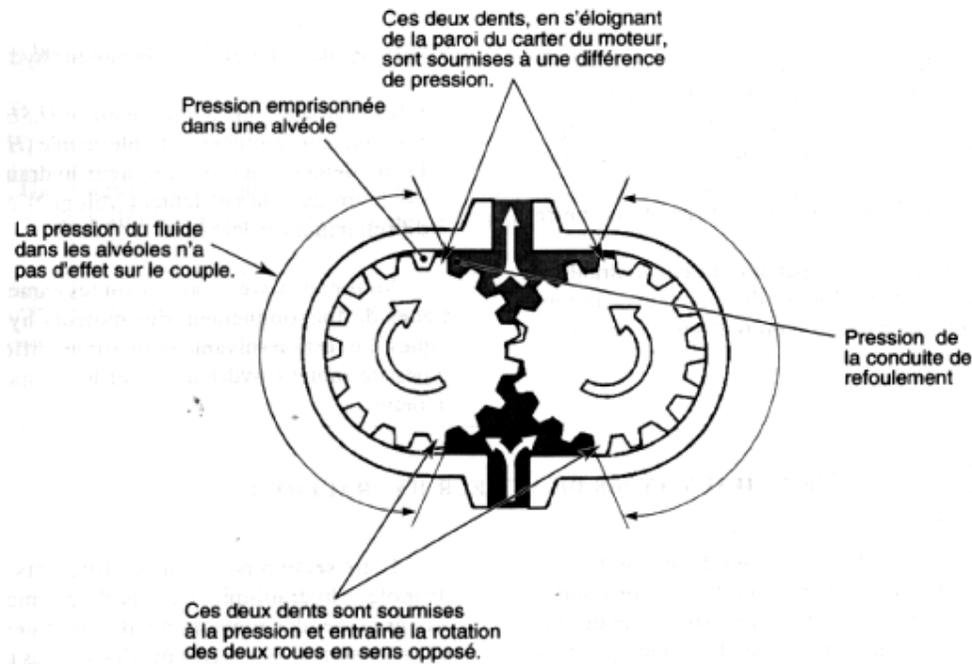


Figure 2.11 Principe de fonctionnement d'un moteur à engrenage à denture externe

- **Moteurs à palettes**

Les moteurs à palettes sont une réplique des pompes volumétriques à palettes. Ils offrent un rendement volumétrique supérieur à celui des moteurs à engrenage. Ils sont toutefois légèrement plus coûteux.

Dans un moteur à palettes, le couple est développé par la pression du fluide agissant sur les palettes. La pression crée une force sur la palette et entraîne ainsi un mouvement de rotation du rotor et de l'arbre d'accouplement du moteur. La figure 2.12 représente le principe de fonctionnement d'un moteur à palettes.

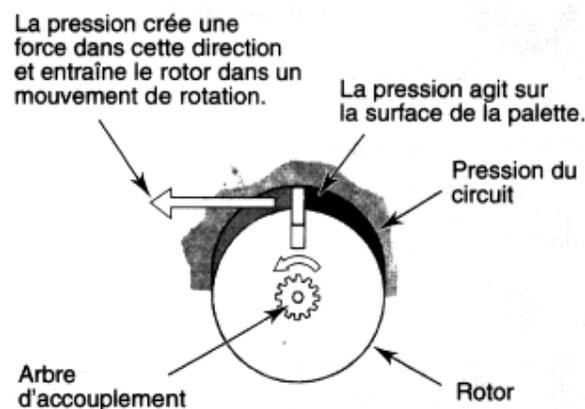


Figure 2.12 Principe de fonctionnement d'un moteur à palettes

- **Moteurs à pistons**

Les moteurs à pistons offrent un rendement plus élevé que les moteurs à palettes. Ils sont fréquemment utilisés parce qu'ils offrent une grande puissance mécanique par rapport à leur faible poids.

Moteurs à pistons radiaux

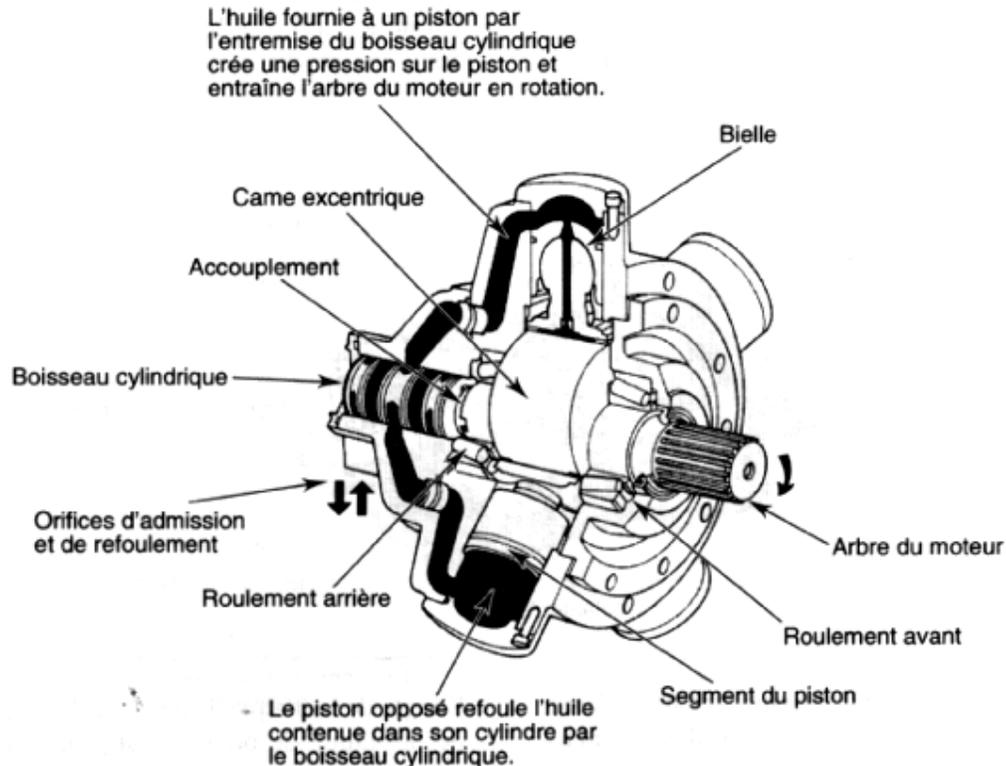


Figure 2.13 Principe de fonctionnement d'un moteur à pistons radiaux.

La distribution du fluide s'effectue par un boisseau cylindrique qui comporte un orifice d'admission et un orifice de refoulement. L'huile fournie à un piston par l'entremise du boisseau cylindrique crée une pression sur le piston. Ce piston pousse, par l'entremise de sa bielle, sur la came excentrique de l'arbre du moteur et force ce dernier à amorcer un mouvement de rotation. Le mouvement de rotation de l'arbre entraîne par l'entremise d'un accouplement le déplacement du boisseau cylindrique. En tournant, le boisseau cylindrique permet successivement l'alimentation en huile des pistons et le refoulement simultané de l'huile des pistons opposés.

La figure 2.14 vous montre un moteur à pistons radiaux.

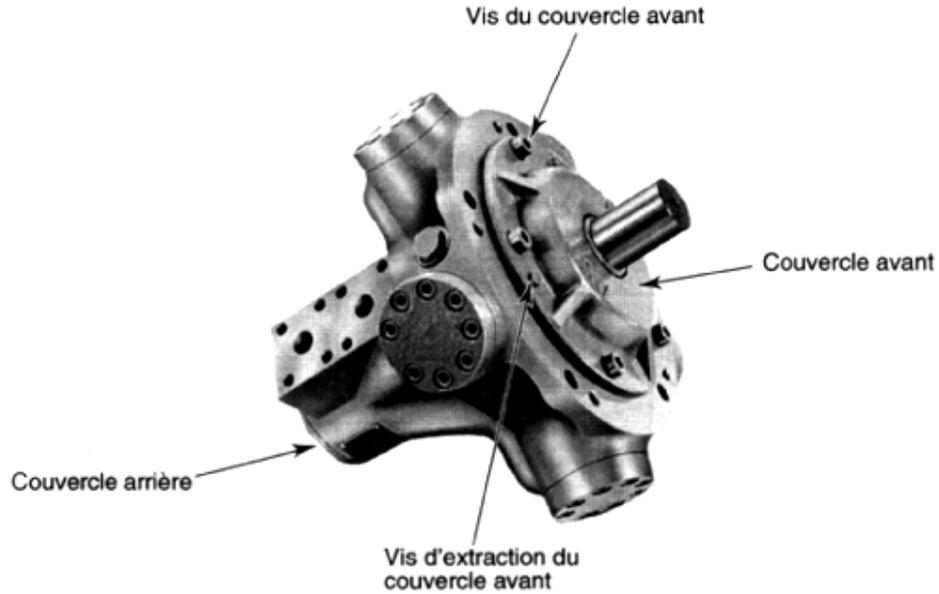


Figure 2.14 Moteur à pistons radiaux.

Moteurs à pistons axiaux

Les moteurs à pistons axiaux présentent le même agencement de pièces mobiles internes que les pompes volumétriques du même nom.

On les trouve à cylindrée fixe ou à cylindrée variable. La figure 2.15 vous montre un moteur à pistons axiaux à cylindrée fixe.

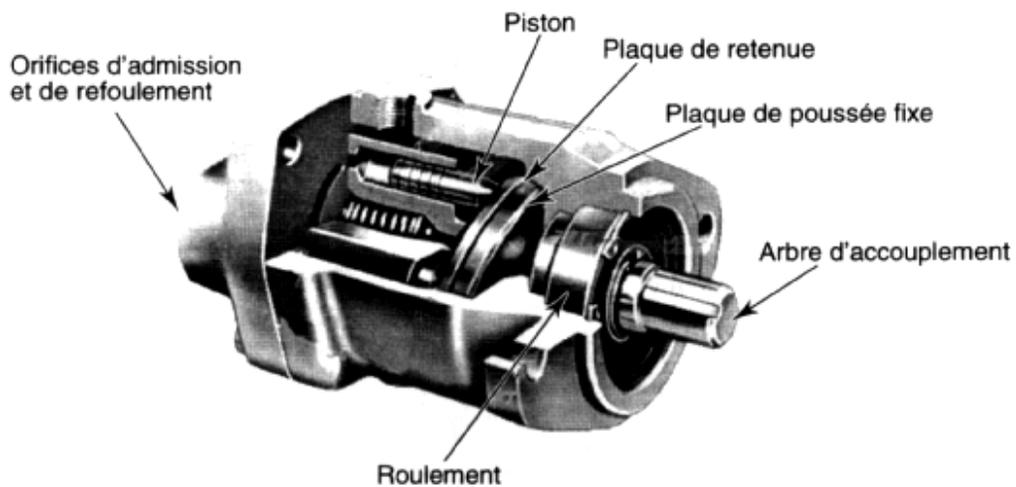


Figure 2.15 Moteur à pistons axiaux à cylindrée fixe

Le fluide fourni par la pompe crée une force sur les pistons et génère ainsi le déplacement en rotation de l'arbre du moteur.

La figure 2.16 vous montre un moteur hydraulique à pistons axiaux à cylindrée variable. L'ajustement de la cylindrée est contrôlé par l'angle de la plaque de poussée. Le déplacement de la plaque de poussée est, quant à lui, contrôlé par un compensateur de pression et un servopiston. Il existe plusieurs moyens de varier la cylindrée d'un moteur. Il peut s'agir, par exemple, d'un simple levier, d'un compensateur ou d'un système de contrôle très sophistiqué.

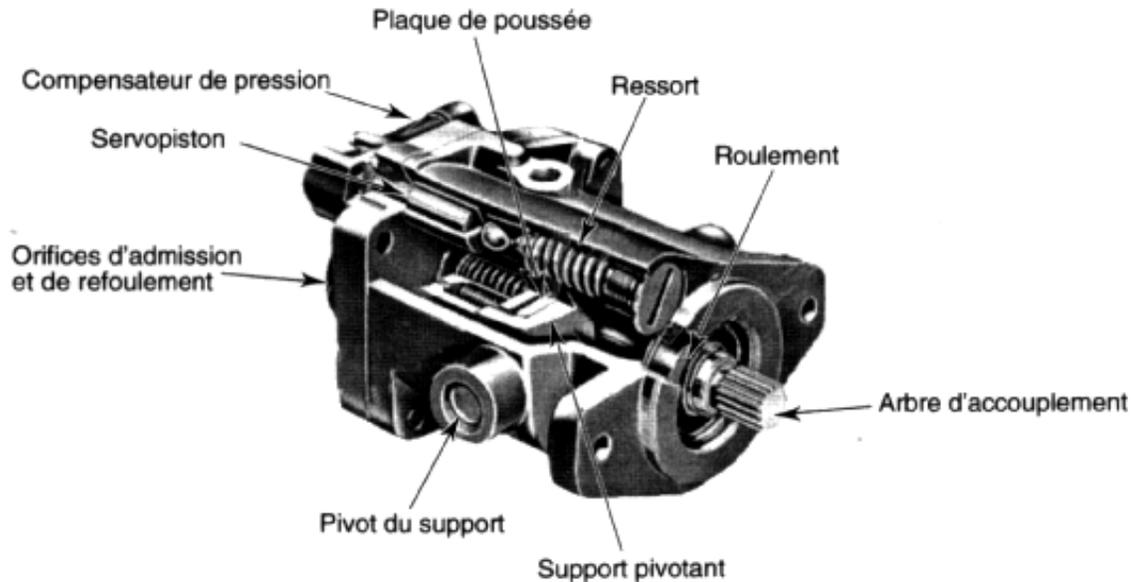


Figure 2.16 Moteur à pistons axiaux à cylindrée variable

➤ Installation et mise en oeuvre des moteurs

Lors de la mise en place des moteurs, certaines règles sont à respecter :

- Remplir le moteur d'huile avant son montage.
- Vérifier les fixations lors de la mise en place.
- Contrôler le sens de rotation.
- Respecter les caractéristiques et les limites d'utilisation prescrites par le constructeur.
- Vérifier la liberté des conduites ainsi que le serrage des raccords.
- Contrôler l'étanchéité des raccords.

