

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Supérieure Polytechnique

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Projet de fin d'études

*En vue de l'obtention du
Diplôme d'ingénieur d'état
En Génie Mécanique*

Présenté par : **M. BOUSBIA Khaled**

Thème :

***Étude et calcul d'une machine à conditionner des
flacons de liquide***

Proposé et dirigé par :
M. Mohamed Madani

Promotion : 2008-2009

DEDICACES

Je dédie ce travail à la mémoire de mon grand père, que Dieu le miséricordieux ait pitié de son âme.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, mon père SALAH et ma mère ZAHIA, qui se sont sacrifiés toute leur vie pour que je réussisse dans mon cursus scolaire et universitaire, qui grâce à eux j'ai pu atteindre ce niveau, qui ont été toujours à mes cotés pour me soutenir dans les moments les plus difficiles, pour me conseiller et ils sont pour moi plus que parents mais amis, que Dieu leur donne longue vie et une bonne santé ;

A ma fiancée, ma très chère YASMINA, qui a été toujours pour moi d'un très grand appui moral dans toutes les situations, avec une grande patience et amour ;

A ma sœur ASMA, la source de l'amour et de fidélité, ainsi son fiancé KHIRO ;

A mes frères RAFIQ, NOUREDDINE et MOHAMED AMINE, qui sont toujours avec moi, soit de près ou de loin;

A mes oncles et tantes ; mes cousins et cousines ;

A toute ma famille et aux familles BOUHZAM, CHIDEKH, BLAM, BOUDAMOUZ, FILALI ET BOUABDALLAH, surtout la petite NADA;

A tous mes collègues : Aimen, Sidali, Hamid, Ouassifa, Azzou et toute la promotion de Génie Mécanique 2009.

A mes amis ; Hichem de EMP, Idris de l'Université de Montpellier, Soufiane Mouche, Hamza Bertal, Moncef, Mourad BRIOUA et a tous mes anciens amis du Lycée Omar El Moukhtar de AIN KECHERA wilaya de Skikda.

B. Khaled

Remerciement

En premier lieu je remercie ALLAH, le tout puissant, qui m'a donné le courage et la volonté pour bien mener ce modeste travail.

Ainsi, je me permets d'exprimer ici mes sincères reconnaissances à mon promoteur M: M.MADANI, qui a proposé et dirigé ce travail, pour son suivi et ses conseils.

Mes sincères remerciements vont aussi à monsieur le président et messieurs les membres du jury pour avoir expertisé mon travail et m'avoir honoré par leur présence.

Je remercie également monsieur K.BAUMANN et tous les techniciens de l'entreprise : EURL LIEBHERR ALGERIE.

Et aussi mes sincères remerciements vont aussi à monsieur MADI et toutes les personnes du service maintenance de PEPSI ABC.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation pendant toute la durée de mes études, afin d'acquérir ce modeste savoir.

ملخص:

في إطار تقديم مذكرة التخرج, يتركز عملنا هذا على عرض و دراسة وصفية لآلة ملء القارورات الزجاجية لشركة بيسي.

هذه الدراسة تسمح لنا إذن بتمهيد مجال الدراسة الأوتوماتيكية و الهوائية لنظام إنتاج, و بالتالي تعيين رسم تخطيطي وظيفي و مخطط "القرافات" للتشغيل الأوتوماتيكي للآلة.

كلمات مفتاحية: أوتوماتيكي, هوائي, دافعة هوائية, موزع هوائي, لاقط, جدول كارنو, القرافات, آلة تعبئ و وضع غطاء القارورات.

Résumé:

Dans ce mémoire, notre travail consiste en une présentation et une étude fonctionnelle descriptive de la soutireuse de liquide de PEPSI.

Cette étude nous permet donc une approche au domaine automatique et pneumatique d'un système de production, de déterminer les diagrammes fonctionnels et le Grafcet d'une automatisation.

Mots clés: automatique, pneumatique, vérin, distributeur, capteur, tableau de Karnaugh, Grafcet, soutireuse.

Abstract:

In this memory, our work consists in a presentation and a descriptive functional survey of the filling machine of liquid of PEPSI.

This study allows us an approach therefore in the automatic and pneumatic of a production system, to determine the functional diagrams and the Grafcet of automation.

Key words: automatic, pneumatic, jack, distributor, sensor, Karnaugh maps, Grafcet, filling machine.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale	1
------------------------------------	---

CHAPITRE 1 : Les principaux paramètres de l'étude d'un système automatique

1.1- Introduction aux paramètres de l'étude	4
1.2- Principales catégories de systèmes automatisés	4
1.2.1- Système automatisé combinatoire	4
1.2.2- Système logique séquentiel	4
1.2.3- Système asservi	5
1.3- Domaine technique	5
1.4- Domaine économique	7
1.5- Domaine humain	7
1.6- Domaine de l'environnement	8
1.7- Calcul de la rentabilité d'une automatisation	8

CHAPITRE 2 : Les différents actionneurs et capteurs d'une commande pneumatique (machine automatique)

2.1- Introduction à l'étude pneumatique	10
2.1.1- Le fluide pneumatique.....	10
2.1.2- Comparaison entre l'énergie pneumatique et l'énergie hydraulique	10
2.1.3- Circuit pneumatique.....	11
2.1.4- Production d'énergie pneumatique.....	11
2.1.5- Réseau de distribution de l'air.....	12
2.1.6- Conditionnement de l'air.....	13

2.2- Les vérins	14
2.2.1- La force statique, la force dynamique et le taux de charge.....	14
2.2.2- Les vérins à simple effet.....	18
2.2.3- Les vérins à double effet.....	20
2.2.4- Les vérins spéciaux.....	22
2.2.5- Les Caractéristiques des vérins.....	24
2.3- Les Distributeurs	27
2.3.1- Fonction	27
2.3.2- Symbolisation	27
➤ Principe de la symbolisation.....	27
➤ Désignation des distributeurs.....	28
➤ Principe du repérage des orifices.....	31
➤ Symboles des commandes des distributeurs.....	31
2.3.3- Choix d'un distributeur pneumatique.....	31
➤ Choix de la fonction (nombre d'orifices).....	31
➤ Choix de la position de repos.....	31
➤ Choix de la commande ou du pilotage.....	32
➤ Choix de la taille du distributeur.....	32
➤ Détermination du débit d'air, facteur Kv.....	33
2.3.4- Distributeurs particuliers	34
2.4- Principaux accessoires pneumatiques.....	35
2.4.1- Moteurs.....	35
2.4.2- Ventouse, effet venturi.....	36
2.4.2- Autres accessoires.....	37
2.5- Les capteurs.....	39
2.5.1- Introduction aux capteurs.....	39
2.5.2- Exemple de capteurs.....	41
2.5.2.1- Les capteurs de position.....	41
2.5.2.2- Les capteurs électriques.....	42
2.5.2.2- Les capteurs de pression.....	44

CHAPITRE 3 : Notions de la base sur l'automatique

3.1- L'algèbre de BOOLE	48
3.1.1- Lois fondamentales de l'algèbre de BOOLE	48
3.1.2- Les fonctions de base	49
3.1.3- Théorèmes de MORGAN	55
3.2- La méthode matricielle	56
3.2.1- La table de KARNAUGH	56
3.2.2- La logique combinatoire	58
3.2.3- La logique séquentielle	58
3.2.4- Exemple d'un système séquentiel : commande d'un moteur.....	59
3.3- Le Grafcet	60
3.3.1- Définition.....	60
3.3.2- Les Eléments de base.....	61
3.3.3- Règles d'évolution.....	65
3.3.4- Exemple de GRAFCET – Poste de marquage de savons.....	65
3.4- Comparaison des méthodes.....	67

CHAPITRE 4 : Application à la Soutireuse des bouteilles de PEPSI

4.1- Introduction	69
4.2- Description du convoyeur de bouteille	69
4.3- Dimensionnement de la Soutireuse.....	71
4.3.1- Description générale de la soutireuse	71
4.3.1.1- Caractéristiques de l'installation.....	71
4.3.1.2- Les composants de la machine.....	71
4.3.1.3- Le fonctionnement de la machine.....	76
4.3.2- Diagrammes de la Soutireuse	82
4.3.2.1- Diagramme de la partie opérative.....	82
4.3.2.2- Diagramme de la partie commande.....	83
4.3.2.3- Diagramme fonctionnel.....	84

4.3.3- Les Grafcet de la soutireuse	84
Conclusion générale	86
Bibliographie	87
Annexes	88

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Les principaux domaines qui contribuent au système automatisé.....	4
Figure 1.2 : structure générale d'un système automatisé	5
Figure 2.1 : Synoptique d'un S.A.P.....	10
Figure 2.2 : Synoptique d'un circuit pneumatique.....	11
Figure 2.3 : Production de l'énergie pneumatique.....	11
Figure 2.4 : Symbole du compresseur intégré.....	12
Figure 2.5 : Exemple de réseau de distribution d'énergie pneumatique.....	12
Figure 2.6 : Cols de cygne à chaque raccordement.....	13
Figure 2.7 : Une légère pente sur chaque canalisation.....	13
Figure 2.8 : Photo d'une unité FRL.....	13
Figure 2.9 : Définition de la force statique.....	15
Figure 2.10 : Définition de la force statique pour un vérin.....	15
Figure 2.11 : Définition de la force dynamique.....	16
Figure 2.12 : Force dynamique d'un vérin.....	17
Figure 2.13 : Vérin simple effet classique, rappel par ressort.....	18
Figure 2.14 : Vérin simple effet plat à diaphragme.....	18
Figure 2.15 : Vérin simple effet à membrane, rappel par ressort.....	18
Figure 2.16 : Vérin simple effet à soufflet.....	19
Figure 2.17 : Force statique développée par un VSE en fin de sortie de tige.....	19
Figure 2.18 : Vérin double effet.....	20
Figure 2.19 : Vérin double effet à amortissement non réglable.....	20
Figure 2.20 : Vérin double effet à amortissement réglable.....	21
Figure 2.21 : Principe du réglage de débit.....	21
Figure 2.22 : Constitution d'un vérin pneumatique double effet à amortissement réglable des deux.....	21
Figure 2.23 : Vérin simple effet à tige télescopique.....	22
Figure 2.24 : Exemple de réalisation d'un vérin rotatif (unité de couple).....	22
Figure 2.25 : Vérin rotatif, perspective.....	22
Figure 2.26 : Multiplicateur de pression.....	23
Figure 2.27 : Double effet sans tige avec amortissement des deux côtés.....	23
Figure 2.28 : Exemple et symbole d'un vérin double tige.....	24
Figure 2.29 : Les différentes pressions mises en jeu dans un vérin.....	25
Figure 2.30 : Principe de symbolisation des distributeurs.....	27
Figure 2.31 : Exemple de représentation et symbolisation des positions repos et activation (distributeur 3/2).....	28
Figure 2.32 : Exemple de réalisation d'un distributeur 5/2 monostable (pression et pilotage : air comprimé).....	30
Figure 2.33 : Exemple simplifié d'un distributeur 5/2 bistable commandé par électrovannes (air comprimé).....	30
Figure 2.34 : Dessin simplifié d'un distributeur 5/3 à centre ouvert (pression P et pilotage : air comprimé).....	30
Figure 2.35 : Dessin simplifié d'un distributeur 5/3 à centre fermé	30

Figure 2.36 : Comparaison des temps de commutation (d'après Schneider).....	32
Figure 2.37 : Détermination du Kv d'un distributeur.....	33
Figure 2.38 : Principe d'un bloqueur 2/2 (pneumatique).....	34
Figure 2.39 : Exemple de sélectionneur avancé.....	34
Figure 2.40 : Principe d'un démarreur progressif.....	35
Figure 2.41 : Moteur pneumatique.....	35
Figure 2.42 : Principe d'un moteur pneumatique à pistons en étoile.....	36
Figure 2.43 : Venturi associé a une ventouse.....	36
Figure 2.44 : Dessin simplifié d'un accumulateur.....	37
Figure 2.45 : clapet anti-retour et clapet anti-retour piloté.....	37
Figure 2.46 : Échangeur air-huile.....	37
Figure 2.47 : Sélectionneur de circuit.....	38
Figure 2.48 : définition d'un capteur.....	39
Figure 2.49 : constitution d'un capteur.....	40
Figure 2.50 : représentation du capteur.....	41
Figure 2.51 : exemples des détecteurs de présence à action mécanique.....	41
Figure 2.52 : détecteurs inductifs.....	42
Figure 2.53 : exemple du détecteur photoélectrique.....	43
Figure 2.54 : détecteur magnétique sans contact.....	44
Figure 2.55 : exemples de capteurs de pression.....	45
Figure 3.1 : Représentation graphique du théorème de Morgan.....	56
Figure 3.2 : Représentation d'un système combinatoire.....	58
Figure 3.3 : Représentation d'un système séquentiel.....	58
Figure 3.4 : Commande d'un moteur électrique.....	59
Figure 3.5 : Description du poste de marquage de savons.....	66
Figure 3.6 : Détail de la présentation d'un GRAFCET.....	66
Figure 4.1 : Les différents éléments de la chaine de production.....	70
Figure 4.2 : Les dimensions de la soutireuse.....	71
Figure 4.3 : Schéma du parcours des bouteilles.....	72
Figure 4.4 : Panneau de commande (UniOP).....	72
Figure 4.5 : Moteur électrique et réducteur.....	73
Figure 4.6: Arbres à cardan.....	73
Figure 4.7 : Engrenages et courroies dentées.....	73
Figure 4.8 : position des capteurs.....	74
Figure 4.9 : position des électrovannes.....	75
Figure 4.10: Carrousel de soutireuse.....	75
Figure 4.11 : flux du produit.....	76
Figure 4.12 : Commande de la vanne de remplissage.....	77
Figure 4.13 : Cycle de remplissage.....	77
Figure 4.14 : Entrée dans la remplisseuse.....	78
Figure 4.15 : Précentrage.....	78
Figure 4.16 : Levage de bouteille.....	78

<i>Figure 4.17 : Pressurisation</i>	79
<i>Figure 4.18 : Remplissage</i>	79
<i>Figure 4.19: Fin de remplissage</i>	79
<i>Figure 4.20: Décompression</i>	80
<i>Figure 4.21: Abaissement et sortie de la remplisseuse</i>	80
<i>Figure 4.22 : capsulage des bouchons couronnes</i>	81

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 2.1 : Comparaison entre l'énergie pneumatique et l'énergie hydraulique.....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 2.2 : Normalisation des principaux distributeurs et des dispositifs de pilotages correspondants.....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 2.3 : les types de capteurs.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 3.1 : Les opérations de base de l'algèbre de Boole.....</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 3.2 : Exemple de L'application Electrique et pneumatique des fonctions ET et OU.....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 3.3 : Operateurs logiques (fonctions de bases).....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau 3.4 : Réalisation d'opérateurs a partir des portes ET, OU et NON.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 3.5 : la table de vérité pour le théorème de MORGAN 1.....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 3.6 : la table de vérité pour le théorème de MORGAN 2.....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 3.7 : Table de vérité du moteur M.....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 3.8 : Utilisation d'une mémoire.....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 3.9 : Différents cas de commande du moteur.....</i>	<i>60</i>

Nomenclature

p	<i>pression</i>	Pa
P_r	<i>pression relative</i>	Pa
P_i	<i>pression interne = « dépression » créée</i>	Pa
q_m	<i>Débit massique</i>	kg/s
S	<i>surface d'action</i>	m ²
F_s	<i>force statique des vérins</i>	N
F_d	<i>force dynamique des vérins</i>	N
F_{charge}	<i>effort à vaincre pour déplacer la charge</i>	N
F_s	<i>poussée théorique (p.S)</i>	N
t	<i>Taux de charge de vérin</i>	-
η	<i>Rendement d'un vérin</i>	-
K_v	<i>facteur permet déterminer le distributeur à associer à un vérin</i>	m ³ /s
a, b, c, d	<i>variables de l'algèbre de Boole</i>	-
F	<i>fréquence</i>	Hz

Abréviation :

SAP : Système Automatisé de Production.

Unité FRL : Filtre, mano- Régulateur et Lubrificateur

Introduction générale

Les systèmes industriels répondent à des besoins de mesure et/ou de productions. En plus des systèmes mécaniques, ils font généralement appel à :

- ❖ L'Automatique
- ❖ L'électronique numérique
- ❖ L'informatique

Ces différentes disciplines interviennent à tous les niveaux d'un processus industriel.

Dans une conduite de processus, les informations provenant de capteurs sont acquises puis traitées par des programmes informatiques associés à des calculateurs (Automates). Les résultats des traitements permettent une action sur les systèmes au travers d'actionneurs agissant ainsi sur le processus physique [1].

Une machine peut être automatisée par différentes techniques ; électrique, mécanique, hydraulique ou pneumatique.

La puissance pneumatique a pour avantage :

➤ **La rapidité d'action** : la pression se propage à l'intérieur d'un fluide à la même vitesse que le son, soit à 20 °C 343 m/s dans l'air, la vitesse de déplacement du piston d'un vérin est directement liée à la circulation du fluide à l'intérieur de la conduite, cette vitesse est liée aux pertes de charges.

➤ **La simplicité** : les faibles pertes de charges rendent ainsi possible la création d'un poste centrale de compression unique pour toute l'installation alors qu'en hydraulique il faut le réaliser sur chaque minute.

➤ **La propreté** : une machine équipée à l'air comprimé est une machine propre, on n'a pas le risque de tacher ou de polluer les produit travaillés, donc les industries alimentaires de conditionnement peuvent l'utiliser avec sécurité.

➤ **Economie** : la simplicité et la robustesse sont les premiers facteurs d'économie intéressants de l'installation, une commende pneumatique est généralement économique en énergie.

Mais il faut noter que certains inconvénients restreignent son domaine d'emploi on cite par exemple :

- ✓ La difficulté d'utilisation à haute pression ; d'autant la pression est grande d'autant le cout de l'installation est élevé.
- ✓ Risque de condensation : un fluide liquide ou gaz peut véhiculer des impuretés, parmi ces impuretés l'humidité qui peut donner naissance à des condensations, qui peuvent être à l'origine de l'oxydation des conduites.

L'opportunité qui s'offre à moi dans ce projet, est celle d'étudier les différentes technologies constituant la machine à conditionner des flacons de liquide, la «Soutireuse» de la chaine de production d'ABC PEPSI. L'objectif essentiel de ce mémoire est l'étude automatique de la commande pneumatique, la machine fonctionne purement par commande pneumatique.

Je vais tout d'abord présenter dans le premier chapitre Les principaux paramètres de l'étude d'un système automatique. Je citerai les principaux paramètres de l'étude, Principales catégories de systèmes automatisés et la méthode de Calcul de la rentabilité d'une automatisation.

Dans le deuxième chapitre je me baserai sur les différents capteurs et actionneurs d'une machine automatique, les organes essentiels utilisés dans la commande pneumatique, les types des actionneurs pneumatiques (les vérins, les distributeurs et l'électropneumatique) et les différents capteurs.

Dans le troisième chapitre j'ai fait une introduction à l'étude automatique, dans le même chapitre j'ai donné des rappels de l'algèbre de BOOLE et les méthodes utilisées pour l'étude automatique comme les tableaux de Karnaugh et le GRAFCET.

Le chapitre quatre comporte une étude descriptive d'une machine à conditionner des bouteilles pour les boissons gazeuses. On a fait une description pour la chaîne de production en général, après une étude pour la soutireuse (remplisseuse-boucheuse) des petites bouteilles en verre (33cl) de PEPSI.

Chapitre 1

Les principaux paramètres de l'étude d'un système automatique

1.1- Introduction aux paramètres de l'étude :

Comme tout objet technique, un système automatisé se trouve lors de sa conception à l'intersection des quatre domaines. Voir la figure :

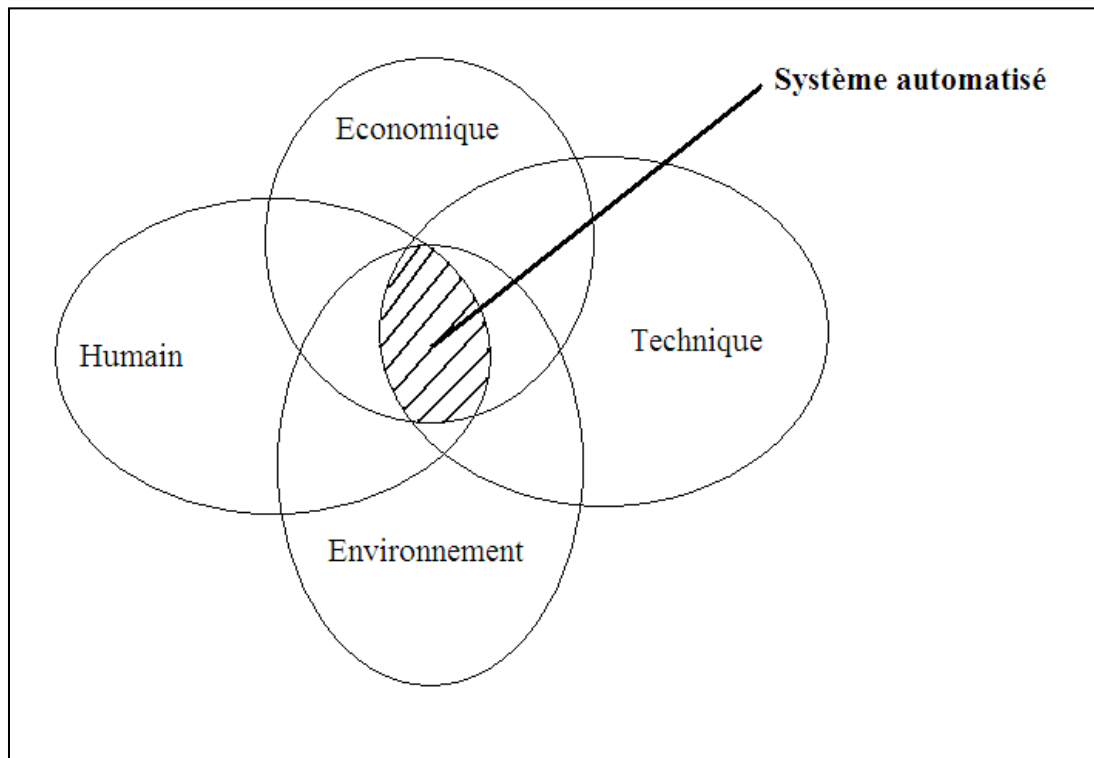


Figure 1.1 : Les principaux domaines qui contribuent au système automatisé

Concevoir un système automatisé c'est chercher un compromis entre les paramètres relatifs à ces quatre domaines, nous allons les examiner successivement.

1.2- Principales catégories de systèmes automatisés :

Il existe 3 catégories de systèmes automatisés :

1.2.1- Système automatisé combinatoire :

A une combinaison des entrées correspond une seule combinaison des sorties (logique combinatoire). Ces systèmes n'utilisent aucun mécanisme de mémorisation ; ils n'ont pas de mémoire. Les outils utilisés pour les concevoir sont l'algèbre de Boole, les tables de vérité, les tableaux de Karnaugh. [3]

1.2.2- Système logique séquentiel :

Le déroulement s'effectue étape par étape, séquence par séquence. Pour ces systèmes, à une situation des entrées peuvent correspondre plusieurs situations de sortie. La sélection d'une sortie ou d'une autre dépend de la situation antérieure du dispositif (étape précédente). Les mécanismes de mémorisation, ou mémoires, sont à la base de la logique séquentielle. Exemple : le GRAFCET. [3]

1.2.3- Système asservi :

Les systèmes asservis fonctionnent en bouclage, c'est-à-dire avec une boucle de rétroaction ou « feedback », prenant en considération une mesure permanente de la situation du système afin de déterminer la commande la mieux adaptée en réponse à une situation donnée.

Pour ces systèmes, toutes les situations possibles n'étant pas prévisibles, par exemple à cause des perturbations, on ne peut pas, contrairement au cas des systèmes séquentiels, avoir un déroulement fini d'opérations prédéterminées.

L'étude de tels systèmes est regroupée sous le nom « **d'automatique** » ou « **cybernétique** ».

L'automatique peut s'appliquer aux systèmes mécaniques, électroniques, électromécaniques, mais aussi en gestion, biologie, économie, etc. [3]

1.2- Domaine technique :

Un système automatisé se compose d'une partie commande (unité de traitement et préactionneurs), une partie opérative (actionneurs, capteurs et matière d'œuvre) et un pupitre (boutons de commandes divers, signalisations, alarmes, écrans, etc.) permettant le dialogue avec les opérateurs. [3]

Un automatisme peut être représenté suivant le schéma ci-dessous. Sur ce schéma on représente les liaisons qu'il peut y avoir entre les différents éléments du système automatisé.

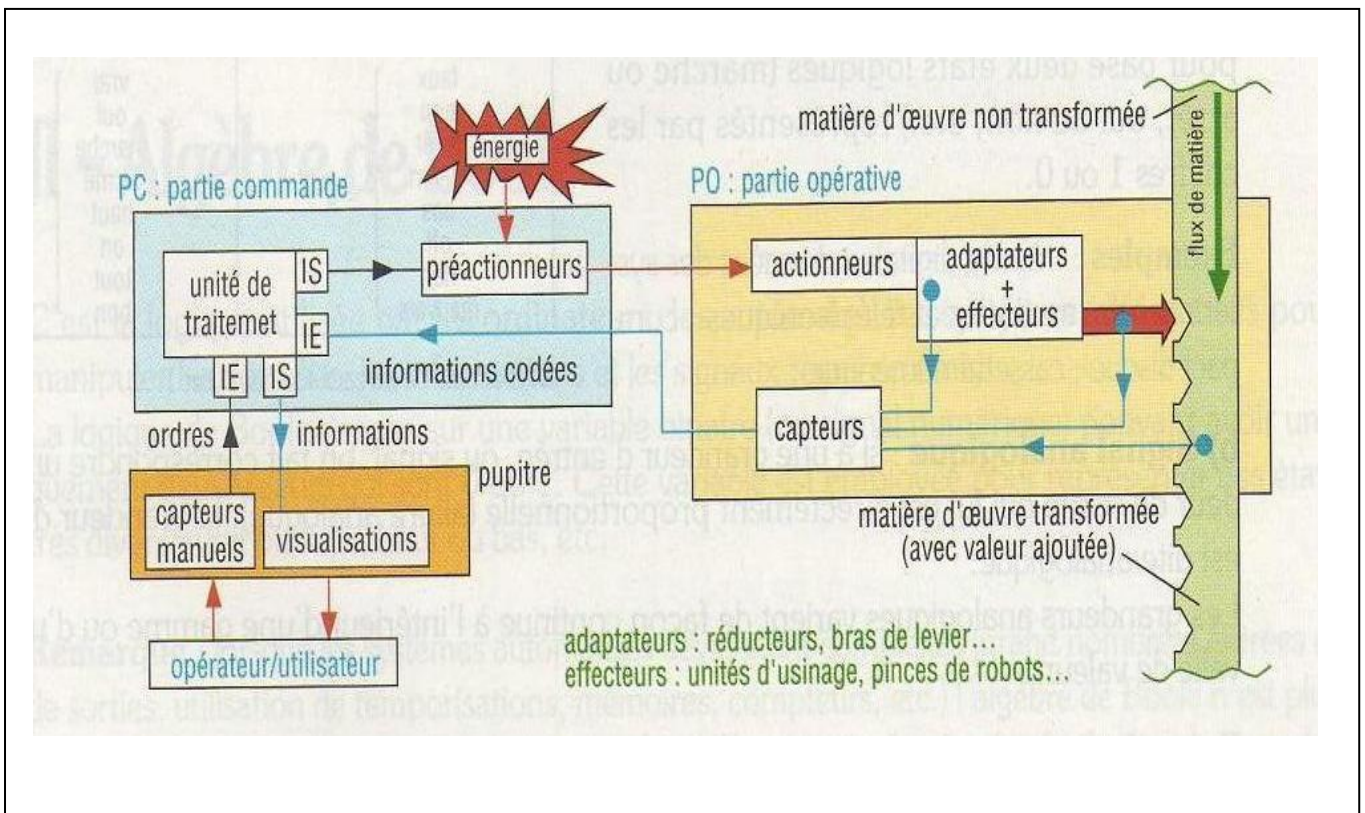


Figure 1.2 : structure générale d'un système automatisé

La partie opérative, c'est elle qui opère sur la matière d'œuvre. Elle comporte en général :

- Des outillages.
- Des actionneurs destinés à mouvoir ou mettre en œuvre ces moyens par exemple : moteur électrique, vérins, vannes ...etc.

La partie commande, c'est elle qui émet des ordres vers la partie opérative et en reçoit des signaux de retour de coordonner ses actions, on trouve diverses technologies : électromécanique (relais), électronique (portes logiques), informatique (Automates Programmables Industriels).

Unité de traitement, c'est le cerveau de l'automatisme. Les interfaces (IE : Interfaces d'Entrée ; IS : Interfaces de Sorties) sont employés pour l'échange des données avec les autres éléments ainsi que la protection de l'unité. **Exemples** : ordinateur ; processeur ou microprocesseur ; automate programmable (API) ; séquenceurs.

Actionneurs, ce sont les muscles et les mains. Ils reçoivent leur énergie (électricité, air comprimé, etc.) par l'intermédiaire des préactionneurs. **Exemples** : vérins ; moteurs ; robots ; vannes ; électro-aimants.

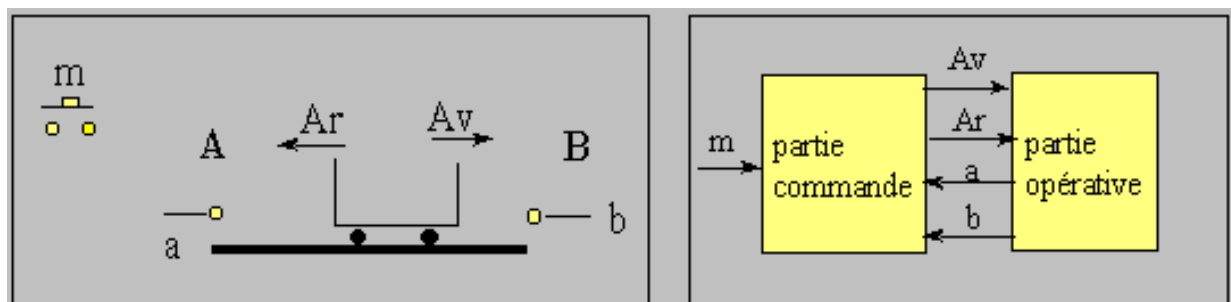
Préactionneurs, ils représentent les gares de triage de l'énergie. Celle-ci est canalisée vers les actionneurs sur ordre de l'unité de traitement. **Exemples** : distributeurs ; contacteurs.

Capteurs, c'est le service de surveillance et de renseignement. Ils contrôlent, mesurent, surveillent et informent l'unité de traitement sur l'état et l'évolution de l'automatisme. **Exemples** : interrupteurs de position ; détecteurs de proximité ; compteurs ; systèmes de pesage ; manomètres ; thermomètres ; dynamomètres.

On peut citer quelques critères d'ordre technique :

- *La complexité* : nombre d'entrée et de sortie.
- *Temps de réponse* : c'est le temps de réponse du capteur plus le temps de parcours de partie commande et partie opérative plus le temps de traitement, donc le temps de réponse doit être compatible avec la cadence souhaitée.
- *La robustesse*.
- *La précision*.

Exemple :



1er cas	2ème cas
<p>On désire le fonctionnement suivant:</p> <p>Tant que le signal m possède la valeur 0, le chariot est à l'arrêt en A</p> <p>Si le signal m prend la valeur 1 le chariot se déplace sauf s'il se trouve en B</p> <p>On peut établir dans ce cas la table de vérité liant la commande Av aux variables binaires a, b, m et on obtient la fonction $Av = m./b$</p> <p>La partie commande possède dans ce cas une structure de type combinatoire. [12]</p>	<p>On désire le fonctionnement suivant:</p> <p>Au repos le chariot est à l'arrêt en A</p> <p>Au signal m (signal bref) le chariot se déplace vers B puis revient en A</p> <p>On ne peut plus établir dans ce cas la table de vérité liant les commandes Av et Ar aux variables binaires a, b, m</p> <p>En effet pour $m=0, a=0, b=0$ on peut avoir 2 cas : $Av=1, Ar=0$ à l'aller ou $Av=0, Ar=1$ au retour</p> <p>La commande dans ce cas est de type séquentiel. [12]</p>

1.3- Domaine économique :

La recherche du cout minimum est un souci permanent, les principaux facteurs influents sur le prix de revient d'un système automatisé sont :

- Les frais d'étude de conception de la partie opérative et la partie commande.
- Le cout des composants.
- Le cout de l'énergie.
- L'entretien et la maintenance.
- Le salaire de l'opérateur (main d'œuvre qualifiée).
- La formation du personnel.

1.4- Domaine humain :

Il faudrait ce pendant prendre en compte :

- La sécurité de l'opérateur.
- Qualification exigée pour l'exploitation du système.

1.5- Domaine de l'environnement :

L'influence de l'environnement sur le système :

- L'Humidité.
- La poussière.
- La haute température.

L'influence de la machine sur l'environnement :

- Le Bruit.
- Les vibrations.

1.6- Calcul de la rentabilité d'une automatisation :

Un projet d'automatisation est jugé sur sa rentabilité.

Celle-ci peut s'exprimer sous la formule suivante :

$$\frac{\textit{Investissement}}{\textit{Gain annuel}} = \textit{Nombre d'année pour le retour d'investissement}$$

Si le retour est de moins de 3 ans le projet est jugé bon.

Chapitre 2

Les différents actionneurs et capteurs d'une commande pneumatique (machine automatique)

Les **actionneurs pneumatiques** transforment la puissance pneumatique (pression p (Pa), débit-masse q_m (kg/s)) en puissance mécanique (force F (N), vitesse v (m/s)) au travers d'un mouvement linéaire ou rotatif, Leurs principales caractéristiques sont : la course, la force et la vitesse.