Remarques

Les moteurs hydrauliques sont des composants fragiles. Il convient de respecter une filtration de 25 à 30 microns et de vérifier la qualité de l'huile.

Il convient également de vérifier la résistance des accouplements en sortie d'arbre (les moteurs hydrauliques peuvent transmettre des couples très importants).

Le tableau ci-dessous résume quelques caractéristiques des moteurs hydrauliques.

Type du moteur	Vitesse de rotation N tr / min	Pression de service maxi p bars	Rendement global h	Couple au démarrage % du couple maxi
Moteurs à engrenages	500 à 3000	100 à 150	0,7 à 0,8	70%
Moteurs à palettes	80 à 3500	150 à 180	0,8	70%
Moteurs à pistons radiaux : - faisant 1 course par tour - faisant plusieurs courses par tour	20 à 500 5 à 800	200 200	0,95 0,8 à 0,9	90% 85%
Moteurs à pistons axiaux : - à plateau incliné - à axe brisé fixe - barillet inclinable (cylind. variable)	50 à 3000	400 200	0,9	70% 90%

Remarques

Un grand nombre de ces moteurs sont prévus pour tourner dans les 2 sens par inversion de l'alimentation et du retour au réservoir.

La récupération des fuites (inévitables surtout sur les moteurs rapides) se fait par un drain. Ce drain peut être interne et l'huile de fuite retourne alors dans une autre partie du circuit conduisant au réservoir, ou externe, par une conduite particulière. La position de cette conduite est prévue par le constructeur (généralement dans une partie haute) et doit être respectée au montage.

➤ Calculs relatifs aux moteurs hydrauliques

Couple théorique :
$$C_{mth} = \frac{Cyl \times (p_e - p_s)}{2\pi},$$

où :

C_{mth} = couple moteur théorique en [N m]

Cyl = cylindrée en [cm³/tr]

p_e = pression à l'entrée en [bars]

p_s = pression à la sortie en [bars]

La vitesse de rotation N d'un moteur hydraulique dépend de la quantité d'huile qui lui est fourni ainsi que de la cylindrée du moteur.

En fonction de débit Q et de la cylindrée Cyl, la vitesse de rotation N sera :

$$N = \frac{Q}{Cyl},$$

où :

Q = le débit en [cm³/min]

Cyl = la cylindrée en [cm³/tr]

N = a vitesse de rotation en [tr/min]

Un moteur hydraulique reçoit à partir d'une pompe, une puissance hydraulique :

$$P_1 = \frac{Q \times p}{60000},$$

où :

Q = le débit de la pompe en [litres/min]

P = pression côté refoulement de la pompe en kPa

P₁ = puissance hydraulique en kW

La puissance mécanique fournie par le moteur hydraulique est :

$$P_1 = \frac{C_m \times N}{9550},$$

où :

P = puissance mécanique en kW

C_m = couple en [N m]

N = vitesse de rotation en tr/ min

Le couple fournie par un moteur est toujours inférieur au couple théorique. Cette différence est due aux pertes que subit le couple théorique pour vaincre le frottement visqueux et le frottement dynamique à l'intérieur du moteur.

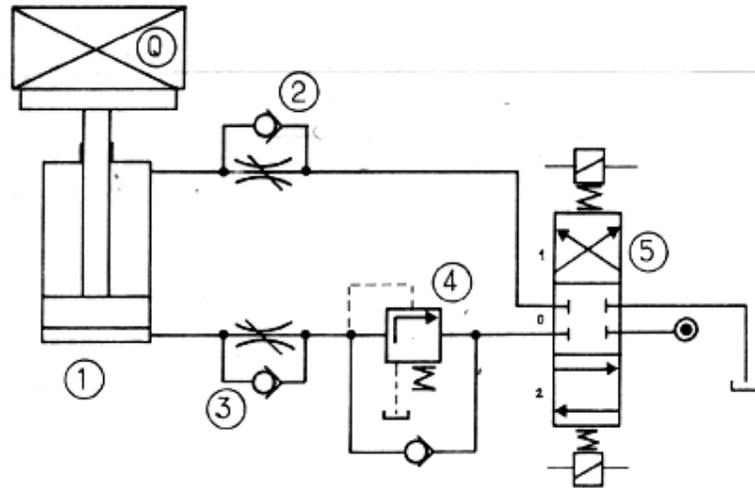
Le rendement total d'un moteur hydraulique peut être connu en pourcentage par rapport de sa puissance de sortie (ou puissance hydraulique). L'équation utilisée est alors la suivante :

$$\eta_t = \frac{\text{puissance de sortie}}{\text{puissance d'entrée}} \times 100$$

$$\eta_t = \frac{P}{P_1} \times 100$$

CHAPITRE 3 CIRCUITS HYDRAULIQUES. EXERCICES DE SYNTHÈSE

3.1 Schéma d'une installation prévue pour le contrôle du déplacement d'une charge Q par une soupape de séquence utilisée en équilibrage.



1 – vérin ; 2, 3 – réducteur du débit unidirectionnel et réglable, clapet d'anti-retour ; 4 – soupape de séquence ; 5 – distributeur (déplacement électriquement du tiroir)

1° La charge Q a une masse de 3 000 kg. La pression disponible est de 80 bars. La course du vérin est de 1 mètre. Les pertes de charges sont les suivantes :

- distributeur 6 bars
- soupape de séquence 2 bars
- réducteurs de débit : 4 bars.

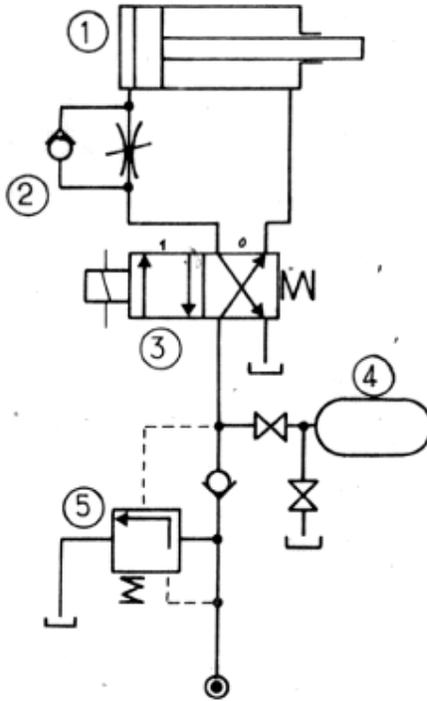
Déterminer la section du vérin et le volume d'huile engendré par sa course.

2° Expliquer le fonctionnement de l'installation.

3.2 Utilisation d'un accumulateur en réserve d'énergie

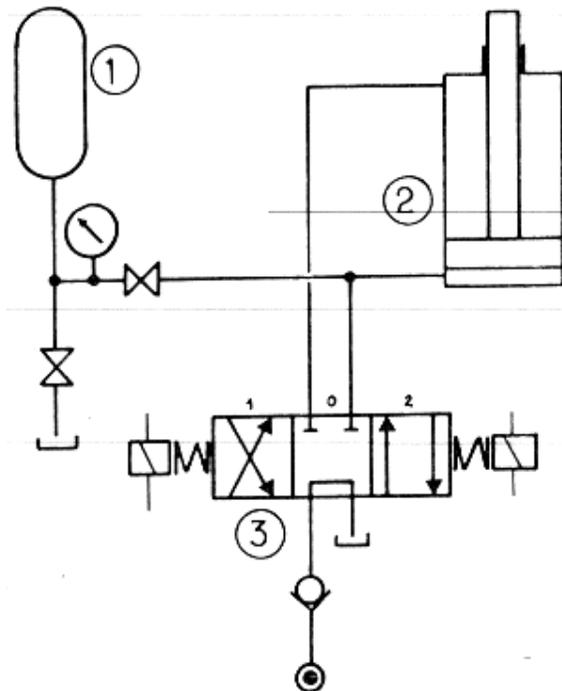
1° Désigner tous les composants figurant sur ce schéma.

2° Expliquer le fonctionnement.

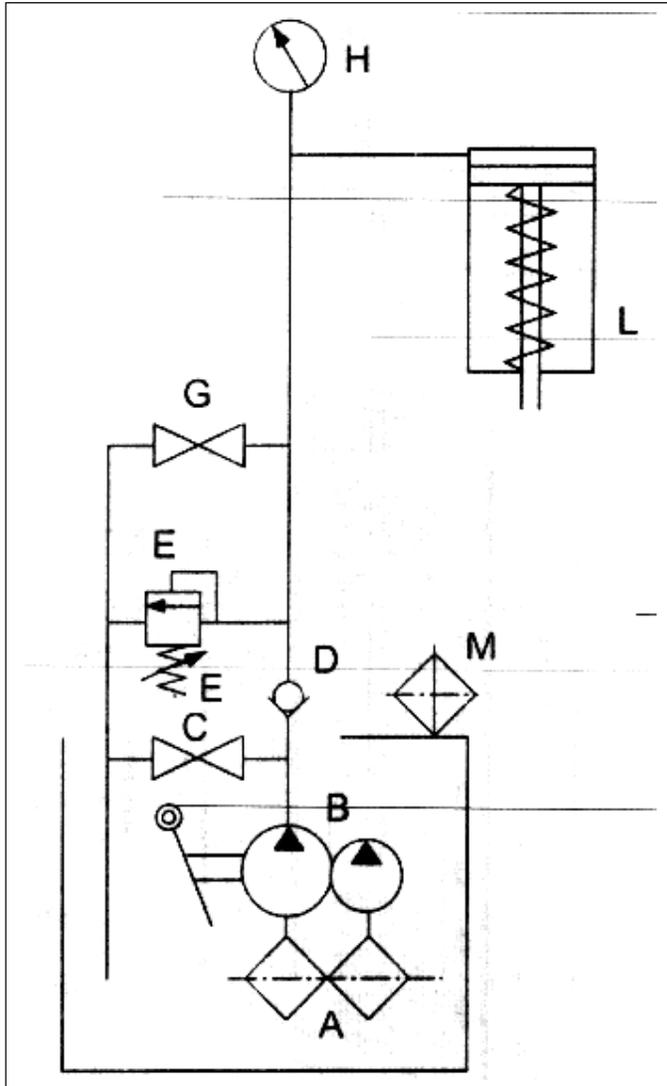


3.3 Utilisation d'un accumulateur pour maintenir un vérin sous pression

- 1° Expliquer le fonctionnement de l'installation.
- 2° Quel intérêt peut présenter une telle installation par rapport à celle qui ne comporterait pas d'accumulateur?



3.4 Schéma d'une presse hydraulique avec pompe à main à deux vitesses



- A - Filtres
- B - Pompe à main
- C - Soupape de basse vitesse
- D - Soupape de retenue
- E - Soupape de pression maximum
400 kg/cm²
- G - Soupape de remontée tige
- H - Manomètre
- L - Cylindre
- M - Bouchon de chargement et
vidange

1° Décrivez le fonctionnement.

2° Comment on peut régler la vitesse de remontée de la tige ?

3° Que peut se passer si le composant E sera endommagé ?

3.5 Travaux pratiques.

Pour les schémas hydrauliques suivants (figures a, b, c, d, e, f) :

1° Désigner tous les composants.

2° Expliquer le fonctionnement.

3° Effectuer le montage.

4° Vérifier le fonctionnement de l'installation.