Les performances sans cesse améliorées des Systèmes Automatisés de Production (SAP) doivent beaucoup aux Transmissions Oléo-hydrauliques et Pneumatiques. Le domaine couvert est vaste, tous les secteurs d'activité sont concernés : automobile, aéronautique, aérospatiale, marine, trains et métros sur rail, et divers autres moyens de transport; électrotechnique et électronique ; industries agroalimentaires; industries pétrolière, chimique et pharmaceutique; génie civil, bâtiments et travaux publics; industrie mécanique, machines-outils, assemblage, manutention ; spectacle, théâtre, manèges forains ; médecine, équipements de dentisterie, équipements hospitaliers.etc.

2.1- Introduction à l'étude pneumatique :

On trouve l'énergie pneumatique essentiellement dans la chaîne d'action d'un Système Automatisé de Production.

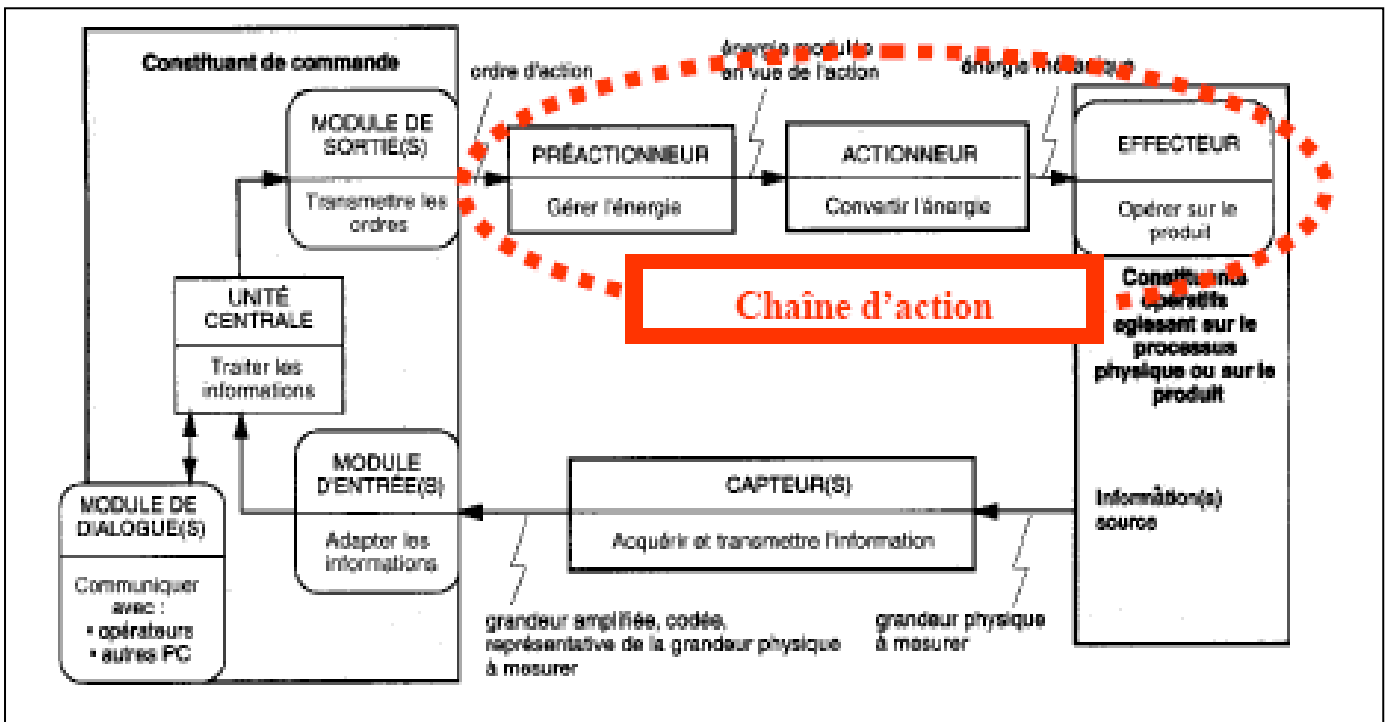


Figure 2.1 : Synoptique d'un S.A.P. [9]

2.1.1- Le fluide pneumatique

Le fluide pneumatique le plus couramment utilisé est de l'air dont la pression usuelle d'emploi est comprise entre 3 et 8 bars (soit $3 \cdot 10^5$ à $8 \cdot 10^5$ pascals, l'unité de pression du système international SI). Dans certains cas, on peut utiliser de l'azote.

Rappel : 1 bar = 1 daN / cm² $\approx 10^5$ Pa

L'air comprimé est utilisé comme fluide énergétique (air travail ou air moteur) pour alimenter des actionneurs (vérins et moteurs pneumatiques). Il peut aussi intervenir dans une chaîne de contrôle ou de mesure (air instrument). De plus, il peut être en contact direct avec le produit dans un processus de fabrication (air process) ou avec les utilisateurs (air respirable) avec des risques possibles de contamination et d'intoxication.

- Exemples :*
- Aération, brassage, pressurisation de cuves ;
 - Transport pneumatique de produits légers ou pulvérulents;
 - Refroidissement, pulvérisation, soufflage ;
 - Remplissage de bouteilles de plongée, hôpitaux, etc.

2.1.2- Comparaison entre l'énergie pneumatique et l'énergie hydraulique :

	Pneumatique	Hydraulique
Production	Compresseur 1 par atelier	Compresseur 1 par système
Liaison	Tubes, flexibles (pertes de charge selon distance et forme)	
Rendement	0,3 à 0,5	0,7 à 0,9

Tableau 2.1 : Comparaison entre l'énergie pneumatique et l'énergie hydraulique.

<p>Hydraulique : P \Rightarrow 300 bar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Force supérieure à 50 000 N. - Positionnement intermédiaire et précis des vérins. - Vitesse d'avance régulière (car l'huile est incompressible). 	<p>Pneumatique : P \Rightarrow 10 bar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Force inférieure à 50 000 N. - Installation peu coûteuse (production centralisée de l'air comprimé) - Transport du fluide plus simple et beaucoup plus rapide (maxi de 15 à 50 m/s contre 3m/s pour l'hydraulique)
---	--

2.1.3- Circuit pneumatique :

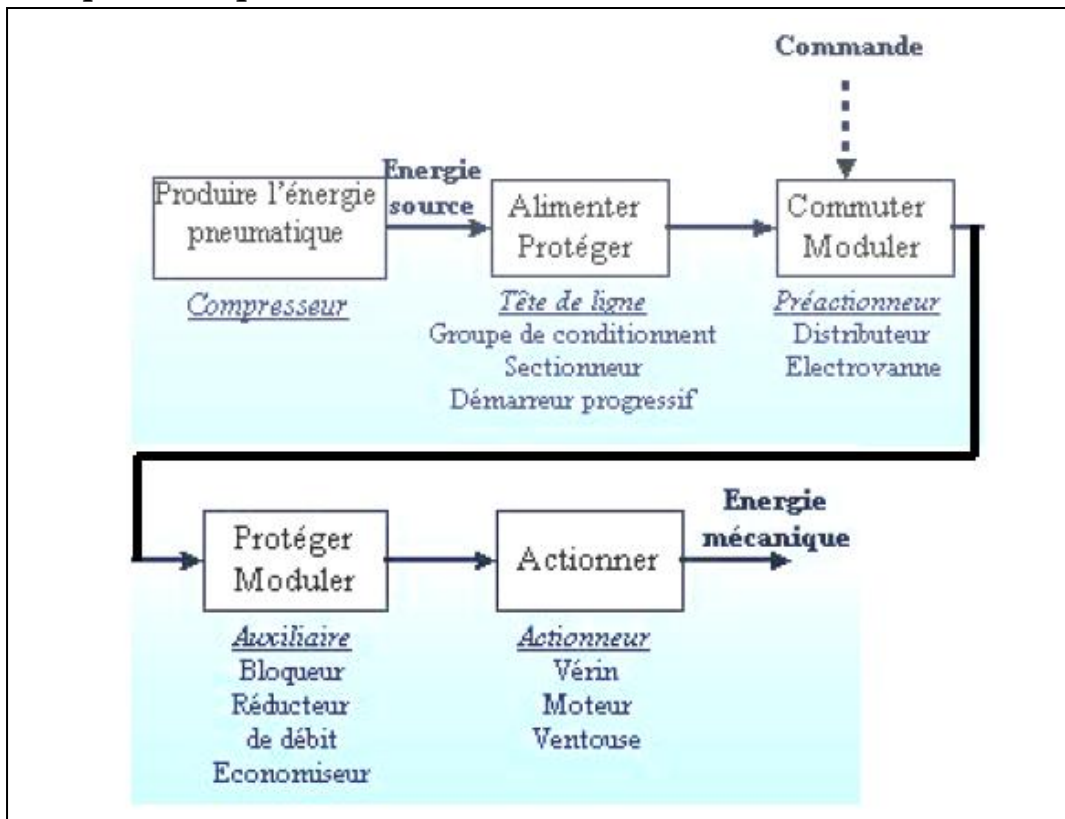


Figure 2.2: Synoptique d'un circuit pneumatique [9]

2.1.4- Production d'énergie pneumatique

Elle est assurée par un compresseur, animé par un moteur électrique. Ce compresseur intégré est constitué d'un filtre, du système de compression de l'air, d'un refroidisseur-assècheur et d'un dernier filtre. La pression de sortie est de l'ordre de 10 bars. Un réservoir permet de réguler la consommation.

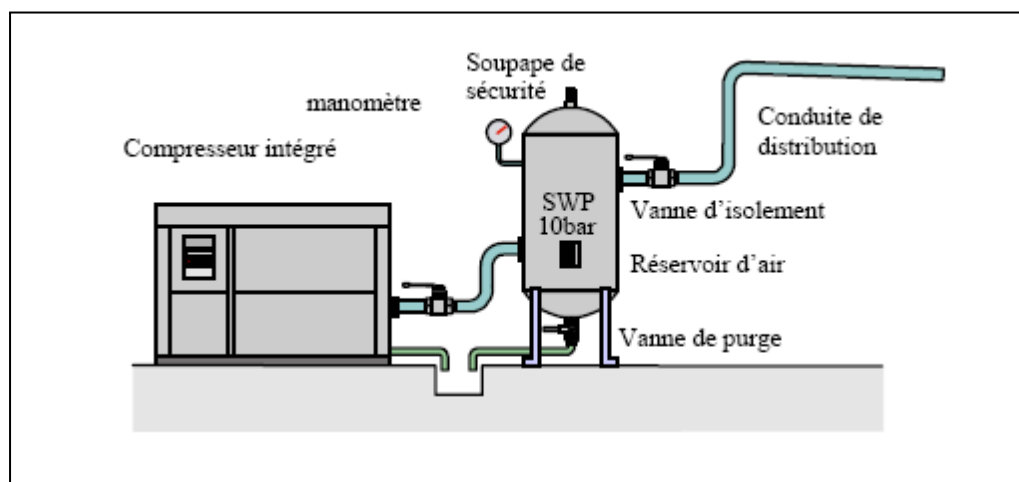


Figure 2.3 : Production de l'énergie pneumatique [9]

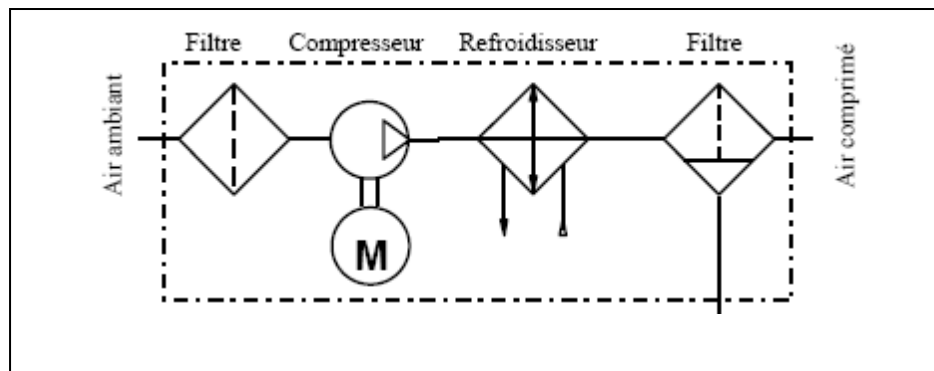


Figure 2.4 : Symbole du compresseur intégré [9]

L'air souillé peut causer des problèmes ou des dégâts dans le réseau d'air comprimé. Un air pur garanti le bon fonctionnement des composants connectés, tels les distributeurs et les vérins. La fiabilité d'une installation pneumatique dépend de la qualité de l'air comprimé.

Les pollueurs sont essentiellement :

- les *particules solides* (poussière, suie, produits d'abrasion et de corrosion, ...) que l'on peut classifier en fonction de leur taille (grosses $> 10 \mu\text{m}$, petites de 1 à $10 \mu\text{m}$ et très fines $< 1 \mu\text{m}$) ;
- l'*eau* : lors du refroidissement de l'air comprimé, il se forme une quantité importante de condensation. Si l'air n'est pas asséchée, la corrosion s'installe et endommage les composants ;
- l'*huile* : une concentration d'huile peut boucher les parties pneumatiques sensibles et emporter ou endommager les couches grasses de protection.

2.1.5- Réseau de distribution de l'air :

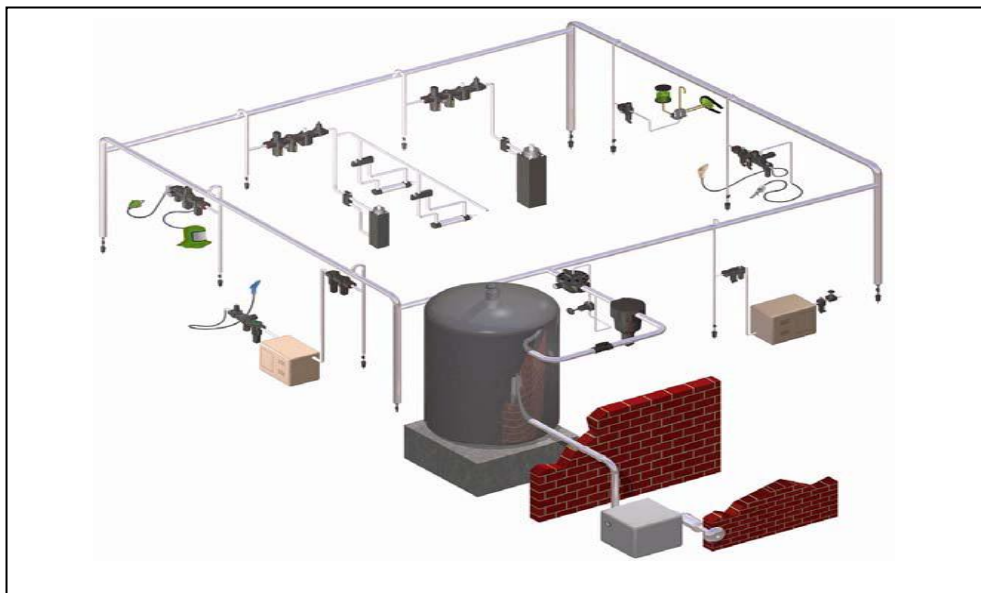


Figure 2.5 : Exemple de réseau de distribution d'énergie pneumatique [9]

La distribution d'énergie pneumatique se fait par canalisations rigides reliées par des cols de cygnes pour éviter de recevoir des impuretés ou de l'eau pouvant séjourner dans les conduites.

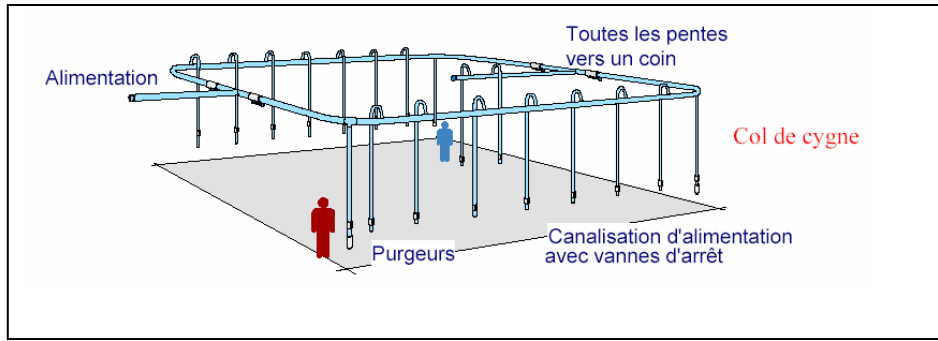


Figure 2.6 : Cols de cygne à chaque raccordement. [11]

Pour supprimer ces impuretés ou ces eaux stagnantes, il y a des purgeurs au point bas de chaque raccordement, et les canalisations ont une légère pente.