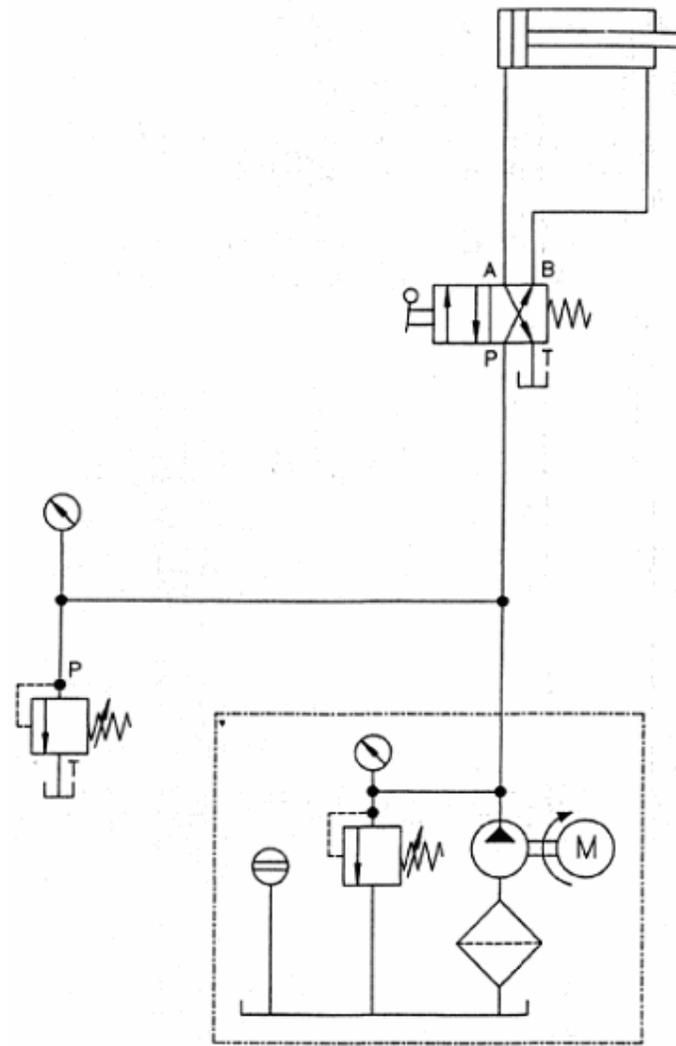


Figure a

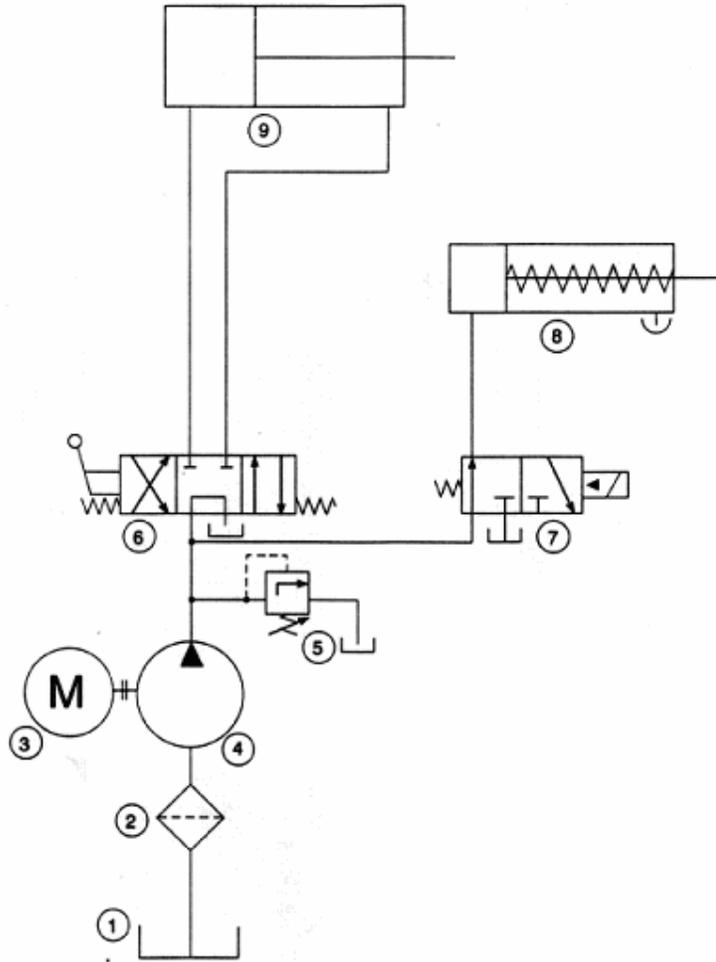


Figure b

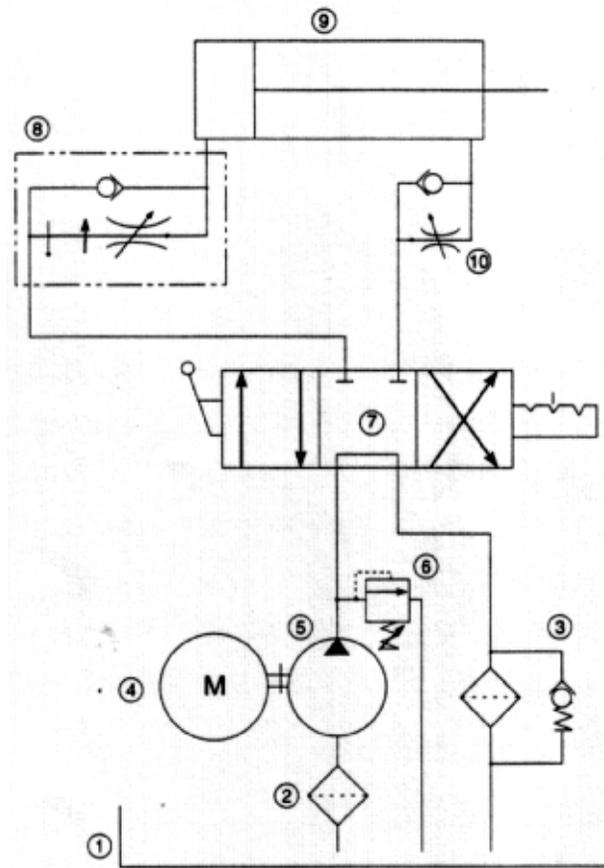


Figure c

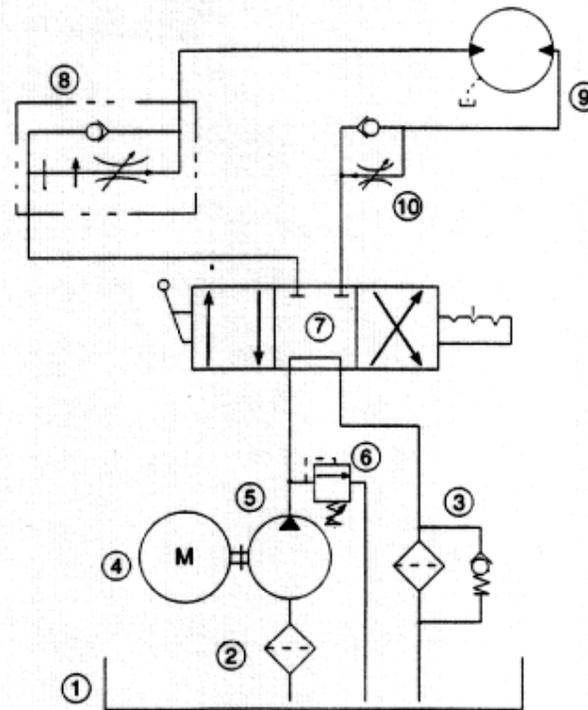


Figure d

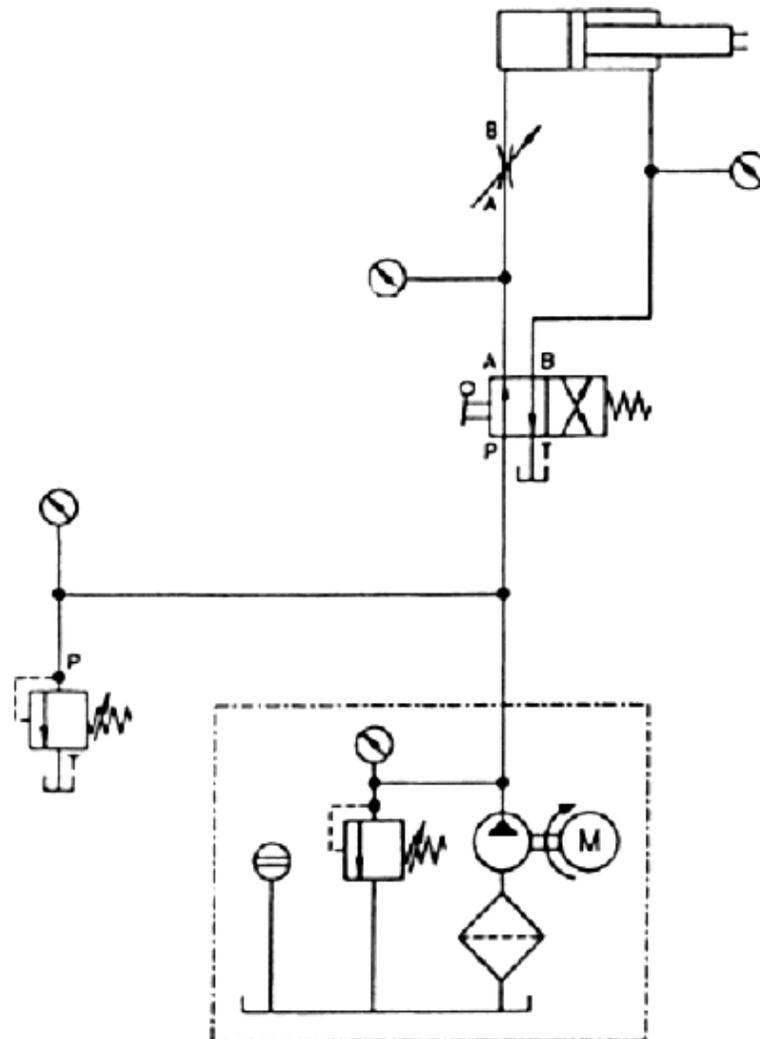


Figure e

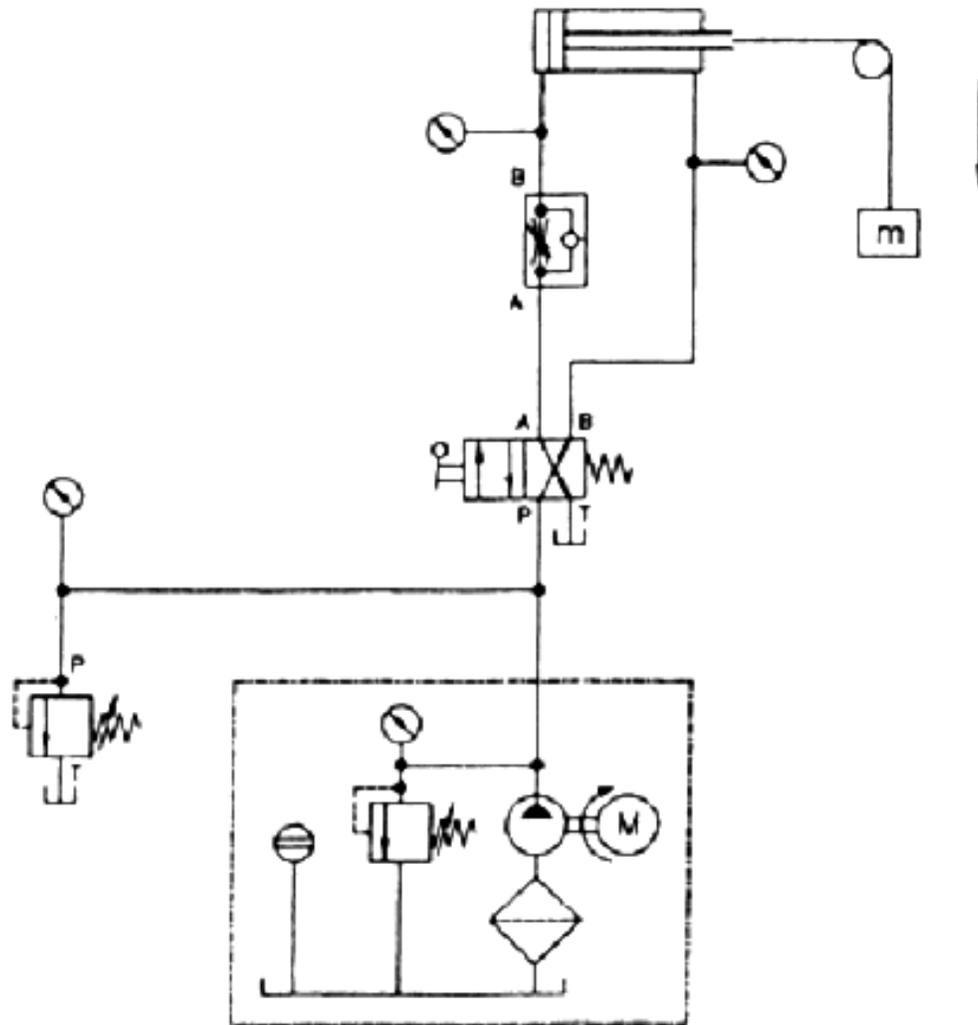


Figure f

PARTIE C

LE GRAFCET

CHAPITRE 1 NOTIONS DE BASE

1.1 Diagramme fonctionnel

Chaque système automatisé comporte deux parties

- une partie opérative (PO) dont les actionneurs (moteur électrique actionnant une pompe; vérin hydraulique fermant un moule à injecter; ...) agissent sur le processus automatisé.
- une partie commande (PC) qui coordonne les différentes actions de la partie opérative. (Dialogue avec la machine; dialogue homme-machine; dialogue avec d'autres machines).

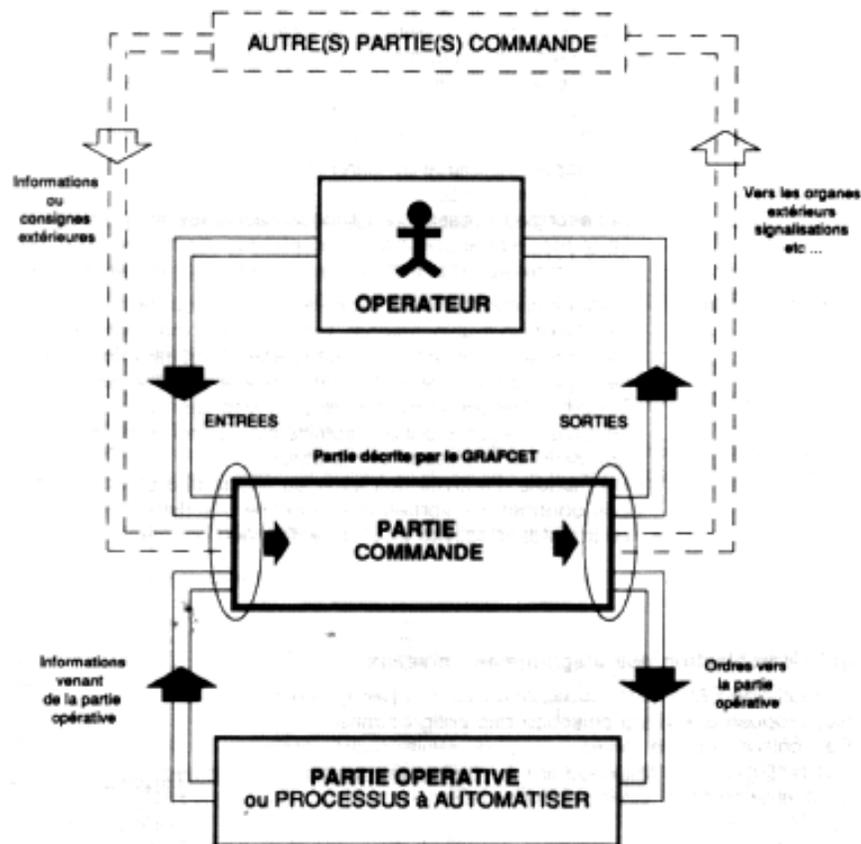


Figure 1.1 Représentation d'un système automatisé

Le Grafcet est un diagramme fonctionnel ; il représente par un graphe le fonctionnement de la partie opérative. Il nous servira ensuite à décrire le fonctionnement de la partie commande.

Ainsi le même document permet :

- l'analyse du problème à résoudre;
- l'étude de la partie commande;
- le dépannage de la machine et de sa commande.

C'est en cela que ce moyen de travail est particulièrement performant et est de plus en plus utilisé dans l'industrie.

1.2 Description du fonctionnement de la partie opérative

Le Grafcet permet de décrire le fonctionnement de la partie opérative.

Il peut donc être tracé directement par le concepteur de la partie opérative sans exiger de connaissances propres aux technologies utilisées pour la partie commande. C'est un outil de dialogue entre le mécanicien, le chimiste ou tout autre spécialiste et l'automaticien. Ce premier Grafcet tracé en ne tenant compte que des informations directement liées au processus de fabrication ou de transformation est appelé **Grafcet de niveau 1**.

1.3 Etude de la partie commande

Le Grafcet permet l'étude de la partie commande. Le Grafcet de niveau 1, tracé en tenant compte uniquement du fonctionnement de la machine, est ensuite aménagé en prenant en compte la réalité des capteurs et des actionneurs.

Nous obtenons ainsi le **Grafcet de niveau 2**.

Il conduira au schéma ou au programme de la partie commande lorsque nous aurons tenu compte des contraintes propres au matériel utilisé pour la réalisation de la partie commande.

➤ Notion de cycle

Toute machine fonctionne selon un cycle, c'est-à-dire que, partant d'un état donné, la machine effectuera différents mouvements, différentes actions et repassera à l'état de départ.

Tout ce qui se passe entre deux passages dans cet état de départ est appelé **cycle**.

L'état de départ est appelé **état initial**.

Il est difficile de concevoir une machine qui ne réponde pas à cette définition du cycle sauf les machines qui se construisent ou qui se détruisent elles-mêmes.

- Prenons un exemple :

Considérons une poinçonneuse semi-automatique (fig. 1.2).

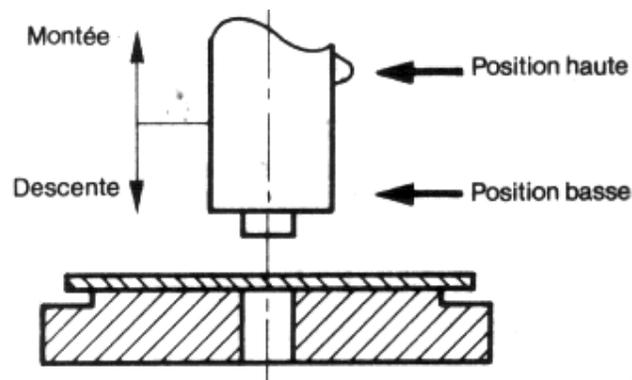


Figure 1.2 Poinçonneuse

Sur un ordre de marche, le poinçon descend puis remonte.

Le cycle se compose :

- d'une attente de l'ordre de marche en position haute;
- d'une descente, jusqu'au point bas;
- d'une remontée jusqu'au point haut.

➤ Notion d'étape

Le cycle est composé d'étapes.

Si nous « filmons » le cycle d'une partie opérative, il sera possible de découper le « film » obtenu en **étapes**. Chaque étape correspond à une partie du fonctionnement caractérisée par les mouvements ou transformations qui s'y produisent (actions en cours liées à l'étape).

Toute modification des actions en cours constitue a changement d'étape.

Dans l'exemple précédent, nous voyons 3 étapes qui sont :

- attente;
- descente;
- remontée.

L'étape initiale est ici l'étape « attente ».

Pour pouvoir plus facilement repérer les étapes il est convenu de leur donner un numéro.

➤ Notion de transition

Les étapes sont reliées par des transitions.

Pour reconstituer le « film » complet, il faut assembler les étapes dans un ordre précis.

Chaque étape est liée à la suivante (ou aux suivantes, comme nous le verrons plus tard) par une **transition**.

➤ **Notion de réceptivité**

Les transitions sont conditionnées par des réceptivités.

La transition d'une étape à une (ou plusieurs) autre(s) n'est pas le fait du hasard ; elle est conditionnée par un ou plusieurs événements qui constituent la **réceptivité** de la transition.

En effet, le fait que le fonctionnement ait atteint une étape précise appelée alors **étape active**, impose, par définition de l'étape, l'exécution de certaines actions. Le changement des actions en cours entraîne le changement de l'étape active.

La réceptivité représente les événements attendus pour effectuer cette transition.

L'automatisme est donc, à chaque étape, réceptif à certains événements en nombre limités. Ces événements constituent la réceptivité de la transition.

Revenons à la poinçonneuse :

- la transition entre l'étape « attente » et l'étape « descente » est conditionnée par la réceptivité « point bas » ;
- la transition entre l'étape « descente » et l'étape « remontée » est conditionnée par la réceptivité « point bas » ;
- la transition entre l'étape « remontée » et l'étape « attente » est conditionnée par la réceptivité « point haut ».

➤ **Unicité de la réceptivité**

Toute transition est conditionnée par une réceptivité et une seule.

La réceptivité peut cependant se présenter, forme d'une combinaison logique de plusieurs événements.

1.4 Représentation du Grafcet

La symbolisation utilisée est la suivante (figure 1.3) :

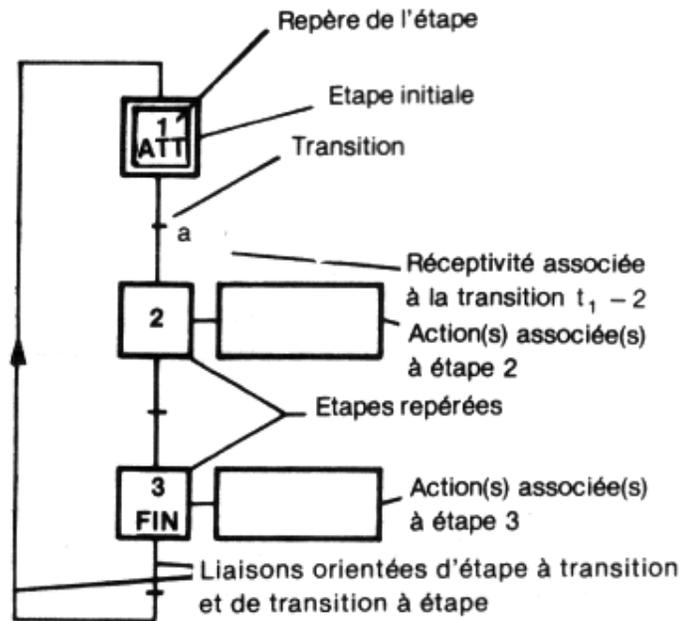


Figure 1.3 Symbolisation du GRAFCET

Chaque étape est représentée par un carré repéré numériquement. En addition à ce repère, un nom symbolique, représentatif de la fonction principale de l'étape, peut être ajouté (ex. : attente, fin, etc.).

Les **étapes initiales**, représentant les étapes actives au début du fonctionnement, se différencient en doublant les côtés du carré.

Les **actions associées** sont décrites de façon littérale ou symbolique à l'intérieur d'un ou de plusieurs rectangles de dimensions quelconques reliés à la partie droite de l'étape.

Les transitions sont représentées par des barres.

La réceptivité est inscrite, sauf cas particuliers, à droite de la transition.

Résumé

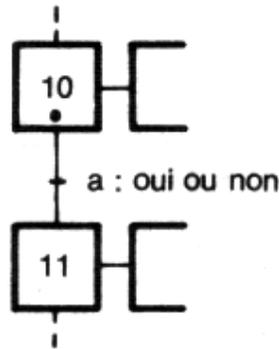
- Le Grafcet permet de représenter le fonctionnement d'une machine (partie opérative) : *Grafcet de niveau 1.*
- Il permet également de représenter le fonctionnement de l'automate (partie commande): *Grafcet de niveau 2.*

Le Grafcet se compose:

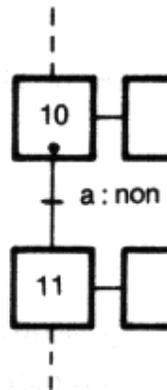
- d'étapes auxquelles sont associées des actions à exécuter;
- de transitions reliant entre elles les étapes auxquelles sont associées des réceptivités;
- de liaisons orientées reliant étapes et transitions.

Les règles d'évolution du Grafset sont les suivantes :

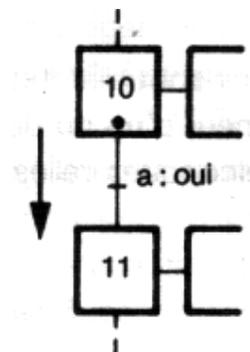
- En considérant que l'étape active est celle dans laquelle un point est dessiné, les situations suivantes sont possibles :
 - Aucune étape n'est active ; il ne se passe rien quel que soit l'état de la réceptivité.



- L'étape 10 est active, la transition est valide mais les conditions représentées par la réceptivité ne sont pas remplies ; les actions liées à l'étape 10 sont exécutées.



- L'étape 10 est active, les conditions représentées par la réceptivité sont remplies, la transition est franchie. Le passage à la situation suivante est immédiat.



- L'étape 11 est active et le reste quel que soit l'état des conditions représentées par la réceptivité. Ce sont les actions liées à l'étape 11 qui sont maintenant exécutées.

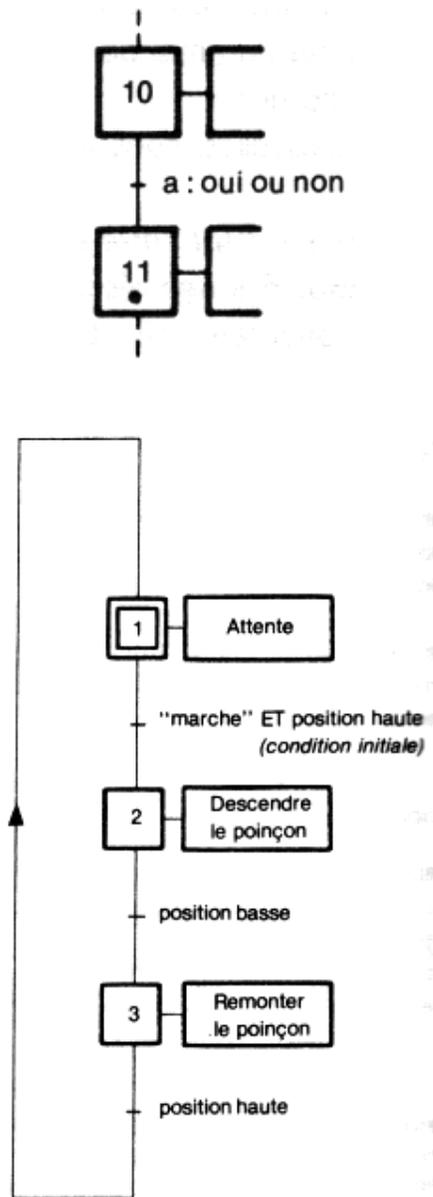


Figure 1.4 GRAFCET de la poinçonneuse

CHAPITRE 2 GRAFCET À SEQUENCE UNIQUE

2.1 Notion de séquence

Une séquence est un ensemble cohérent d'étapes. On appelle **séquence** tout ensemble d'étapes liées les unes aux autres par des transitions.

Les étapes 12, 13, 14 forment une séquence.

Les étapes 12 et 15 ne sont pas liées l'une à l'autre par une transition; elles ne forment donc pas une séquence. Sur l'ensemble des étapes représentées ci-contre (fig. 1.5) il est possible de définir plusieurs séquences;

- 12, 13, 14, 15.
- 13, 14, 15.
- 12, 13, 14.
- etc.

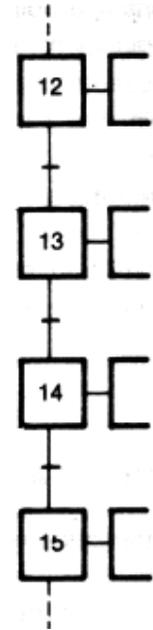


Figure 2.1

2.2 Grafcet à séquence unique

Le Grafcet à séquence unique est formé d'une suite d'étapes qui se déroulent toujours toutes dans le même ordre.

Il n'existe qu'une séquence qui, partant de l'étape initiale, permet d'y retourner.