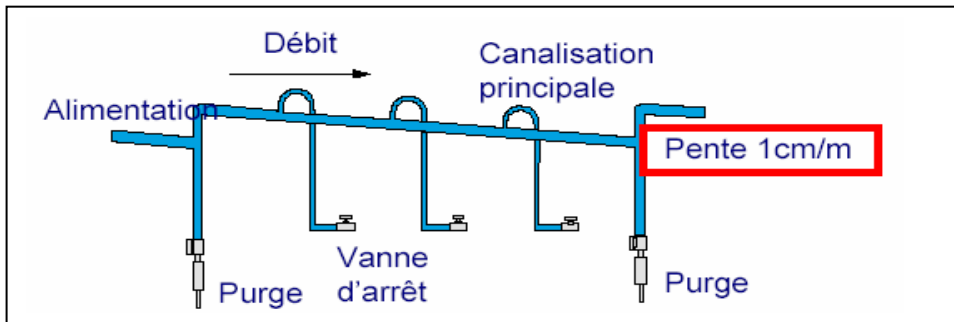


Figure 2.7 : Une légère pente sur chaque canalisation. [11]

2.1.6- Conditionnement de l'air :

Avant d'utiliser l'air, il faut le filtrer, l'assécher, le graisser et réguler sa pression. Ainsi, avant chaque SAP (Système Automatisé de Production), on place une unité de conditionnement FRL (appelées aussi « Tête de ligne ») qui adapte l'énergie pneumatique au système. Cette unité FRL est constituée d'un **F**iltre, d'un **R**égulateur et d'un **L**ubrificateur.

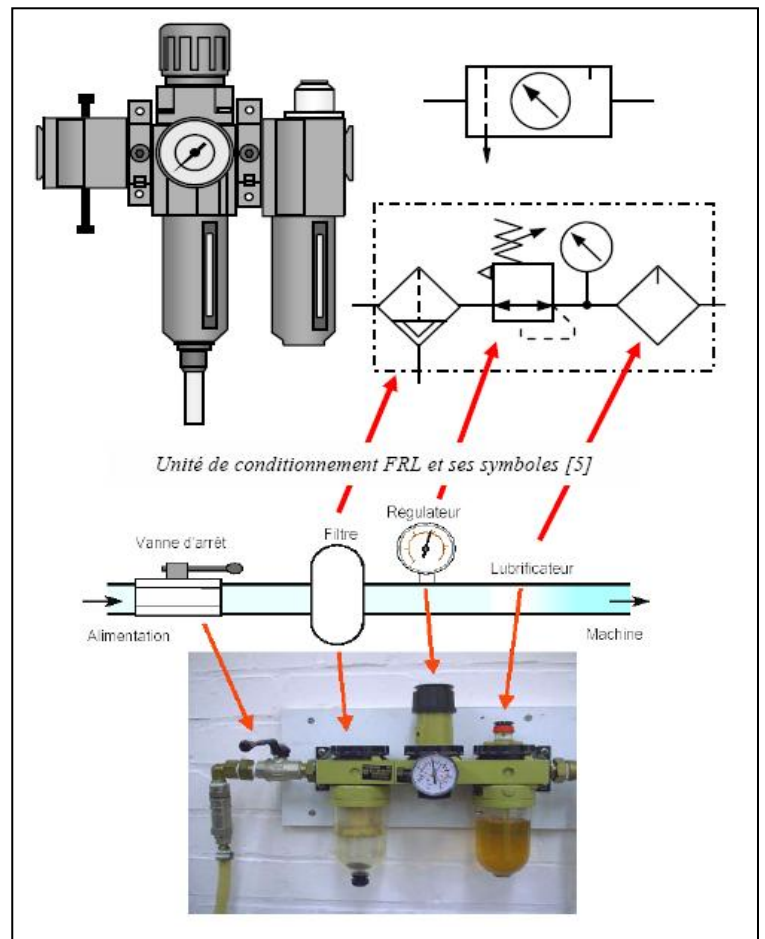
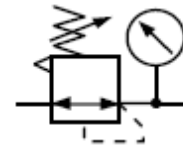


Figure 2.8 : Photo d'une unité FRL. [11]

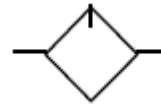
Le filtre sert à assécher l'air et filtrer les poussières.



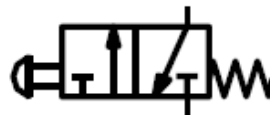
Le mano-régulateur sert à régler et réguler la pression de l'air.



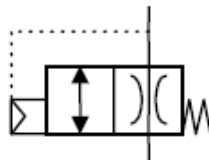
Le lubrificateur sert à éviter la corrosion et à améliorer le glissement.



Afin de mettre le système en ou hors énergie, on utilise un sectionneur pneumatique. C'est une vanne de type 3/2, qui peut être manœuvrée manuellement ou électriquement. Son rôle est d'isoler le circuit pneumatique du système par rapport à la source, et de vider ce circuit lors de la mise hors énergie.



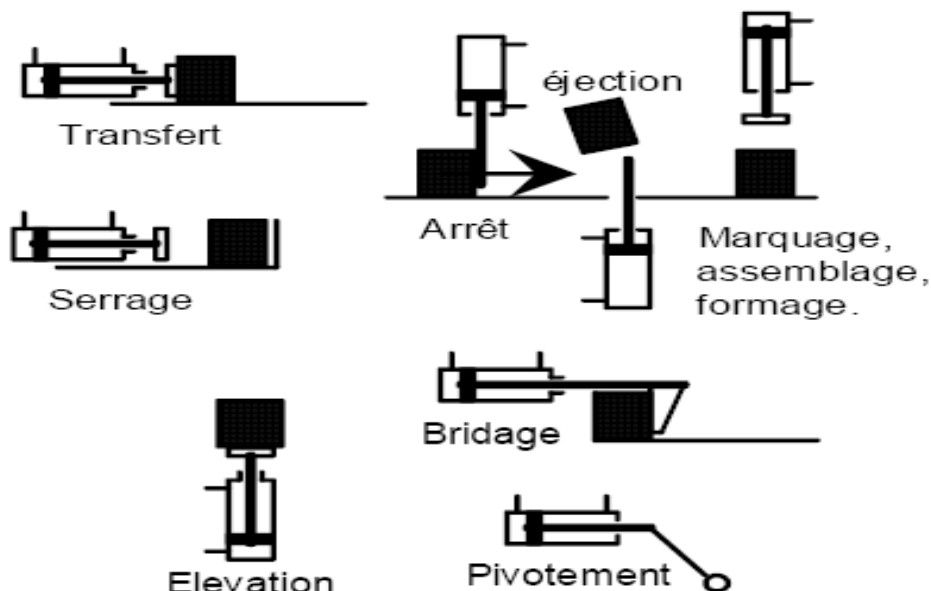
Le démarreur progressif assure une montée progressive de la pression dans l'installation en agissant sur la vitesse de remplissage du circuit. Monté en sortie du FRL et avant le sectionneur général, il protège les personnes d'une brusque remise en service des actionneurs.



2.2- Les vérins :

Les vérins transforment l'énergie d'un fluide sous pression en énergie mécanique (mouvement avec effort). Ils peuvent soulever, pousser, tirer, serrer, tourner, bloquer, percuter, etc.

Exemples d'utilisation :



Leur classification tient compte de la nature du fluide, pneumatique ou hydraulique, et du mode d'action de la tige : simple effet (air comprimé admis sur une seule face du piston), double effet (air comprimé admis sur les deux faces du piston)...

Les vérins pneumatiques utilisent l'air comprimé, de 2 à 10 bars en usage courant. Du fait de la simplicité de mise en œuvre, ils sont très nombreux dans les systèmes automatisés industriels.

Remarque : une grande quantité de fonctions complémentaires peut leur être intégrée : amortissement de fin de course, capteurs de position, dispositifs de fin de course, dispositifs de détection, distributeurs, guidage, etc.

2.2.1- La force disponible, la force statique, la force dynamique et le taux de charge :

➤ Force disponible :

Avec l'air comprimé, on dispose d'une énergie potentielle exploitable sous forme statique ou sous forme dynamique par transformation en énergie cinétique :

➤ Force statique :

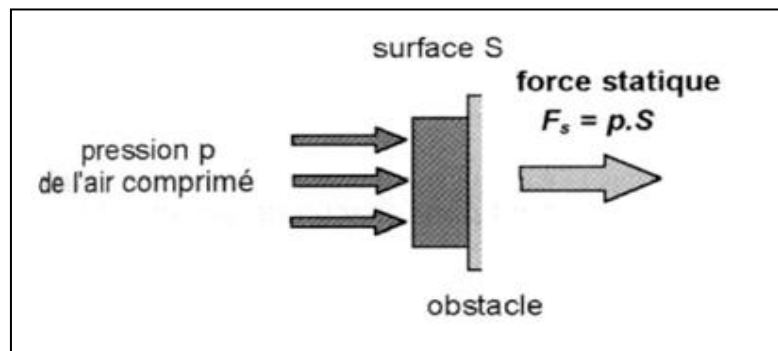


Figure 2.9 : Définition de la force statique

En faisant agir l'air comprimé sur une face immobile, on obtient une force statique F_s proportionnelle à la pression p et à sa surface d'action S :

$$\text{Force statique : } F_s = p \cdot S$$

Avec la force F_s exprimée en daN, la pression p de l'air comprimé en bars et la surface S en cm^2 .

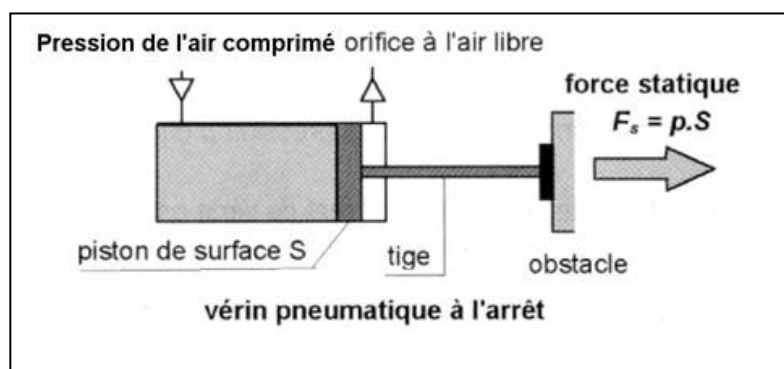


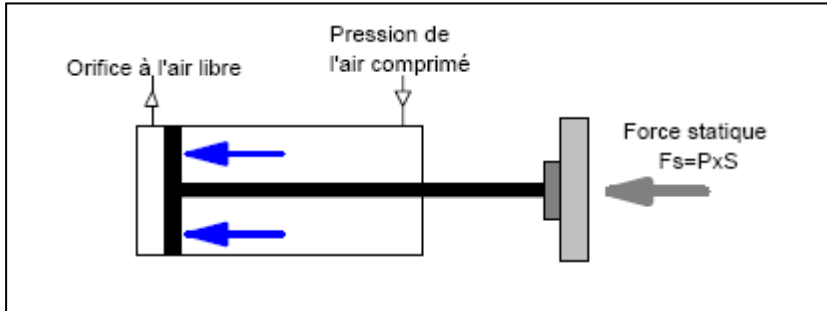
Figure 2.10 : Définition de la force statique pour un vérin

Exemple :

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

La force statique tige sortie (cf. figure précédente) vaut :

$$F_s = p \cdot S = p \cdot \pi \cdot (d^2/4) = 6 \cdot \pi \cdot (5^2/4) = 117,8 \text{ daN}$$



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

$$S = (\pi/4) \cdot (S_{vérin}^2 - S_{tige}^2) = (\pi/4) \cdot (5^2 - 2^2) = 16,5 \text{ cm}^2$$

D'où la force statique tige rentrée :

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

➤ **Force dynamique :**

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

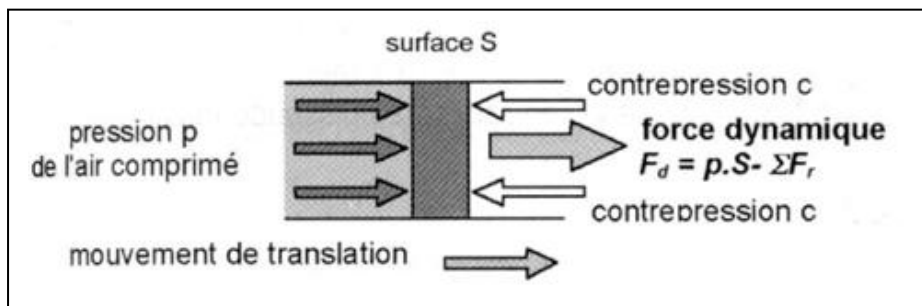


Figure 2.11 : Définition de la force dynamique

On a alors l'expression suivante :

Force dynamique : $F_d = p \cdot S - \Sigma Fr$

Avec la force dynamique F_d et la somme des forces résistantes ΣFr exprimées en daN, la pression p de l'air comprimé en bars et la surface S en cm^2 .

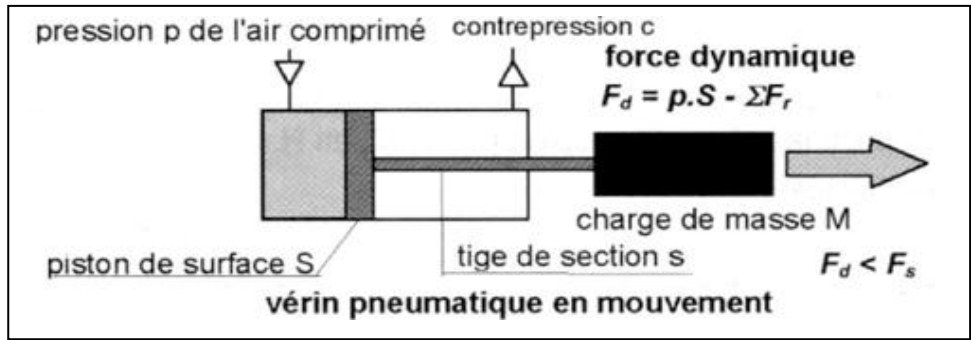


Figure 2.12 : Force dynamique d'un vérin

Les vérins pneumatiques permettent de mettre en application ces deux relations.

➤ *Utilisation en statique et dynamique :*

La force statique F_s ne pose pas de problème de calcul puisque toutes les variables sont connues, du moins pour le vérin à double effet. Pour que le vérin soit exploitable, il suffit que sa force statique F_s soit supérieure à la charge statique C_s opposée (force de blocage ou de serrage) :

$$Force\ statique\ F_s > Charge\ statique\ C_s$$

Il n'en est pas de même de la force dynamique. A défaut de connaître les forces de frottement et d'inertie propres au vérin, on définit son **rendement** η comme le rapport de la force dynamique sur la force statique. Les mesures montrent que η est compris entre 0,8 et 0,95 suivant le type de vérin, ses dimensions, la pression et le fonctionnement à sec ou lubrifié. On peut donc, faute de connaître le rendement exact du vérin, estimer la force dynamique en prenant pour η la valeur minimum de 0,8.