EXEMPLE : alimentation d'une cisaille

Le bras de la cisaille s'avance, prend une plaque au niveau A tourne ensuite en position haute afin de poser cette plaque sur le tapis C, revient ensuite au point de départ.

Le départ du cycle est donné par l'opérateur mais cette information n'est prise en compte que lorsqu'une plaque est présente au niveau A, que la pince est ouverte et que le bras est à gauche.

Le dessin de la cisaille est donné par la figure 2.2.

Les actions à effectuer et les informations données par les capteurs sont regroupées dans les tableaux de la figure 2.3.

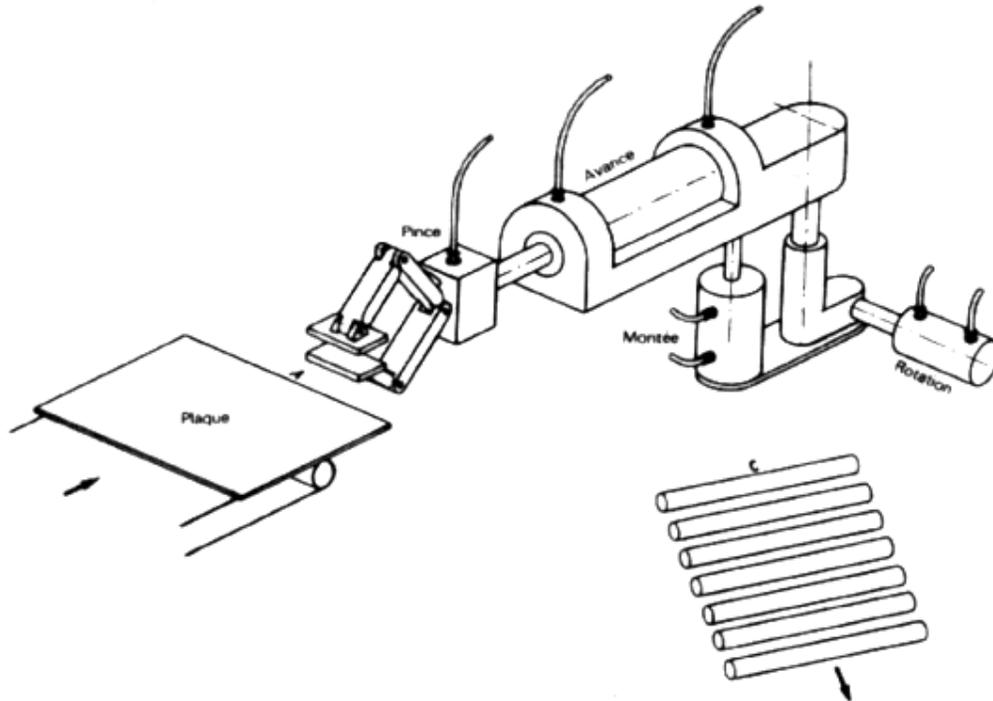


Figure 2.2 Schéma de l'alimentation de la cisaille

Actions		Informations	
Avance du bras	AV	départ cycle	dcy
Recul du bras	AR	bras en avant	av
Fermeture pince	FP	bras en arrière	ar
Ouverture pince	OP	pince fermée	pf
Descente du bras	DB	pince ouverte	po
Montée du bras	MB	bras en bas	b
Rotation à droite	RD	bras en haut	h
Rotation a gauche	RG	bras à droite	d
		bras à gauche	g
		présence plaque en	a
		présence plaque en	c

Figure 2.3 Tableau des actions et des informations

Le Grafcet de niveau I décrivant le cycle automatique à réaliser peut être représenté de façon littérale (figure 2.4) ou symbolique (fig. 2.5).

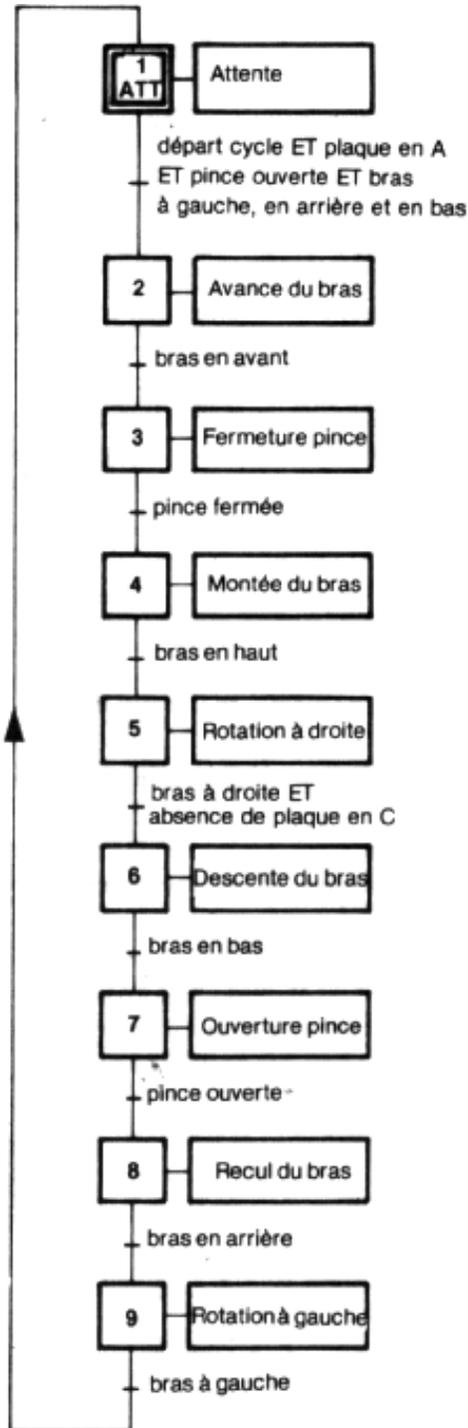


Figure 2.4 Grafcet de niveau 1
 (description littérale)

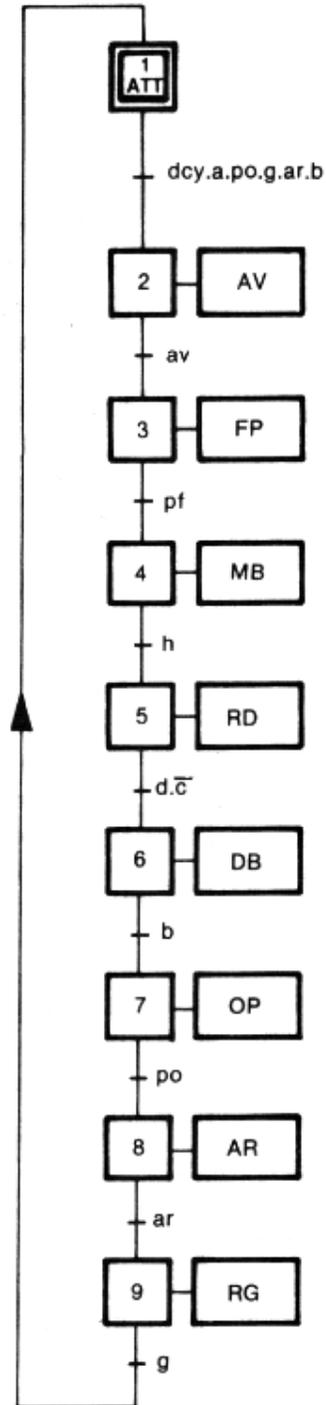


Figure 2.5 Grafcet de niveau 1
 (description symbolique)

La réceptivité de la transition, t_{1-2} , entre les étapes 1 et 2 est formée des conditions : « départ cycle », « plaque en A », « pince ouverte », « bras à gauche », reliées par la fonction logique ET.

Elle sera notée de façon symbolique :

dcy.a.po.g.ar.b.

L'information « départ cycle » est la condition effective de départ, les autres conditions constituent les conditions initiales.

Ces conditions initiales permettent de contrôler que la machine est bien dans l'état initial lorsque l'étape initiale est active. Pour les autres transitions, les réceptivités ne tiennent compte que des actions effectuées dans l'étape précédente.

La réceptivité entre les étapes 5 et 6 est formée des conditions « bras à droite » et « absence de plaque en C », liées par la fonction ET. En effet, il est nécessaire de vérifier qu'il n'y a pas plus de plaque en C avant d'effectuer la descente du bras.

L'absence de plaque en C est notée \bar{C} dans la représentation symbolique.

Le Grafcet de niveau 2 est obtenu en tenant compte des capteurs, des actionneurs et de leur commande (préactionneurs).

Chacune des informations indiquées dans le tableau 2.3 est obtenue en plaçant des interrupteurs de position sur la machine, sauf pour l'information « pince fermée » qui est obtenue grâce à un capteur à fuite placé sur une des mâchoires de la pince.

Les actionneurs sont des vérins double effet, exception faite du vérin de la pince qui est du type simple effet. Les distributeurs d'alimentation de ces vérins sont à double pilotage.

Les capteurs et actionneurs sont indiqués dans les tableaux 2.7.

Le Grafcet est représenté à la figure 2.6.

Les deux Grafcet obtenus sont ici assez semblables car à chaque action correspond un pilotage et à chaque information correspond un capteur.

Le passage du niveau 1 au niveau 2 n'est qu'une modification de symboles.

Considérons maintenant que, pour des raisons extérieures au problème posé, tous les distributeurs soient à simple pilotage. Par exemple, l'avance du bras est obtenue en donnant le pilotage V1+ et le recul du bras sera obtenu dès que s'arrêtera ce pilotage.

Il devient donc nécessaire de maintenir le pilotage V1+ durant les étapes 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

Durant l'étape 3, deux pilotages seront à faire : V1+ et V2+. Ils seront notés dans deux rectangles, contigus ou non, dessinés à droite de l'étape.

En tenant compte de cette nouvelle contrainte, nous obtenons de nouveaux tableaux pour les actionneurs et capteurs (figure 2.8).

Le Grafcet de niveau 2 obtenu est représenté à la figure 2.9.

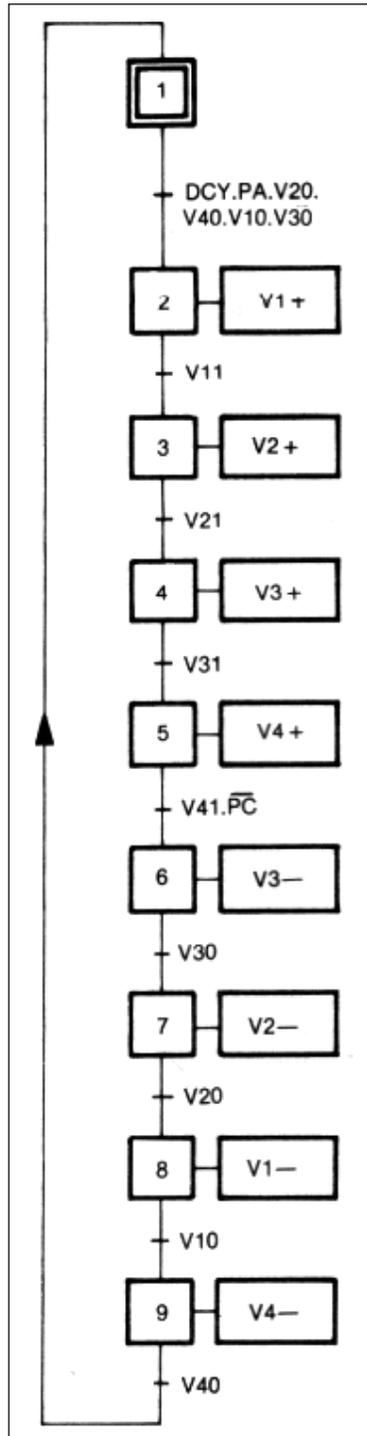


Figure 2.6 Grafcet de niveau 2

Action	Vérin	Pilotage
Avance du bras Recul du bras	V1	V1+ V12
Fermeture pince Ouverture pince	V2	V2+ V22
Descente du bras Montée du bras	V3	V32 V3+
Rotation à droite Rotation gauche	V4	V4 + V42

Information	Capteur
Départ cycle	DCY
Bras en avant	V11
Bras en arrière	V10
Pince fermée	V21
Pince ouverte	V20
Bras en haut	V31
Bras en bas	V30
Bras à droite	V41
Bras à gauche	V40
Présence plaque en A	PA
Présence plaque en C	PC

Figure 2.7 Tableaux des actionneurs et des capteurs

Action	Vérin	Pilotage
Avance du bras Recul du bras	V1	V1+ —
Fermeture pince Ouverture pince	V2	V2+ —
Descente du bras Montée du bras	V3	— V3+
Rotation à droite Rotation à gauche	V4	V4+ —

Information	Capteur
Départ cycle	DCY
Bras en avant	V11
Bras en arrière	V10
Pince fermée	V21
Pince ouverte	V20
Bras en haut	V31
Bras en bas	V30
Bras à droite	V41
Bras à gauche	V40
Présence plaque en A	PA
Présence plaque en C	PC

Figure 2.8 Tableaux des actionneurs et des capteurs

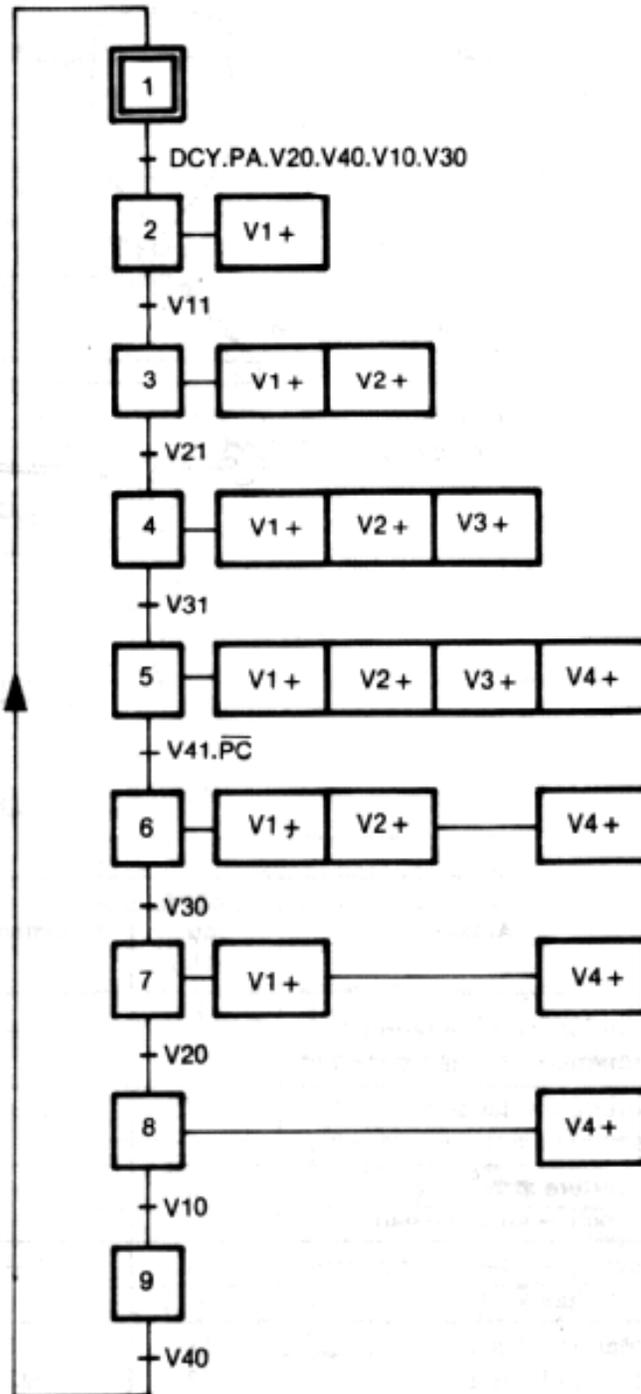


Figure 2.9 Grafset de niveau 2 (2^{ème} version)

CHAPITRE 3 GRAFCET AVEC SELECTION DE SEQUENCE :

AIGUILLAGE

3.1 Multiplicité des cycles

Une machine peut fonctionner selon plusieurs cycles. Chaque cycle peut correspondre à une fabrication ou une manutention particulière.

Il y aura plusieurs séquences possibles entre deux passages par l'étape d'attente.

La possibilité d'effectuer des choix durant le déroulement du cycle apparaît comme une nécessité.

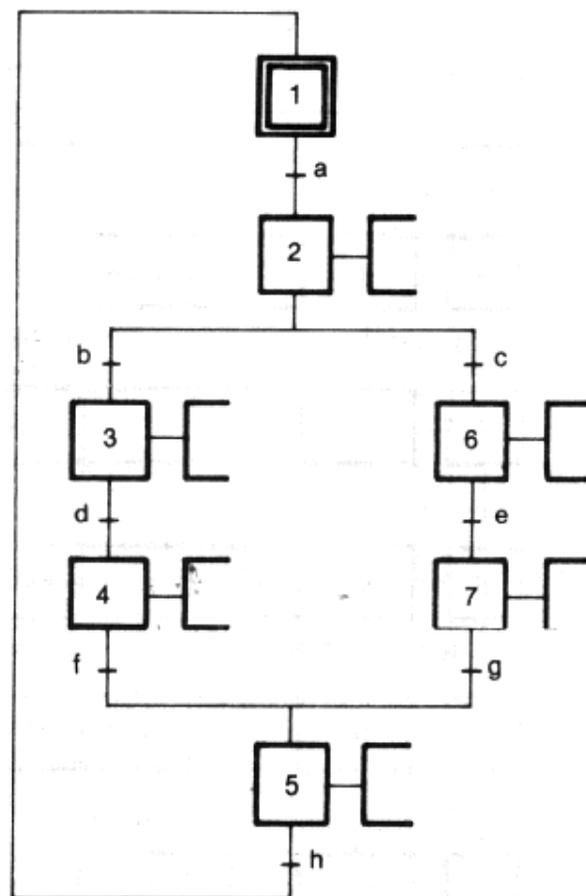


Figure 3.1 Grafcet avec sélection de séquence

Le Grafcet de la figure 3.1 représente le fonctionnement d'une machine ayant deux cycles, c'est-à-dire que deux séquences peuvent être décrites

- séquence 1 2 3 4 5.
- séquence 1 2 6 7 5.

Le choix est fait par les réceptivités b et c qui permettent de franchir soit la transition 2-3, soit la transition 2-6.

3.2 Exclusivité des choix

Il est impératif, compte tenu des contraintes de réalisation (qui seront évoquées plus loin), que le choix entre plusieurs séquences possibles soit exclusif.

En reprenant l'exemple de la figure 3.1, lorsque l'étape 2 est active, il doit être impossible d'obtenir simultanément les informations b et c .

Cette contrainte peut être satisfaite soit par la technologie de la machine si celle-ci rend impossible l'apparition simultanée des deux informations (par exemple si b et c sont des capteurs détectant des positions différentes d'une même pièce de la machine), soit par un verrouillage logique des informations, comme nous le verrons plus loin.

Quand sur un Grafcet apparaît un choix entre plusieurs transitions à la suite d'une étape, il y a *divergence* du Grafcet.

Quand sur le Grafcet plusieurs transitions aboutissent à la même étape, il y a *convergence* du Grafcet.

Il faut remarquer que si la contrainte d'exclusivité choix est impérative à la divergence, aucune contrainte n'existe à la convergence et rien n'interdit que les réceptivités soient identiques.

Dans ce cas et comme il est nécessaire d'avoir toujours une réceptivité et une seule par transition, la même réceptivité sera notée sur chaque transition (figure 3.2).

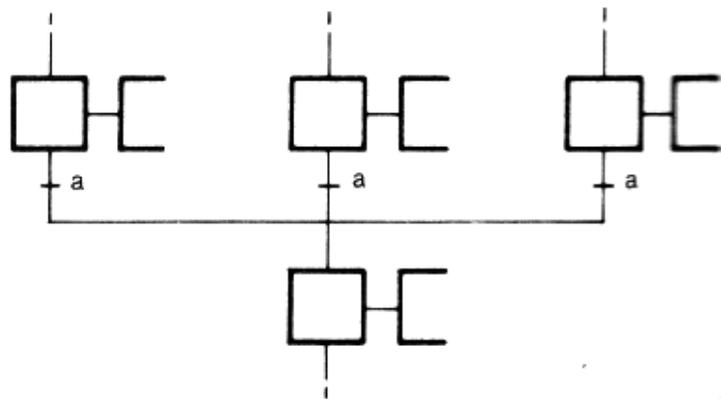


Figure 3.2 Cas de trois transitions ayant même réceptivité : a

Action	Vérin	Pilotage	Information	Capteur
Avance poussoir 1	V1	V1+	Présence caisse en entrée	PCE
Recul poussoir 1		V12	Moyenne caisse	MOC
Avance poussoir 2	V2	V2+	Grande caisse	GRC
Recul poussoir 2		V22	Passage caisse rampe 1	PR1
Montée verrou	V3	V32	Passage caisse rampe 2	PR2
			Passage caisse en sortie	PCS
			Présence caisse devant P1	PC1
			Présence caisse devant P2	PC2
			Poussoir 1 reculé	V1R
			Poussoir 2 reculé	V2R

Figure 3.4 Tableau des actionneurs et de capteurs

Le début du cycle de tri est donné par le passage 1 de PCE. Une petite caisse n'occulte que le détecteur PCE, une caisse moyenne occulte PCE et MOC, une grande caisse occulte PCE, MOC et GRC.

Ces trois combinaisons déterminent le choix du cycle à réaliser.

Le choix est rendu exclusif en utilisant la combinaison logique $PCE \cdot \overline{MOC}$ pour les petites caisses, la combinaison logique $PCE \cdot MOC \cdot \overline{GRC}$ pour les caisses moyennes et la combinaison logique $PCE \cdot MOC \cdot GRC$ pour les grandes caisses.

Chaque combinaison comprend un terme qui la rend exclusive par rapport aux deux autres.

La commande de levée du verrou est maintenue durant deux étapes consécutives (étapes 2 et 3, 5 et 6, 10 et 11). La première étape correspond au passage la caisse sous le verrou alors que la deuxième correspond à la temporisation de dégagement.

Les conditions initiales se limitent ici au contrôle de la position reculée des vérins V1 et V2. Bien que les deux premières étapes de chaque séquence soient identiques, il est impossible de les éviter car, arrivé à la divergence, il nous serait impossible de faire un choix, la caisse ne se trouvant plus devant les détecteurs de reconnaissance (PEC, MOC et GRC). Cependant, l'utilisation de mémoires indépendantes actionnées par les informations des détecteurs de reconnaissance aux étapes convenables nous permettrait de diminuer le nombre des étapes.

Ce procédé, s'il nous permet de faire des « économies » d'étapes, possède l'inconvénient de ne pas être homogène.

Dans le cas présent deux mémoires seraient nécessaires :

- une mémoire M1 pour les caisses moyennes;
- une mémoire M2 pour les grandes caisses.

Les petites caisses sont alors représentées par l'absence des deux mémoires.

Les deux mémoires sont déclenchées durant l'étape 1. Durant l'étape 2 les mémoires sont ou non enclenchées par les détecteurs de reconnaissance.

La transition t_{3-4} est conditionnée par une temporisation de deux secondes.

C'est en fin d'étape 4 que trois transitions apparaissent en fonction de la caisse qui avait été mémorisée durant l'étape 2.

Le Grafcet correspondant à cette possibilité est donné dans la figure 3.6.

Les commandes des mémoires sont notées :

- EM 1 enclenchement de M1;
- DM1 déclenchement de M1;
- EM2 enclenchement de M2;
- DM2 déclenchement de M2.

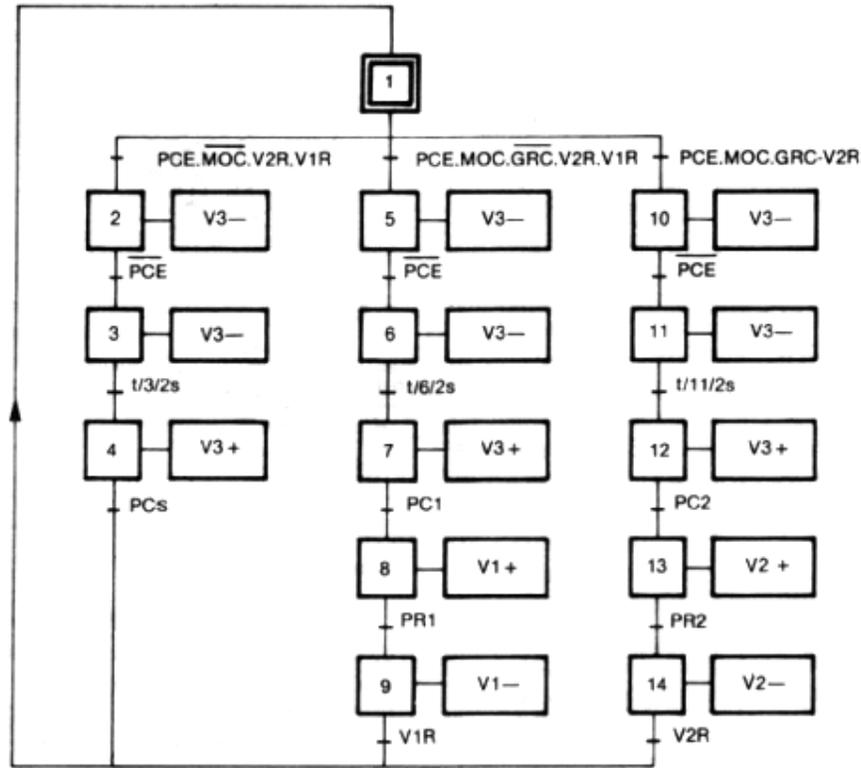


Figure 3.5 Grafcet de niveau 2 du tri de caisses

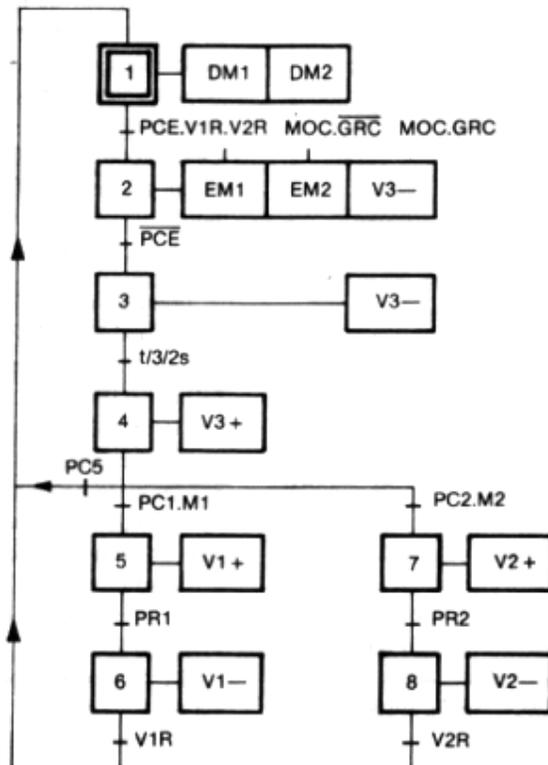


Figure 3.6 Grafcet de niveau 2 du tri de caisses avec utilisation de mémoire indépendantes