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

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

$$Force\ dynamique\ F_d > Charge\ dynamique\ C_d$$

➤ *Taux de charge t :*

Pour être certain d'utiliser le vérin dans de bonnes conditions, on définit le **taux de charge** t . C'est un paramètre qui tient compte à la fois des effets de la contre-pression et des frottements internes ; son emploi élimine les risques de broutements.

$$Taux\ de\ charge\ t = \frac{F_{charge}}{F_s}$$

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

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

2.2.2- Les vérins à simple effet :

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

➤ Principes de réalisation et symboles normalisés

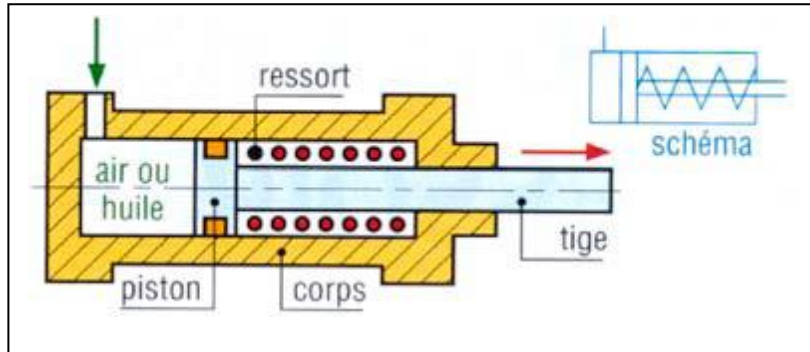


Figure 2.13 : Vérin simple effet classique, rappel par ressort [3]

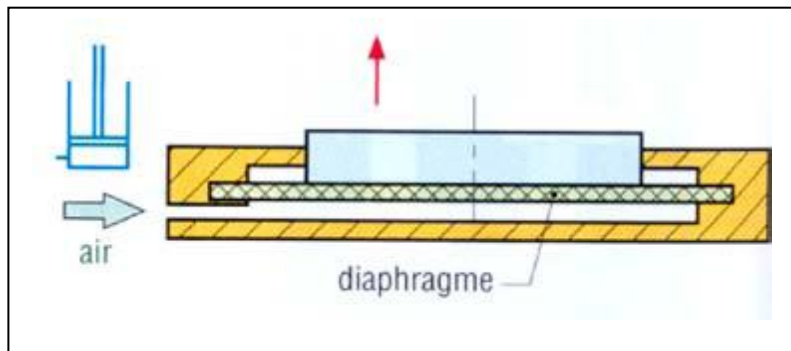


Figure 2.14 : Vérin simple effet plat à diaphragme [3]

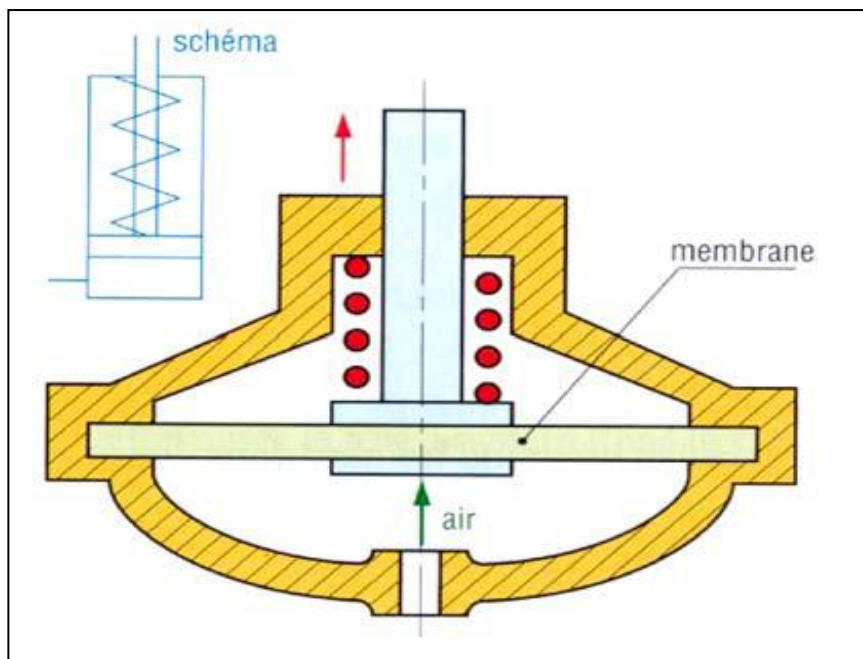


Figure 2.15 : Vérin simple effet à membrane, rappel par ressort [3]

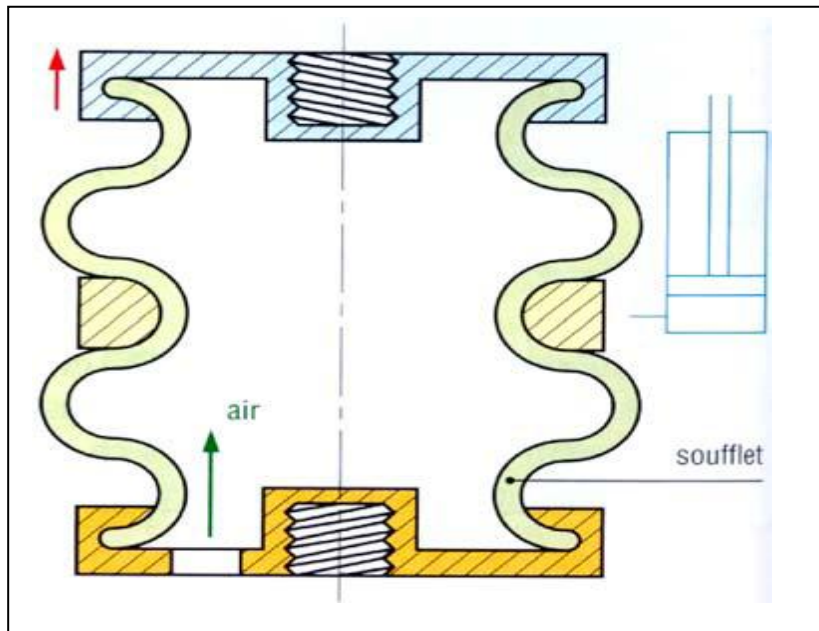


Figure 2.16 : Vérin simple effet à soufflet [3]

- **Avantages** : les vérins simple effet sont économiques, et la consommation de fluide est réduite.
- **Inconvénients** : à course égale, ils sont plus longs que les vérins double effet ; la vitesse de la tige est difficile à régler en pneumatique et les courses proposées sont limitées (jusqu'à 100 mm).
- **Utilisation** : travaux simples (serrage, éjection, levage, emmanchements, ...)
- **Force statique développée** : il faut tenir compte de la force R_c du ressort comprimé, d'où :

$$F_s = p \cdot S - R_c$$

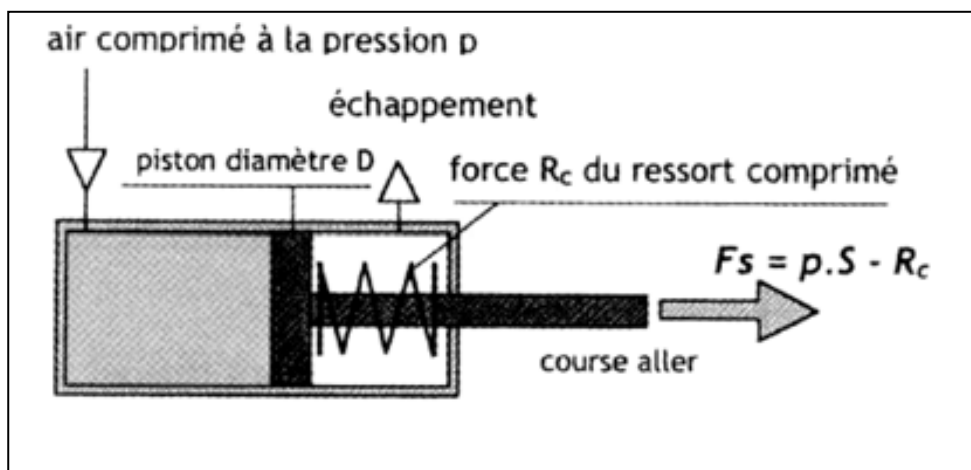


Figure 2.17 : Force statique développée par un VSE en fin de sortie de tige

2.2.3- Les vérins à double effet :

L'ensemble tige-piston peut se déplacer dans les deux sens sous l'action du fluide sous pression (air comprimé).

L'effort en poussant (sortie de la tige) est légèrement plus grand que l'effort en tirant (entrée de la tige) car la pression n'agit pas sur la partie de surface occupée par la tige.

➤ **Principe de réalisation :**

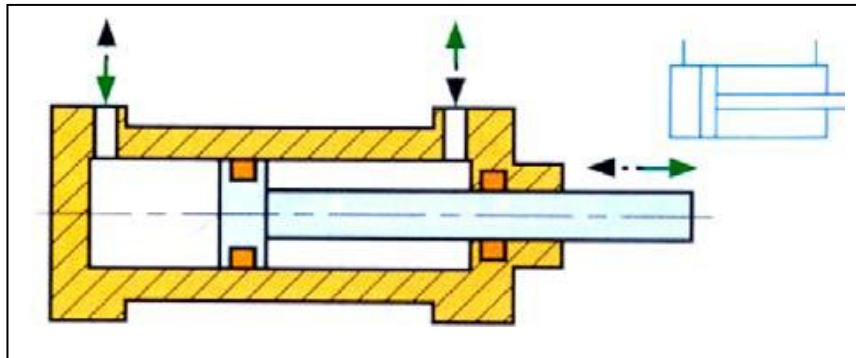


Figure 2.18 : Vérin double effet [1]

- **Avantages :** plus grande souplesse d'utilisation ; réglage plus facile de la vitesse, par contrôle du débit à l'échappement ; amortissements de fin de course, réglables ou non, possibles dans un ou dans les deux sens. Ils offrent de nombreuses réalisations et options.
- **Inconvénients :** ils sont plus coûteux.
- **Utilisation :** ce sont les vérins les plus utilisés industriellement, ils présentent un grand nombre d'applications.
- **Amortissement de fin de course :** cet amortissement est indispensable aux vitesses ou cadences élevées et sous fortes charges.

Si des blocs en élastomère suffisent lorsque l'énergie à amortir est modérée, les dispositifs avec tampons amortisseurs sont recommandés aux plus hautes énergies. Dès que le tampon entre dans son alésage, le fluide à l'échappement est obligé de passer par l'orifice B plus petit, au lieu de l'orifice A. La réduction du débit provoque une surpression créant l'amortissement.

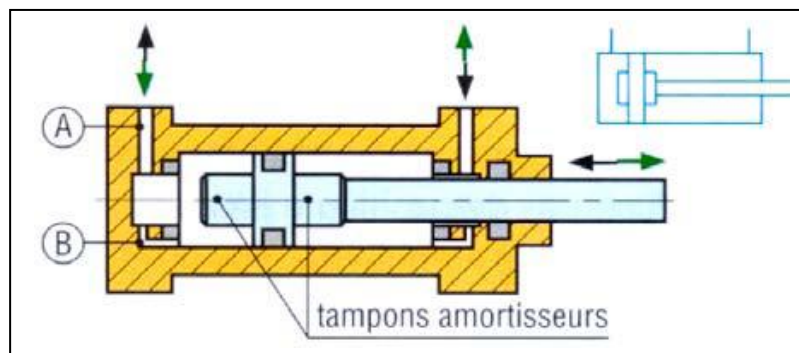


Figure 2.19 : Vérin double effet à amortissement non réglable [3]

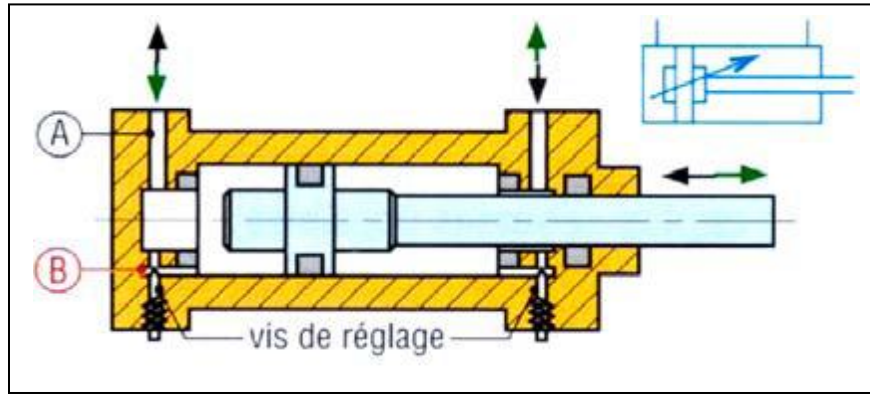


Figure 2.20 : Vérin double effet à amortissement réglable [3]

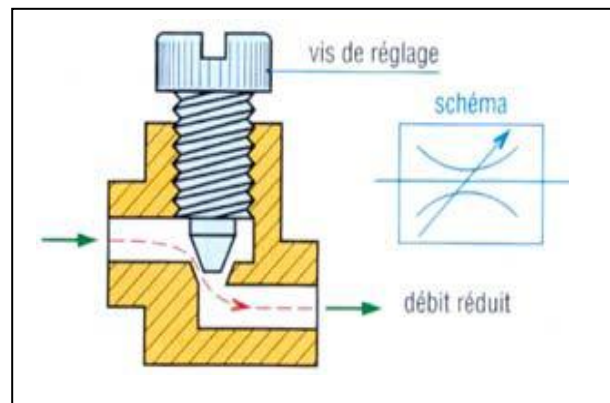


Figure 2.21 : Principe du réglage de débit [3]

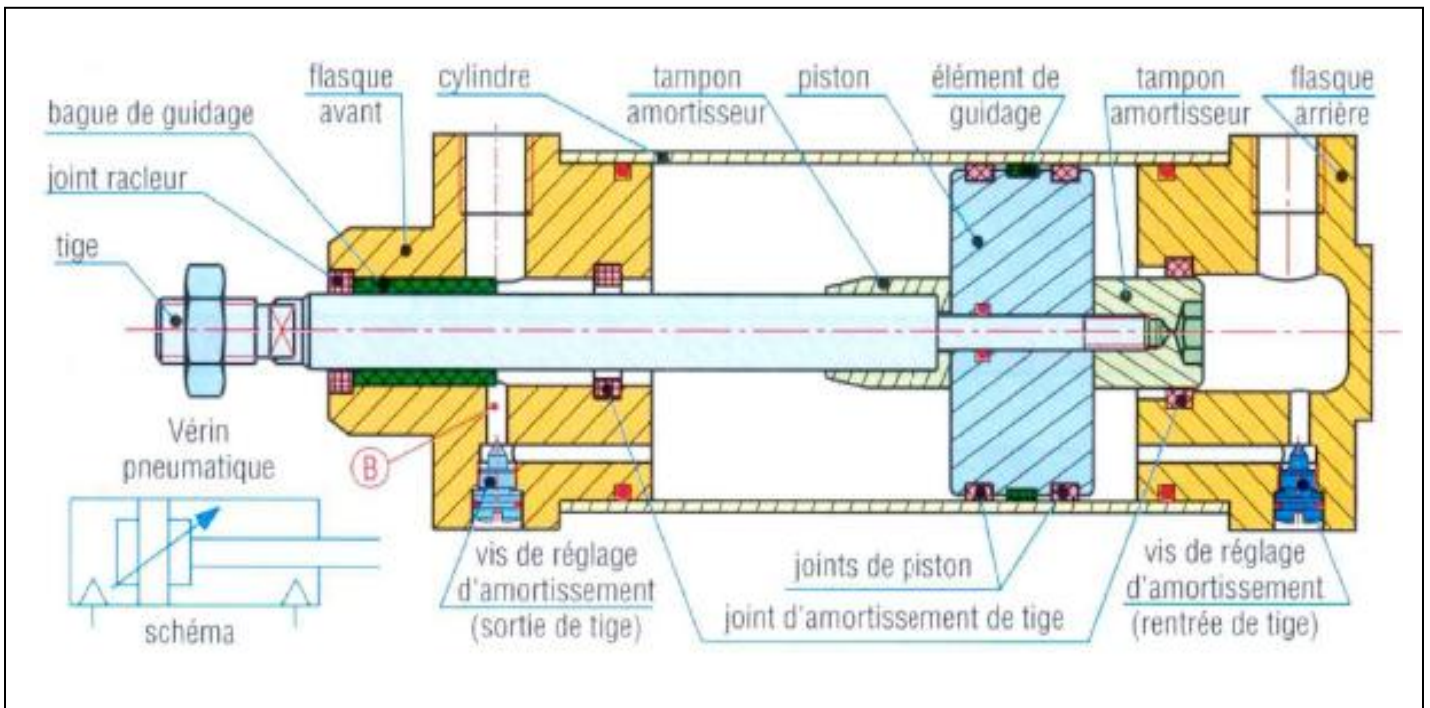


Figure 2.22 : Constitution d'un vérin pneumatique double effet à amortissement réglable des deux côtés [3]

2.2.4- Les vérins spéciaux :

Ce sont des variantes particulières des cas précédents, ils présentent les mêmes options possibles : amortissement, ...

➤ **Vérin à tige télescopique :**

Simple effet et généralement hydraulique, il permet des courses importantes tout en conservant une longueur repliée raisonnable.

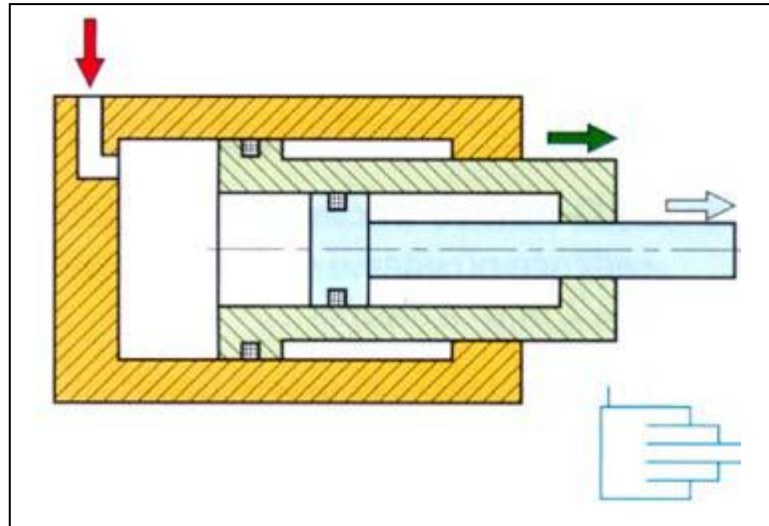


Figure 2.23 : Vérin simple effet à tige télescopique [3]

➤ **Vérin rotatif :**

L'énergie du fluide est transformée en mouvement de rotation ; par exemple, vérin double effet entraînant un système pignon-crémaillère. L'angle de rotation peut varier entre 90 et 360°. Les amortissements sont possibles.

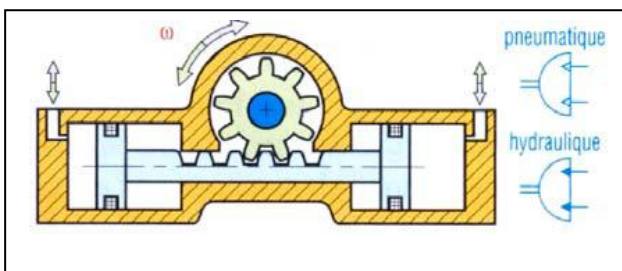


Figure 2.24 : Exemple de réalisation d'un vérin rotatif (unité de couple) [3]

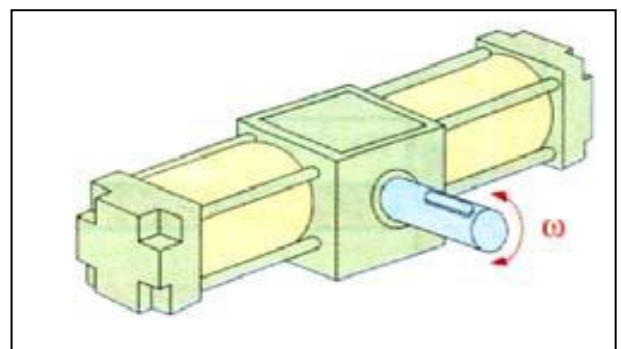


Figure 2.25 : Vérin rotatif, perspective [3]

➤ **Multiplicateur de pression :**

Souvent utilisé en oléopneumatique, il permet à partir d'une pression d'air (p en X), d'obtenir un débit d'huile à une pression plus élevée (P en Y : 10 à 20 fois plus élevée que p). Il est ainsi possible d'alimenter des vérins hydrauliques présentant des vitesses de tige plus précises.

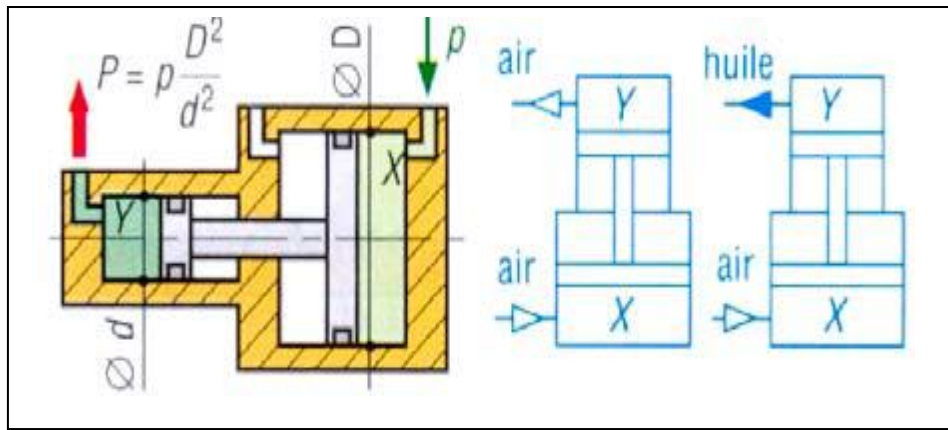


Figure 2.26 : Multiplicateur de pression [3]

➤ **Vérin sans tige :**

C'est un vérin double effet pneumatique. Il est deux fois moins encombrant qu'un vérin classique à tige, l'espace d'implantation est divisé par 2.

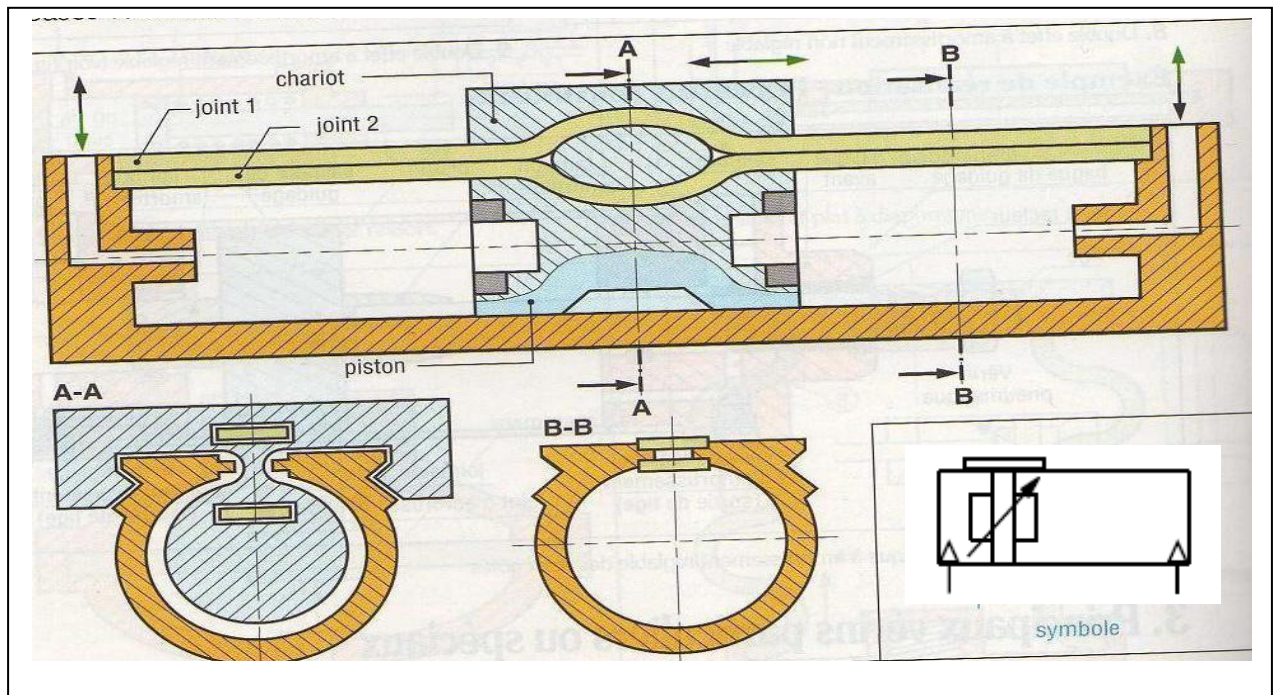


Figure 2.27 : Double effet sans tige avec amortissement des deux côtés [3]

Propriétés :

Pas de rotation de la tige ; vitesse de déplacement pouvant être élevées (3 m/s et plus) ; courses possibles très grandes (7 m et plus) ; pas de problème lié au flambage de la tige ; efforts et vitesses identiques dans les deux sens mais étanchéité plus fragile. De nombreuses variantes et combinaisons sont possibles : assemblages croisés...

➤ **Vérin double tige :**

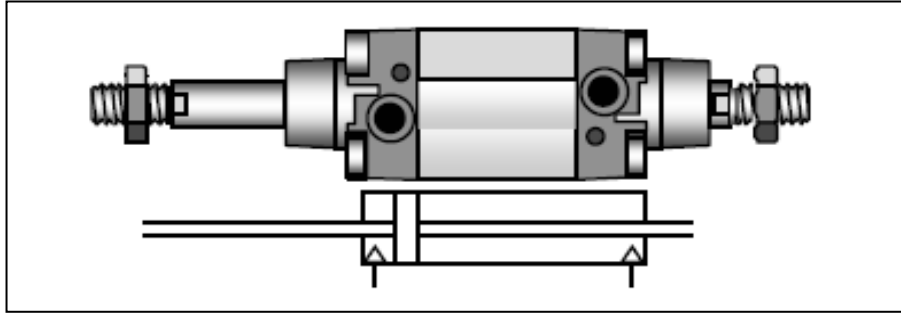


Figure 2.28 : Exemple et symbole d'un vérin double tige

2.2.5- Caractéristiques des vérins :

➤ **Efforts théoriques exercés :**

A partir de la pression d'utilisation, on calcule les efforts théoriquement développables en sortie ou en entrée de tige.

$p = \frac{F}{S}$	$F = p \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2$	F en daN (ou N)
$F = p \cdot S$	$F = 0,7854 \cdot p \cdot D^2$	D en cm (ou m)
p en bars (ou Pa)		

Effort en poussant

$F' = p \cdot S'$	$F' = p \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$
$F' = 0,7854 p (D^2 - d^2)$	

Effort en tirant

Exemple 1 :

Soit un vérin pneumatique avec $D = 100$ mm, $d = 32$ mm, calculons les efforts théoriques exercés en poussant et en tirant si la pression d'alimentation est de 7 bars.

En poussant : $F_{théorique} = p \cdot S = P \cdot \pi \cdot R^2 = 550$ daN

En tirant : $F'_{théorique} = p \cdot S' = P \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) = 493$ daN

Remarque : avec un vérin hydraulique de mêmes dimensions sous une pression de 240 bars, $F = 18850 \text{ daN}$ et $F' = 16920 \text{ daN}$ (34 fois plus).

➤ **Rendement :**

Les frottements internes au vérin (joints d'étanchéité et bagues de guidage) amènent une perte d'énergie et une baisse du rendement η (perte de 5 à 12 % pour les vérins pneumatiques de bonne construction).

Exemple 2 :

Reprenons les données de l'exemple 1. Si le rendement est de 88 % (perte de 12 %), l'effort réellement disponible en poussant est :

$$\eta \cdot F_{théorique} = \eta \cdot p \cdot S = 0,88 \cdot 550 = 484 \text{ daN} = F_{théorique} - F_{frottements}$$

➤ **Contre-pression d'échappement :**

Elle est employée pour régler et réguler (maintenir constante) la vitesse de la tige ; le réglage est obtenu par des régleurs placés à l'échappement. Cette contre-pression, de 30 à 40 % de la valeur de la pression de démarrage en pneumatique, amène un effort antagoniste supplémentaire.

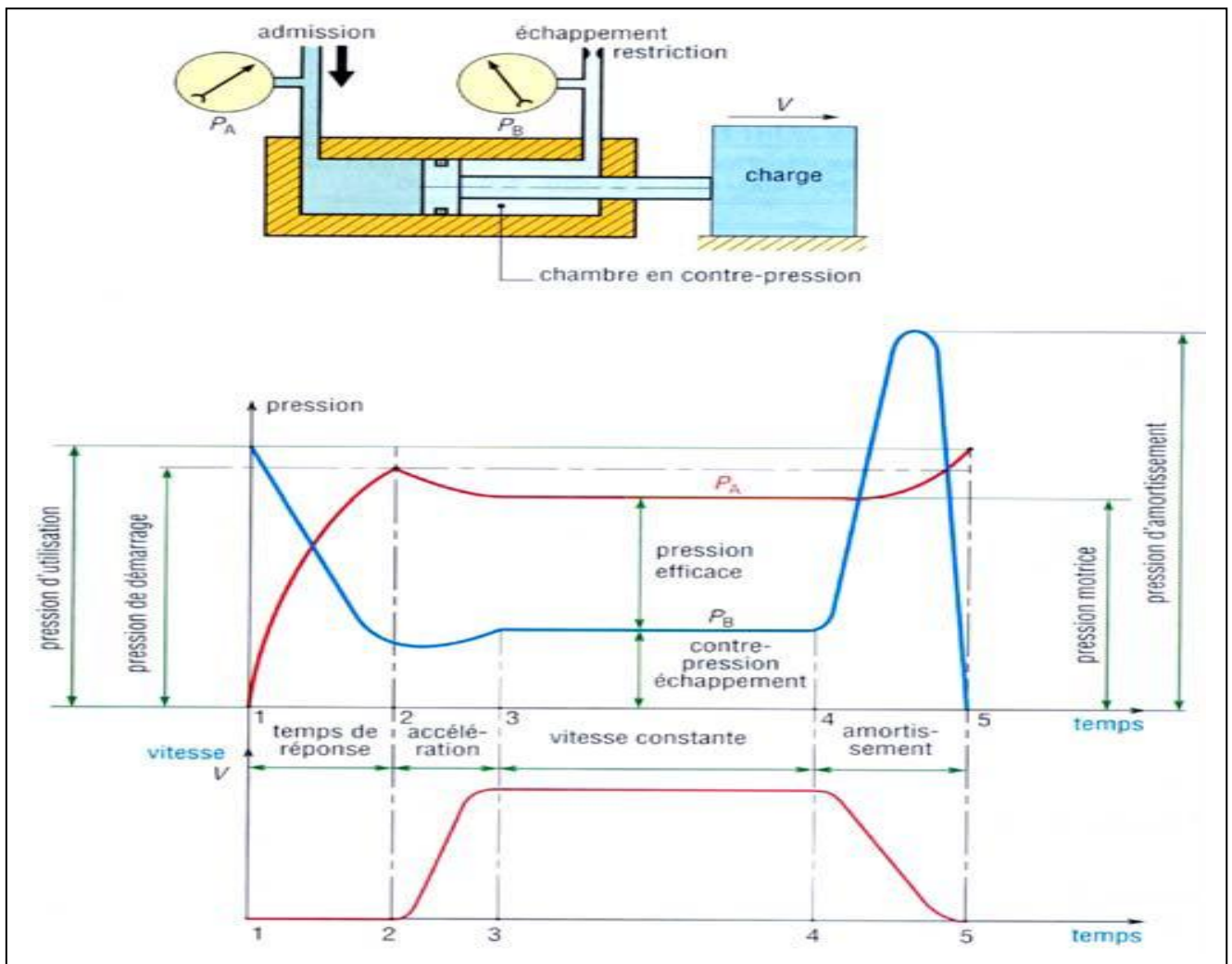


Figure 2.29 : Les différentes pressions mises en jeu dans un vérin [3]

- ✓ La courbe PA présente l'évolution de la pression dans la chambre d'admission du côté opposé à la tige.
La pression monte progressivement puis atteint le seuil maximal inférieur ou égal à la pression p . La pression au moment du démarrage dépend de l'effort résistant à l'extrémité de la tige.
Puis la sortie de tige a lieu. La pression chute alors dans la chambre A et sa valeur va dépendre de la vitesse du vérin.
En fin de course, la pression remonte à la valeur p .
- ✓ La courbe PB figure l'évolution de la contrepression dans la chambre à l'échappement du côté de la tige.
La pression chute de la valeur p à la valeur de la contre-pression, se maintient à cette valeur pendant la course puis devient nulle très peu de temps après l'arrêt du vérin.

Remarque :

*La pression de démarrage est la pression nécessaire à la mise en mouvement de la charge.
La pression motrice, plus petite, est celle qu'il faut pour maintenir le mouvement à vitesse constante.*

La pression d'amortissement freine la charge en fin de course.

La pression efficace est la pression réellement utile pour déplacer la charge (celle qui donne F_{charge}).

➤ **Taux de charge :**

Pour être certain d'utiliser le vérin dans de bonnes conditions, on définit le **taux de charge t** . C'est un paramètre qui tient compte à la fois des effets de la contre-pression et des frottements internes ; son emploi élimine les risques de broutements.

$$\text{Taux de charge } t = \frac{F_{charge}}{F_s}$$

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

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

Exemple 3 :

Reprenons les données de l'exemple 1 avec un taux de charge de 0,6. La charge que peut réellement déplacer le vérin, en poussant, à la vitesse envisagée et dans de bonnes conditions est :

$$F_{charge} = 0,6 \times 550 = 330 \text{ daN} = F_{théorique} - F_{frottements} - F_{contre-pression}$$

Les pertes dues aux frottements et à la contre-pression s'élèvent à : $550 - 330 = 220 \text{ daN}$.

2.3- Les Distributeurs :

2.3.1- Fonction :

Ils sont utilisés pour commuter et contrôler le débit du fluide sous pression, comme des sortes d'aiguillage, à la réception d'un signal de commande qui peut être mécanique, électrique ou pneumatique. Ils permettent de :

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

2.3.2- Symbolisation :

Un distributeur est caractérisé par :

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

➤ Principe de la symbolisation :

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

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

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

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

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

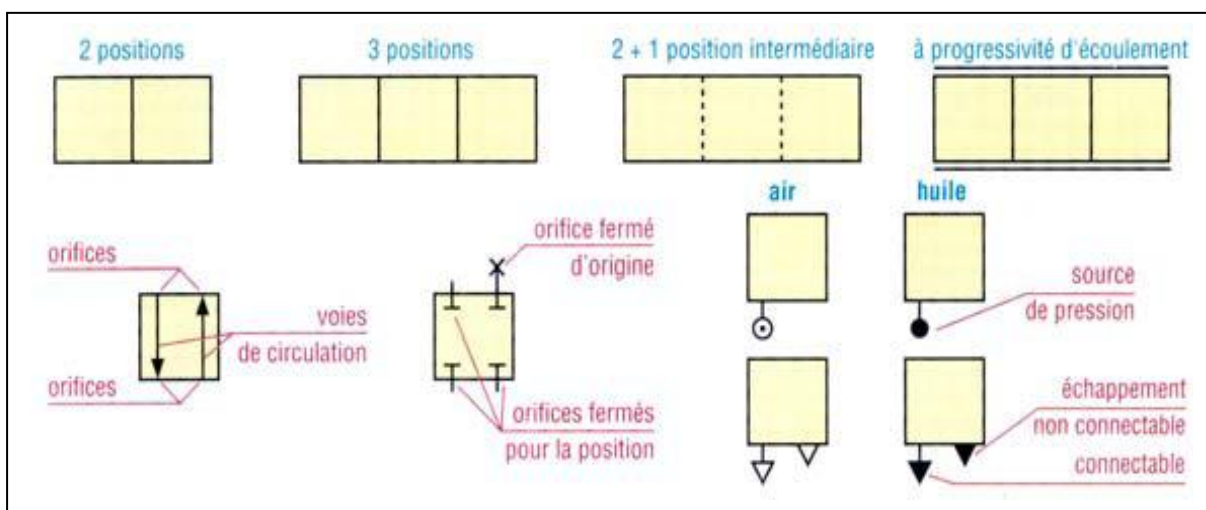


Figure 2.30 : Principe de symbolisation des distributeurs [3]

Position initiale : les lignes de raccordement entre réseau et distributeur aboutissent toujours à la case symbolisant la position initiale ou repos ; cette case est placée à droite pour les distributeurs à deux positions, au centre pour ceux à trois positions.