CHAPITRE 4 RECAPITULATIF

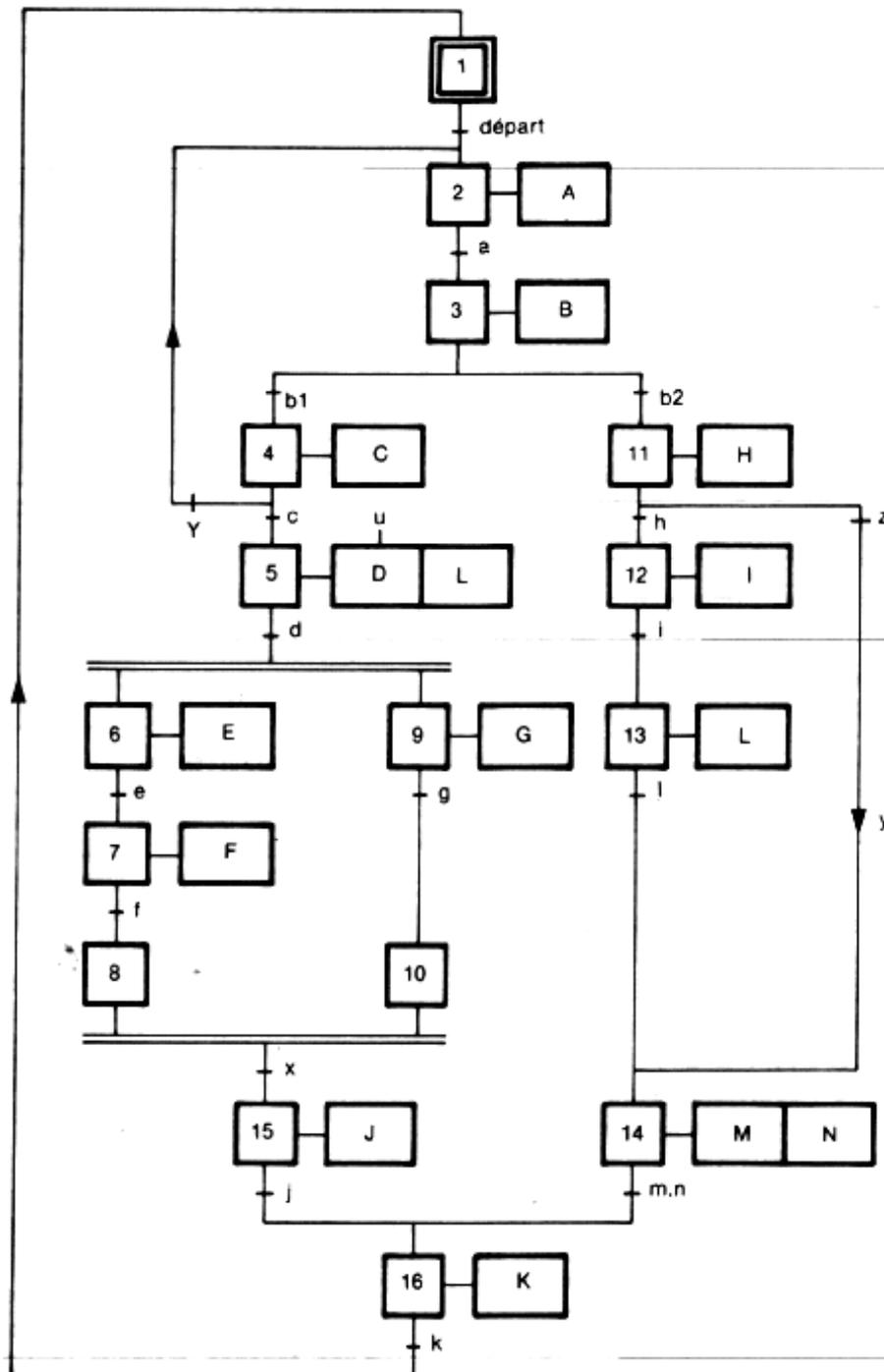


Figure 4.1

L'étape 1 est l'étape initiale.

La transition entre les étapes 2 et 3 est conditionnée par la réceptivité a.

L'action J est associée à l'étape 15.

Les actions M et N sont associées à l'étape 14.

L'action L est associée aux étapes 5 et 13.

L'action D est conditionnée, durant l'étape 5, par l'information u .

Après l'étape 3 se trouve une divergence avec un choix entre la transition 3 - 4, conditionnée par la réceptivité b_1 et la transition 3 -11, conditionnée par la réceptivité b_2 .

Au niveau de l'étape 16 existe une convergence entre la transition 15 -16, conditionnée par la réceptivité j et la transition 14 -16, conditionnée par la réceptivité m .

La réceptivité y permettra de reprendre la séquence 2 - 3 - 4... ou 2 - 3 -11...

La réceptivité z permettra de sauter la séquence 12 -13.

Après l'étape 5 se trouve une divergence vers 2 séquences, 6 - 7 - 8 et 9 -10, qui se dérouleront en même temps.

Au niveau de l'étape 15 se trouve une convergence entre les étapes 8 et 10 vers l'étape 15, conditionnée par la réceptivité x .

Un tel Grafcet représente 6 cycles différents pour la même machine.

Cet exemple montre que l'on peut raisonner sur le fonctionnement d'une machine sans même le connaître, du moment que son Grafcet est tracé.

Cette situation est familière au dépanneur. S'il connaît l'étape du cycle où un défaut se présente (par une visualisation appropriée au niveau du dialogue), il peut immédiatement connaître les actions qui devraient être en cours et les événements attendus pour poursuivre le cycle.

Exemple : la machine présente un défaut et se « bloque » sur l'étape 7 ; l'action F et elle seule devrait être en cours, la condition f et elle seule est attendue pour poursuivre le cycle, d'où la recherche au niveau des préactionneurs et actionneurs correspondant à cette action F, si elle n'est pas réellement en cours, ou la recherche au niveau des capteurs correspondant à la condition f si l'action F est réellement en cours.

CHAPITRE 5 EXERCICES

5.1 Remplissage d'un silo à grains

1° Tracer le Grafcet de niveau 1 du dispositif de remplissage d'un silo à grains (figure 5.1).

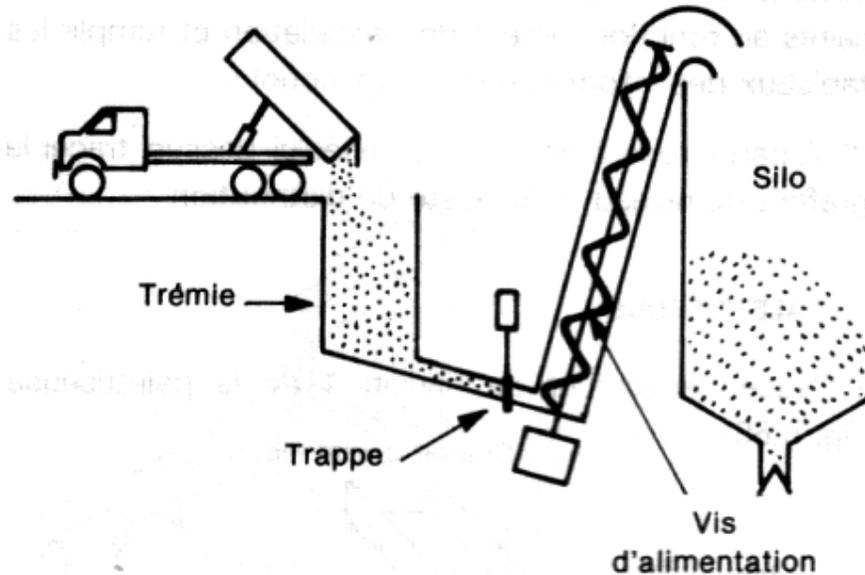


Figure 5.1

La vis d'alimentation ne peut démarrer qu'à vide.

La trappe s'ouvre dès que la vis atteint sa vitesse nominale.

Le remplissage du silo se fait lorsque la trémie contient un minimum de grain ; il s'arrête lorsque la trémie est vide.

2° Sachant que la trappe est actionnée par un vérin simple effet commandé par un distributeur 3 x 2 à simple pilotage, et que la vis est actionnée par un moteur alimenté directement par un contacteur, remplir les tableaux des informations et des actions.

3° À partir des éléments obtenus ci-dessus, tracer le Grafcet de niveau 2 du remplissage du silo.

5.2 Poste de reprise

1° Tracer le Grafcet de niveau 1 du fonctionnement du poste de reprise (figure 5.2).

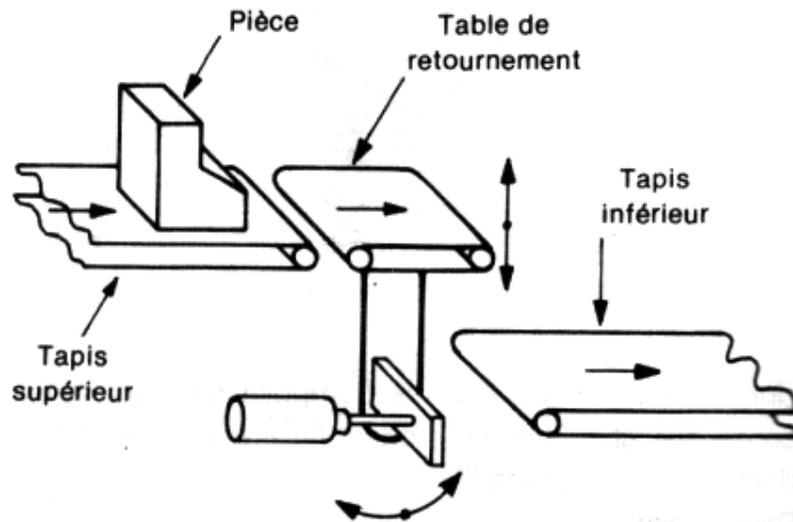


Figure 5.2

La table de retournement comprend :

- un tapis roulant (un sens de rotation) ;
- un vérin hydraulique permettant les mouvements verticaux (trois positions : haute, médiane, basse) ;
- un vérin hydraulique permet la rotation d'un quart de tour (deux positions).

Les pièces arrivent suffisamment espacées sur le tapis supérieur. Elles doivent être évacuées sur le tapis inférieur tournées d'un quart de tour.

La table ne peut tourner qu'en position médiane.

Les tapis supérieur et inférieur tournent en permanence.

Le cycle commence à l'arrivée d'une pièce sur le tapis supérieur.

2° Déterminer les capteurs nécessaires au fonctionnement et remplir le tableau des informations.

3° Déterminer les préactionneurs nécessaires aux actionneurs utilisés et remplir le tableau des actions.

4° À partir des éléments déterminés ci-dessus, tracer le Grafcet de niveau 2 du poste de reprise.

5.3 Station de mélange

1° Tracer le Grafcet de niveau 1 du fonctionnement de la station de mélange (figure 5.3).

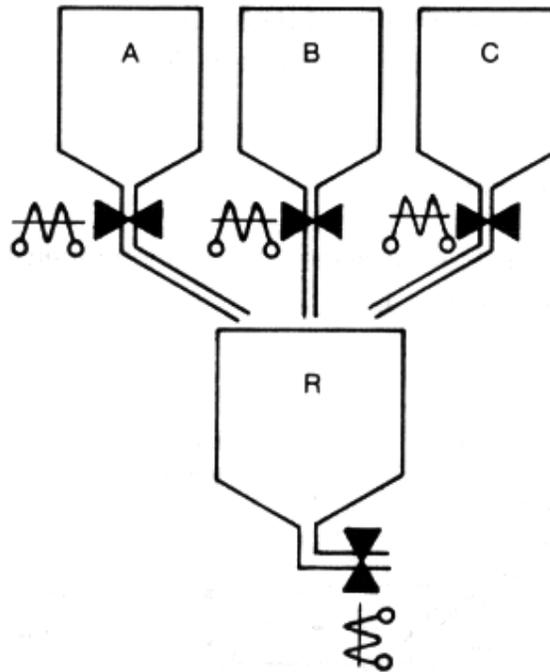


Figure 5.3

Une station de mélange se compose de trois cuves contenant chacune un produit différent (A, B, C) et d'une cuve réceptrice (R).

Deux mélanges sont possibles :

- A + B
- A + C

Les produits doivent être déversés successivement. La quantité de chaque produit à déverser est fixée par un temps de vidange différent.

Le cycle commence lorsque l'opérateur demande l'un des deux mélanges si les cuves correspondantes sont suffisamment remplies (niveau intermédiaire).

2° Déterminer les capteurs nécessaires au fonctionnement et remplir le tableau des informations.

3° Déterminer les préactionneurs nécessaires à la commande des électrovannes et remplir le tableau des actions.

4° À partir des éléments déterminés ci-dessus, tracer le Grafcet de niveau 2 de la station de mélange.

5.4 Poste de distribution

1° Tracer le Grafcet de niveau 1 du poste de distribution (fig. 5.4).

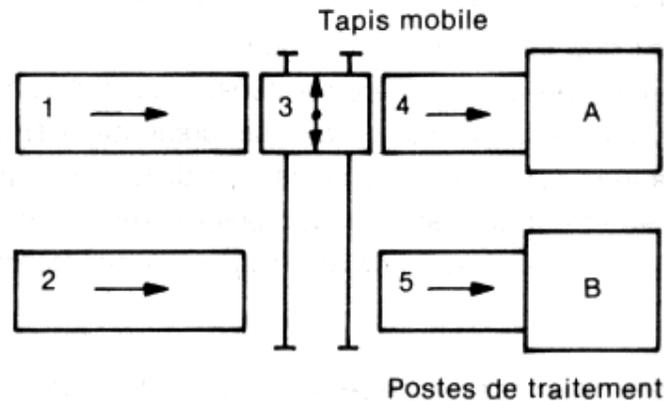


Figure 5.4

Des colis arrivent sur les tapis 1 et 2 à intervalles irréguliers.

Si un colis arrive à l'extrémité du tapis 1, celui-ci s'arrête ; de même pour le tapis 2.

Si un poste de traitement (A ou B) est libre, le tapis 3 se positionne devant le tapis (1 ou 2) sur lequel se trouve un colis en attente.

Ce dernier ainsi que le tapis 3 se mettent en route jusqu'à ce que le colis soit positionné sur le tapis 3, puis le tapis 3 se positionne devant le poste de traitement libre et évacue le colis sur le tapis (4 ou 5).

Le poste est occupé dès qu'un colis se trouve sur le tapis correspondant.

Le Grafcet ne prendra pas en compte l'arrêt automatique des tapis 1 et 2 lorsqu'un colis arrive à leur extrémité.

2° Sachant que tous les mouvements sont obtenus par des moteurs et que les colis sont relativement fragiles, déterminer les capteurs et les préactionneurs nécessaires au fonctionnement de l'installation et remplir les tableaux des informations et des actions.

3° À partir des éléments déterminés ci-dessus, tracer le Grafcet de niveau 2 du poste de distribution.

5.5 Palettiseuse

1° Tracer le Grafset de niveau 1 de la palettiseuse (figure 5.5)

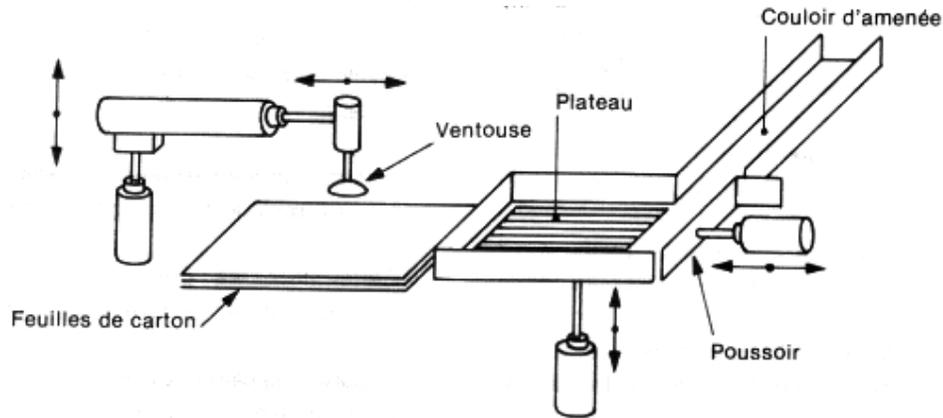


Figure 5.5

Les objets conditionnés (boîtes) arrivent par le couloir d'amenée de façon continue ; ils peuvent rester en attente contre le retour du poussoir.

Lorsqu'une rangée est complète, le poussoir avance, poussant ainsi cette rangée ainsi que les précédentes sur le plateau ou sur la couche précédente.

Lorsqu'une couche est complète, elle est recouverte d'une feuille de carton et le plateau descend d'un pas ; la dernière couche n'est pas recouverte.

Lorsque la palette est complète (plateau en bas), le plateau remonte en position haute extrême, la palette ainsi constituée est dégagée et l'opérateur peut l'évacuer (cette évacuation n'est pas à étudier).

Au repos le plateau est en position haute extrême, le poussoir est en avant, le bras de la ventouse est reculé en position haute.

Le plateau a plusieurs positions :

- haute extrême (mise en place ou évacuation de la palette) ;
- haute (niveau de la première couche) ;
- intermédiaires (espacées d'un pas chacune) ;
- basse (niveau de la dernière couche).

Le cycle commence sur un ordre de l'opérateur.

2° Quels types de vérins doivent être employés pour obtenir ce fonctionnement ?

3° Déterminer les capteurs nécessaires au fonctionnement de la palettiseuse.

5.6 Chaîne de soudage

Cette chaîne de soudage est destinée à souder deux pièces sur une plaque de base.

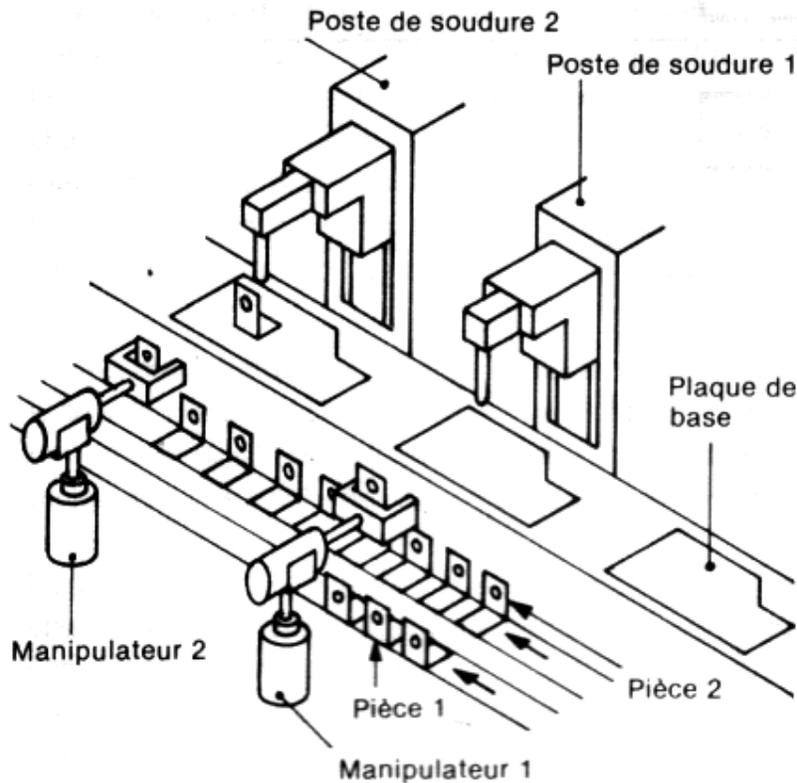


Figure 5.6

Les plaques de base et les pièces arrivent régulièrement espacées sur des transporteurs.

Les transporteurs pas à pas, le pas d'avance de chacun est tel que les pièces se trouvent positionnées après chaque avance :

- la pièce 1 sous le manipulateur 1
- la pièce 2 sous le manipulateur 2
- les plaques de base devant les postes de soudure.

Les manipulateurs descendent pour saisir les pièces avec une pince pneumatique.

Le déplacement de la pince se fait en position haute.

Une fois la pièce en place, la pince s'ouvre mais le bras ne remonte qu'à la fin du cycle de soudure.

Le cycle de soudure comporte :

- la descente de l'électrode ;
- la mise en pression des pièces à souder ;
- l'envoi du courant de soudure ;
- le maintien en pression ;
- la remontée de l'électrode.

La remontée de l'électrode se fait 1 seconde après la mise en pression.

Le soudage commence 0,2 seconde après la mise en pression.

La durée du soudage est fixée par le poste de soudage mais n'excède pas 0,5 seconde.

L'ordre de départ est donné par une information extérieure.

1° Tracer le Grafcet de niveau 1 d'un poste de soudure et de son manipulation comme s'ils étaient seuls.

2° Tracer le Grafcet de niveau 1 de la chaîne de soudure.

3° Tracer le Grafcet de niveau 2 de la chaîne de soudure.

4° Reprendre le tracé du Grafcet à partir de celui obtenu en 1°, en y incorporant la possibilité de faire fonctionner séparément les deux sous-machines sur une commande manuelle.

Dans ce cas, considérer le fonctionnement du transporteur des plaques de base comme étant une troisième sous-machine possédant elle aussi une commande manuelle.

Nous admettons que ces marches manuelles ne peuvent être obtenues que sur une seule sous-machine à la fois.

5.7 Exercice de synthèse

Le Grafcet de niveau 2 représenté sur la figure 5.7 comporte plusieurs erreurs dans sa structure ainsi que dans l'enchaînement des actions.

Ces actions sont des commandes de distributeurs à double pilotage.

Relever les différentes erreurs et proposer des corrections compatibles avec les règles du Grafcet.

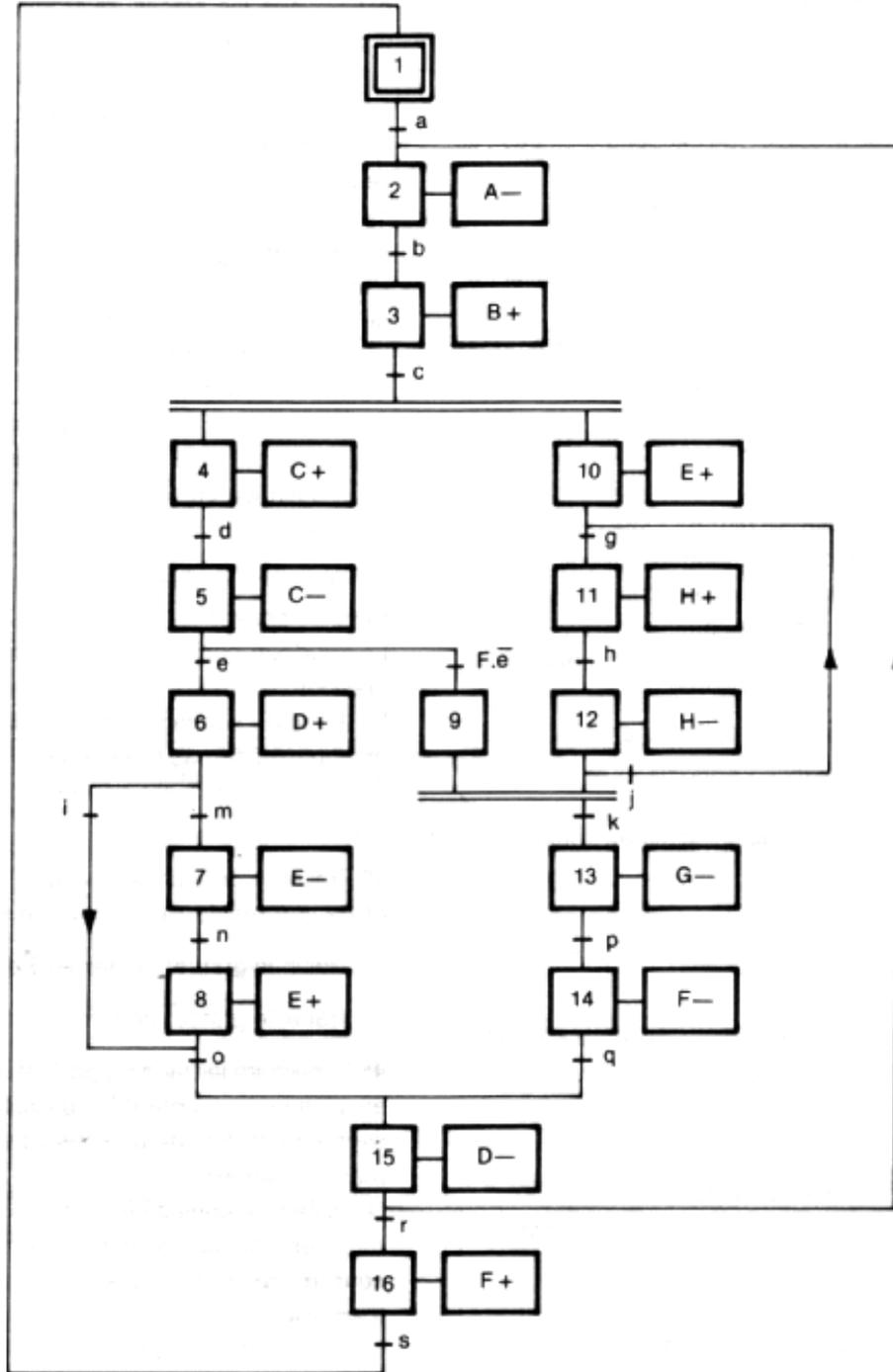


Figure 5.7

Bibliographie

Moreno, S., Peulot, E., La Pneumatique dans les Systèmes Automatisés de Production, Eleducalivre, Paris, 2001

Bleux, J. -M., Hervé, J.-M., Pneumatique Industrielle, Editions Nathan, 9 rue Mechan 75014 Paris, 1994

Bossy, J., C., Mérat, D., Automatisme appliqué, Eleducalivre, Paris, 1985

Bourgeois, R., Cogniel, D., Mémotech électrotechnique, Eleducalivre, Paris, 1996

Croser, P., Pneumatique. Cours de base, Festo Didactic, Esslingen, 1993

BOSCH Multiple Gear-Type Pumps Type S, Catalog BOSCH, Stuttgart, Allemagne

LABONVILLE, R., Conception des circuits hydrauliques : Une approche énergétique, Montréal, Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal, 1991

Manuel d'hydraulique, Sperry Vickers, Courbevoie, France

Parker Hydraulique Products and Total Systems Engineering, Catalog 0108-2, Parker Hannafin Corporation, USA, 1993