Le symbole de la pression (cercle) est mis à droite de la case de repos s'il n'y a qu'un échappement (triangle), au milieu s'il y a deux échappements.

Les orifices sont repérés par des lettres en hydraulique et par des chiffres en pneumatique.

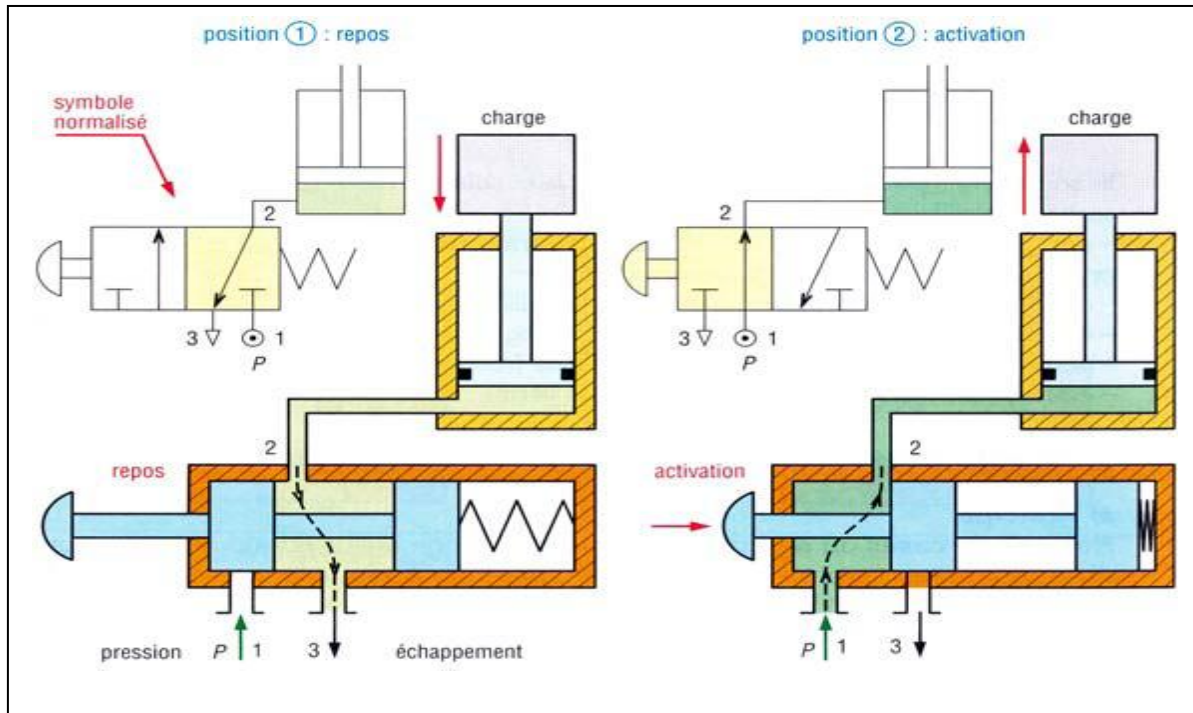


Figure 2.31 : Exemple de représentation et symbolisation des positions repos et activation (distributeur 3/2) [3]

➤ **Désignation des distributeurs :**

Elle tient compte du nombre d'orifices et du nombre de positions.

Exemple :

Distributeur 5/2 signifie distributeur à 5 orifices et 2 positions.

Distributeur normalement fermé (NF) : lorsqu'il n'y a pas de circulation du fluide à travers le distributeur en position repos (ou initiale), le distributeur est dit normalement fermé.

Distributeur normalement ouvert (NO) : c'est l'inverse du cas précédent ; au repos, il y a circulation du fluide à travers le distributeur.

Distributeur monostable : distributeur ayant une seule position stable. Dans ce type de construction, un ressort de rappel ramène systématiquement le dispositif dans sa position initiale, ou repos, dès que le signal de commande ou d'activation est interrompu.

Distributeur bistable : admet deux positions stables ou d'équilibre. Pour passer de l'une à l'autre, une impulsion de commande est nécessaire. Le maintien en position est assuré par adhérence ou par aimantation.

Leur fonctionnement peut être comparé à celui d'une mémoire à deux états : 0 ou 1, oui ou non.

Centre fermé, pour 4/3 ou 5/3 : en position neutre ou repos à centre fermé, le fluide ne peut pas circuler entre les chambres et les échappements, ce qui bloque la tige ou l'arbre moteur. Il est intéressant pour un redémarrage sous charge.

Centre ouvert, pour un 4/3 ou un 5/3 : en position neutre, à centre ouvert, le fluide peut circuler librement. La purge des chambres et la libre circulation de la tige (libre rotation de l'arbre moteur) sont ainsi possibles. Ce cas est intéressant pour supprimer les efforts développés et faire des réglages.

Il existe d'autres types de centre pour ces distributeurs.

Principaux distributeurs et principaux dispositifs de pilotage		
symboles en pneumatique	symboles en hydraulique	symboles de pilotages
<p>2/2 N.F.</p>	<p>2/2 N.F.</p>	<p>général</p> <p>bouton poussoir</p> <p>levier</p> <p>pédale</p> <p>manuel</p>
<p>2/2 N.O.</p>	<p>2/2 N.O.</p>	
<p>3/2 N.F.</p>	<p>3/2 N.F.</p>	<p>poussoir</p> <p>ressort</p> <p>galet</p> <p>mécanique</p>
<p>3/2 N.O.</p>	<p>3/2 N.O.</p>	
<p>4/2</p>	<p>4/3</p> <p>centre fermé</p> <p>centre ouvert en H</p>	<p>1 enroulement</p> <p>2 enroulements inversés</p> <p>électro-aimant</p>
<p>5/2</p>	<p>centre tandem</p>	
<p>5/3</p> <p>centre ouvert</p>	<p>centre partiellement ouvert</p>	<p>hydraulique</p> <p>pneumatique</p> <p>par détente</p> <p>électro-aimant + distributeur pilote</p> <p>électro-aimant ou distributeur pilote</p> <p>distributeur pilote</p>
<p>N.F. : normalement fermé N.O. : normalement ouvert</p>	<p>1 (air) P (huile)</p>	

Tableau 2.2 : Normalisation des principaux distributeurs et des dispositifs de pilotages correspondants [3]

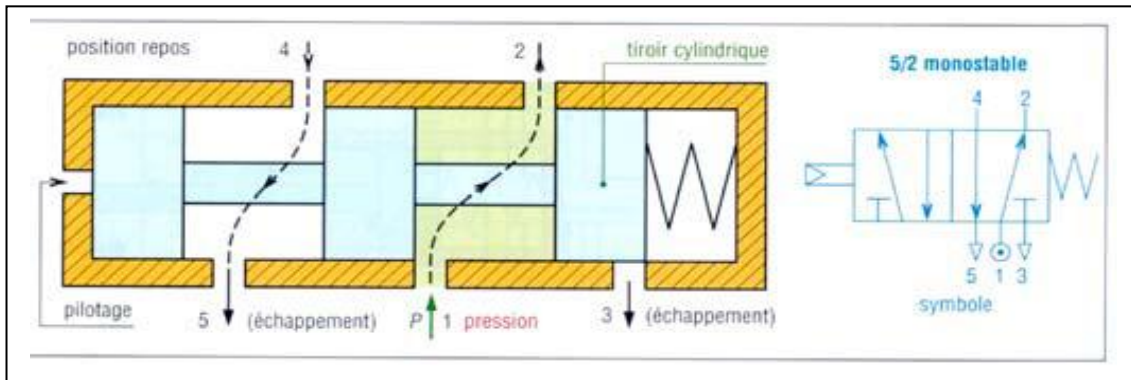


Figure 2.32 : Exemple de réalisation d'un distributeur 5/2 monostable (pression et pilotage : air comprimé)

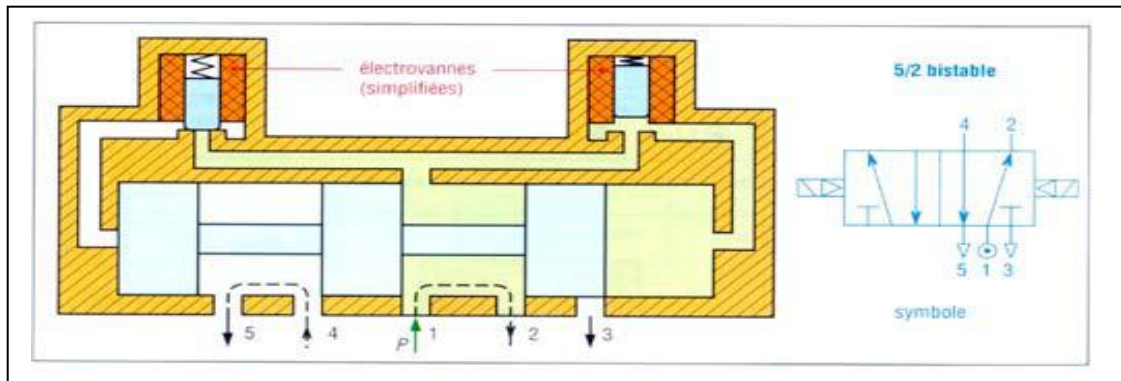


Figure 2.33 : Exemple simplifié d'un distributeur 5/2 bistable commandé par électrovannes (air comprimé)

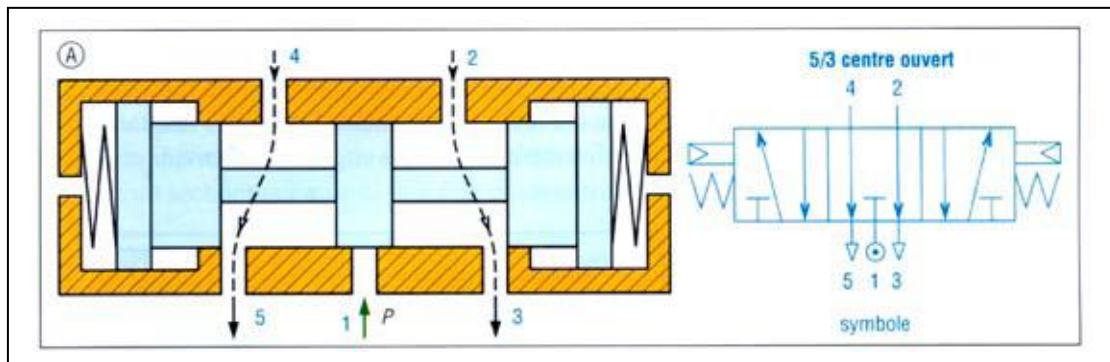


Figure 2.34 : Dessin simplifié d'un distributeur 5/3 à centre ouvert (pression P et pilotage : air comprimé)

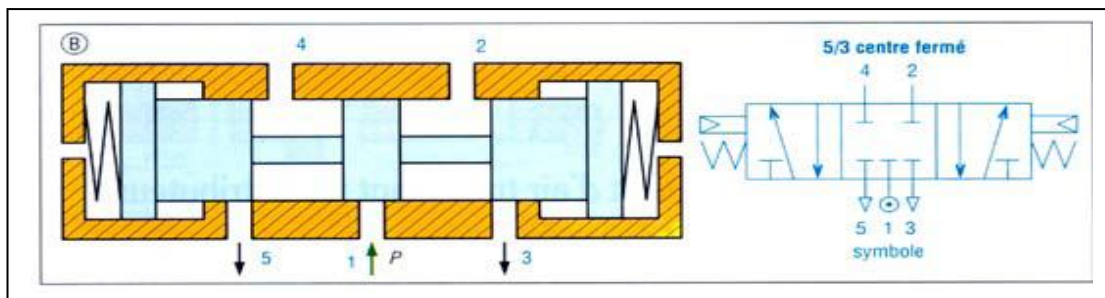


Figure 2.35 : Dessin simplifié d'un distributeur 5/3 à centre fermé

➤ **Principe du repérage des orifices :**

Le repérage des orifices par des chiffres et des pilotages par des nombres est normalisé :

- repère 1 pour l'orifice d'alimentation en air comprimé,
- repères 2 et 4 pour les orifices d'utilisation,
- repères 3 et 5 pour les orifices d'échappement,
- repère 12 pour l'orifice de pilotage mettant la voie 1-2 en pression,
- repère 14 pour l'orifice de pilotage mettant la voie 1-4 en pression,
- repère 10 pour l'orifice de pilotage ne mettant aucune voie en pression.

➤ **Symboles des commandes des distributeurs :**

La commande du changement de position est obtenue par déplacement du tiroir ou du ou des clapets, éléments mobiles essentiels des distributeurs.

Ce pilotage peut être simple ou double. Le simple pilotage est associé à un rappel par ressort.

Le dispositif de pilotage doit être indiqué pour chaque position du distributeur et apparaître dans la symbolisation.

2.3.3- Choix d'un distributeur pneumatique :

Avec un vérin simple effet, on peut utiliser un 3/2 en pneumatique. Un 4/3 avec un orifice fermé en hydraulique. Les 5/3 sont employés avec les moteurs pneumatiques...

Avec un vérin double effet pneumatique. On peut utiliser un 4/2, un 5/2 ou un 5/3. En hydraulique les 4/3 sont les plus utilisés. Il en existe de très nombreuses variantes.

➤ **Choix de la fonction (nombre d'orifices) :**

Ce choix dépend naturellement de l'actionneur à alimenter :

- 2/2 pour moteur à un sens de marche, blocage ou ventouse ;
- 3/2 pour vérin simple effet, ventouse ou purgeage de circuit ;
- 4/2 ou 5/2 pour vérin double effet ou actionneur deux sens de marche ;
- 5/3 pour les moteurs pneumatiques, ou les vérins double effet.
- Les distributeurs 4/3 sont très utilisés en hydraulique.

Les distributeurs à 5 orifices permettent des réglages indépendants, pour l'entrée et la sortie de tige, de la vitesse de la tige en agissant sur le débit d'air à l'échappement.

➤ **Choix de la position de repos :**

De ce choix dépend le comportement de l'actionneur alimenté lorsque l'énergie de commande est coupée.

Distributeur monostable :

- 2/2, le circuit est coupé au repos (passage fermé dans les deux sens) ;
- 3/2, le circuit d'utilisation est à l'échappement (purge), donc l'actionneur revient en position de repos s'il s'agit d'un vérin simple effet, ou est libre s'il s'agit d'un autre type d'actionneur.
- 4/2, la coupure de la commande provoque l'inversion du mouvement de l'actionneur.

En commande monostable, il faut donc être attentif aux conséquences d'une coupure d'alimentation sur la sécurité des personnes et des matériels. De plus, il faut prévoir dans la commande de maintenir l'ordre aussi longtemps que nécessaire, ce qui peut entraîner des consommations d'énergie non négligeables, voire excessives.

Distributeur bistable (double pilotage) : l'actionneur poursuit son action. Les distributeurs bistables remplissent, par construction, une fonction mémoire, rendant inutile le maintien de l'ordre sur le pilote, ce qui réduit la consommation d'énergie, mais peut éventuellement poser des problèmes de sécurité.

➤ **Choix de la commande ou du pilotage :**

Ce choix concerne principalement trois familles :

Pilote pneumatique : recommandé si atmosphère explosive, humide ou agressive. Ce type de pilotage est possible même avec une partie commande électrique, grâce à des interfaces électropneumatiques déportées et en armoire protégée.

Pilote électropneumatique : le déplacement du tiroir du distributeur est assuré par l'air comprimé, mais celui-ci est admis par l'intermédiaire d'une mini-électrovanne à clapet. Ce type de pilotage est le plus répandu car il est adapté aux parties commandes électriques tout en assurant une consommation électrique minimale.

Pilote électrique : le déplacement du clapet du distributeur est assuré directement par un électroaimant. Ces pilotes sont généralement réservés aux mini-vérins, ventouses et interfaces électropneumatiques.

Si le choix entre les trois technologies reste possible, il convient de vérifier les temps de commutation lorsque cette caractéristique est importante.

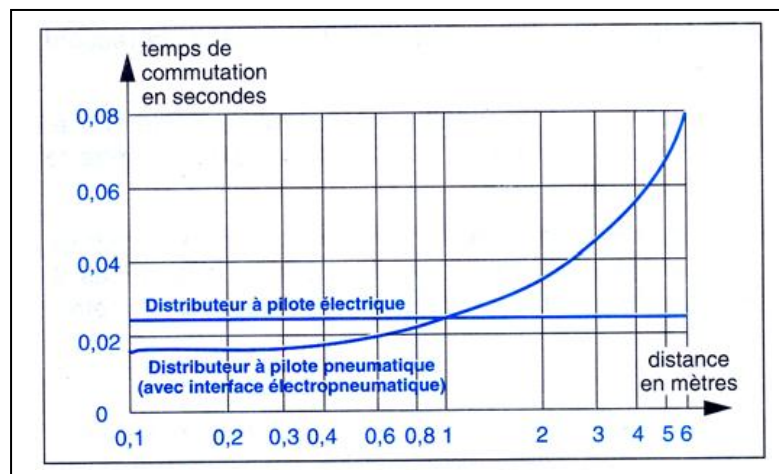


Figure 2.36 : Comparaison des temps de commutation (d'après Schneider)

Il existe d'autres types de commande : pilotage manuel ou pilotage mécanique.

➤ **Choix de la taille du distributeur :**

De ce choix dépend la régularité de déplacement, la vitesse maximale et le remplissage du vérin.

Méthode simplifiée : cette méthode est adaptée aux applications les plus courantes, c'est-à-dire pour des cylindrées inférieures ou égales à 10 litres et des vitesses inférieures ou égales à 0,1 m/s et un taux de charge de 0,5 ou moins. Elle consiste à choisir un distributeur dont les orifices de raccordement sont égaux ou immédiatement inférieurs à ceux du vérin à alimenter.

Exemple : Pour un vérin de 40 mm de diamètre, les orifices sont prévus pour des raccords de 1/4", le distributeur adapté aura des raccords de 1/4" ou 1/8".

Dimensionnement précis : il faut utiliser les abaques des constructeurs, déterminer le débit d'air traversant un distributeur et vérifier le K_v (Coefficient Ventil).

➤ **Détermination du débit d'air, facteur K_v :**

C'est une caractéristique essentielle. Le débit doit être suffisant pour remplir les chambres du vérin, ou du moteur, à la cadence voulue. Il dépend des caractéristiques de celui-ci : diamètre D , course C , temps de course, pression d'alimentation et taux de charge.

Facteur K_v : très utilisé, il permet de déterminer le distributeur à associer à un vérin et exprime le débit d'eau en litre (dm^3) par minute traversant le distributeur sous une perte de charge de 1 bar (différence de pression amont/aval de 1 bar). Le K_v peut être exprimé en m^3/s . Les fabricants proposent des abaques pour déterminer le K_v et la taille des distributeurs.

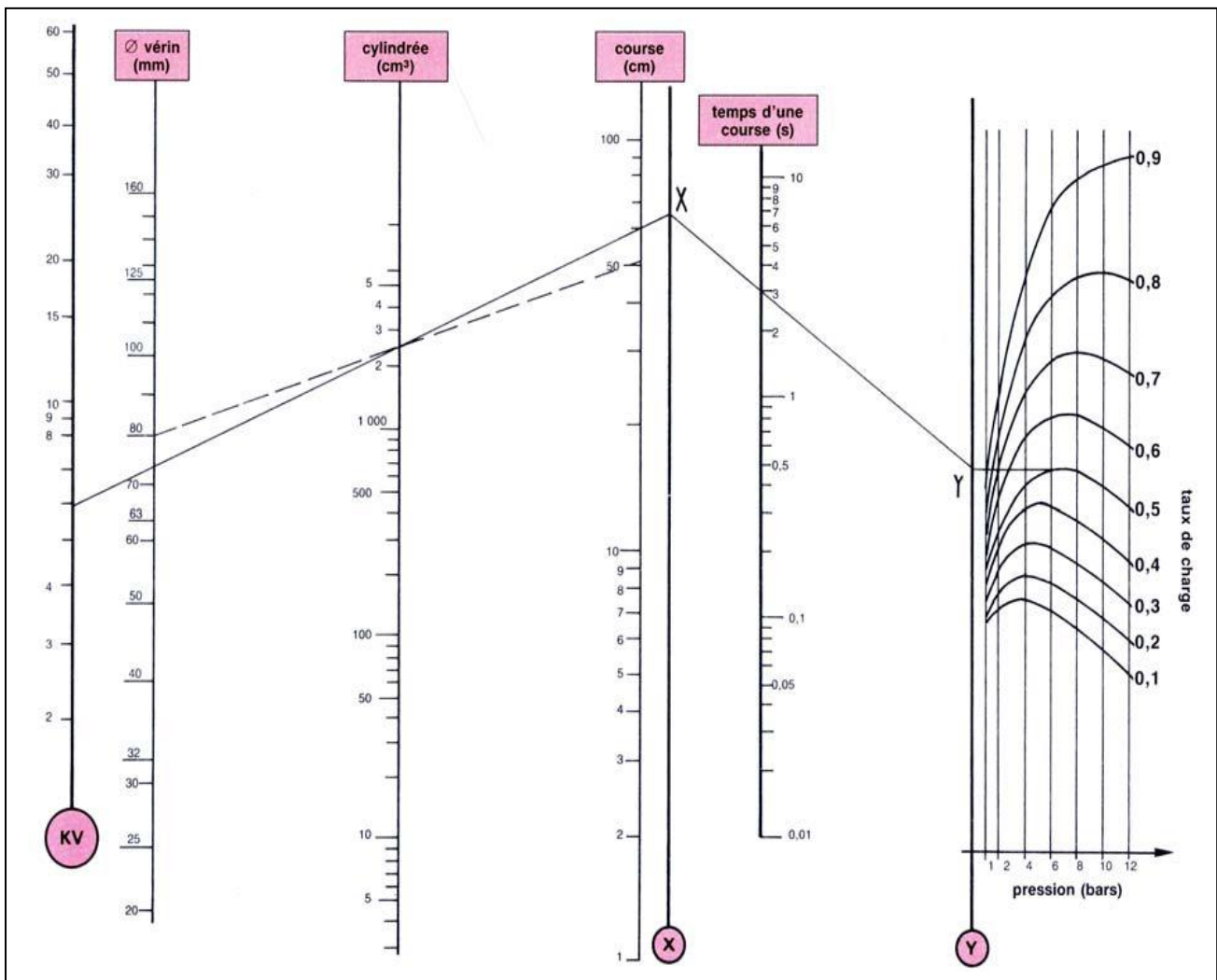


Figure II.37 : Détermination du K_v d'un distributeur.

- A partir du taux de charge et de la pression du vérin, on définit le point Y.
- A partir du temps de course, on obtient le point X.
- La course et le diamètre du vérin définissent sa cylindrée.

- La droite liant le point X et le point caractérisant la cylindrée du vérin permet d'obtenir le Kv minimum du distributeur.

2.3.4- Distributeurs particuliers :

➤ **Les Bloqueurs 2/2 :**

Distributeurs 2/2 (sortes de robinets d'arrêt) monostables, pilotés à distance, associés aux distributeurs 4/2 ou 5/2, ils réalisent le blocage de la tige notamment dans le cas d'un arrêt d'urgence ou de réglage. Des que la pression de pilotage (P_a) disparaît, suite a une coupure accidentelle de la pression d'alimentation, le piston du bloqueur remonte et emprisonne l'air contenu dans la chambre du vérin.

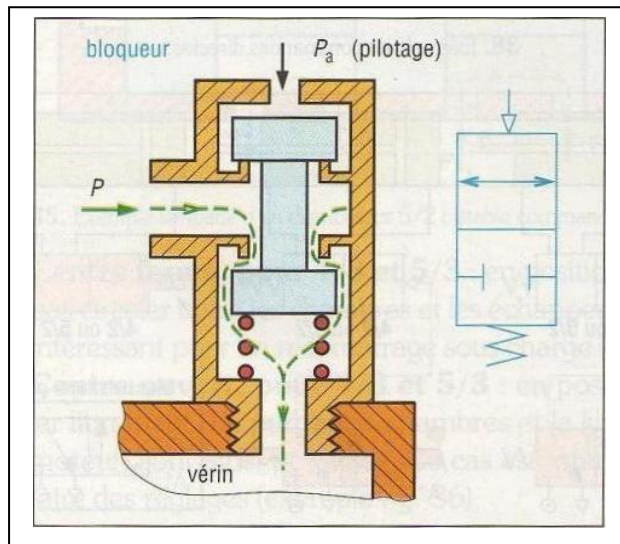


Figure 2.38 : Principe d'un bloqueur 2/2 (pneumatique)

➤ **Sectionneurs avancés :**

Ce sont des 3/2 monostables pilotés a distance. A la différence des bloqueurs, la coupure de la pression de pilotage (P_a) purge ou vidange le circuit d'air, supprimant ainsi les efforts développés. La tige du vérin est ainsi libre de se déplacer, ce qui est intéressant pour des réglages et certains arrêts d'urgence.

Règle : un sectionneur avancé doit être placé entre le vérin et le régleur de vitesse associé.

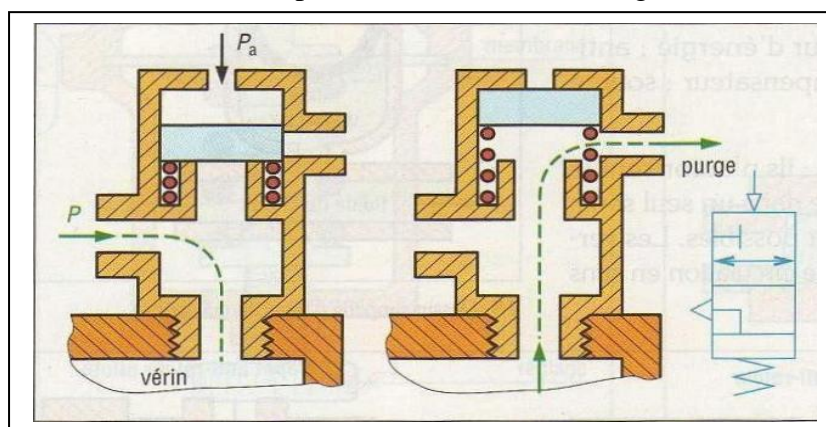


Figure 2.39 : Exemple de sélectionneur avancé

➤ **Démarreur progressif :**

Il est le complément optionnel d'un sectionneur général et permet la remise en route progressive et sans à-coup d'un circuit après purge. Le débit dans le circuit reste réduit tant que la pression n'a pas retrouvé un niveau suffisant.

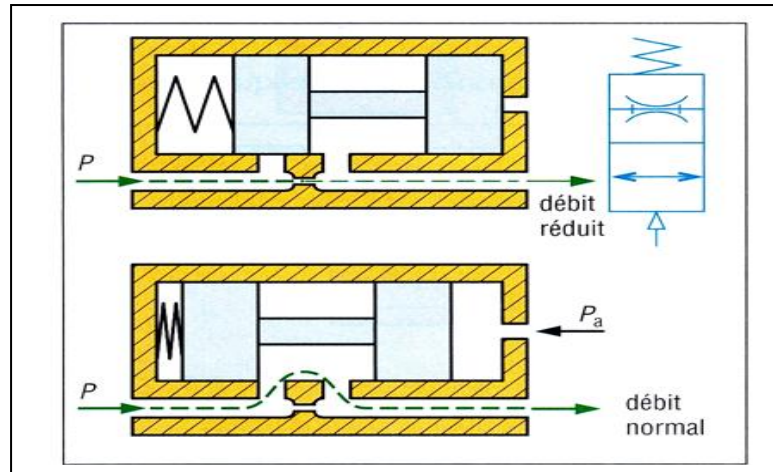


Figure 2.40 : Principe d'un démarreur progressif

2.4- Principaux accessoires pneumatiques :

2.4.1- Moteurs :

Il existe plusieurs moyens pour produire un mouvement de rotation continu à l'aide d'un débit d'air comprimé.

Le plus courant est le moteur à palettes qui est fréquemment utilisé dans les outillages pneumatiques (visseuses, meuleuses, perceuses, clefs à chocs, etc.).

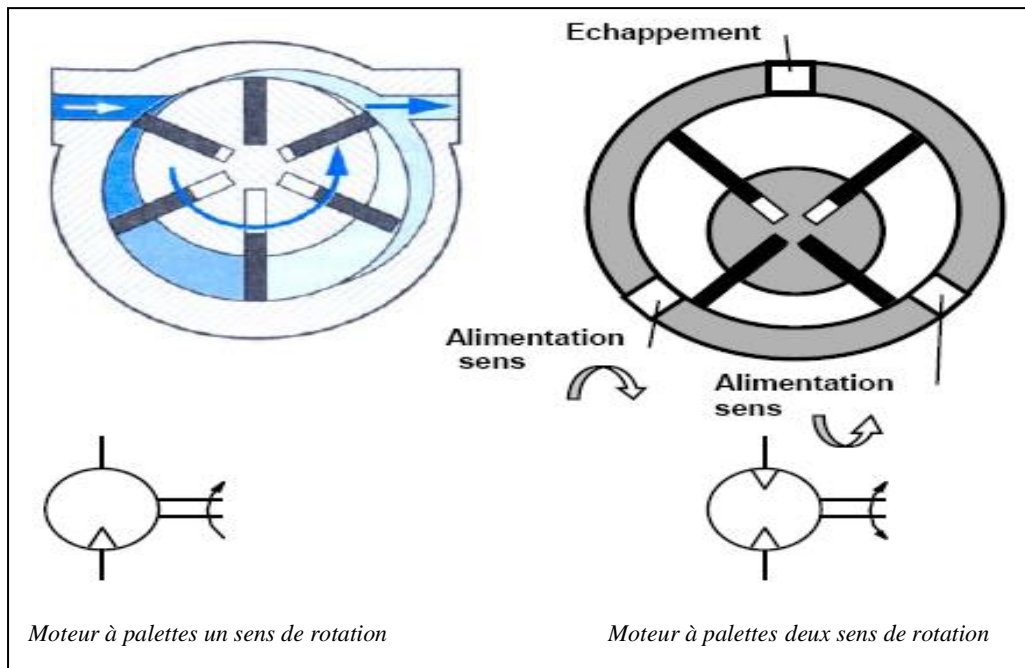


Figure 2.41 : Moteur pneumatique

Il existe d'autres types de moteurs pneumatiques commercialisés :

- moteurs pneumatiques à pistons en étoile ;
- moteurs pneumatiques à pistons à coulisseaux ;
- moteurs pneumatiques à engrenage ;
- moteurs pneumatiques à turbine.

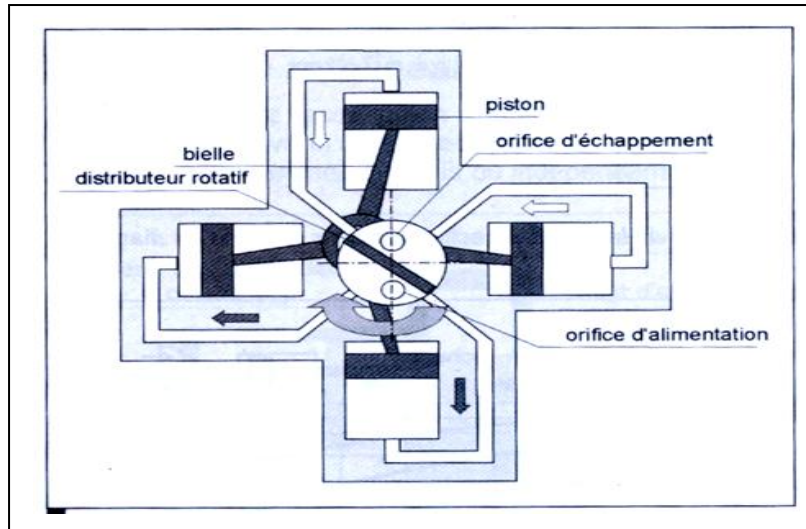


Figure 2.42 : Principe d'un moteur pneumatique à pistons en étoile

2.4.2- Ventouse, effet venturi (Générateur de vide) :

Le passage de l'air dans le rétrécissement augmente la vitesse de l'air et diminue sa pression ($p_2 < p_1$). Il se crée alors une dépression qui permet d'aspirer l'air de la ventouse, ou un fluide. Ce phénomène s'appelle l'effet Venturi.

L'air comprimé, en passant rapidement dans le venturi, provoque à cet endroit une dépression et entraîne avec lui l'air présent dans le conduit perpendiculaire. D'où l'aspiration disponible au niveau de la ventouse.

Une ventouse développe un effort

$$F = Pr \cdot S,$$

Avec S : surface de contact avec la pièce saisie et soumise à la dépression,

Et Pr : pression relative ($Pr = Patm - Pi$ et Pi est la pression interne = « dépression » créée)

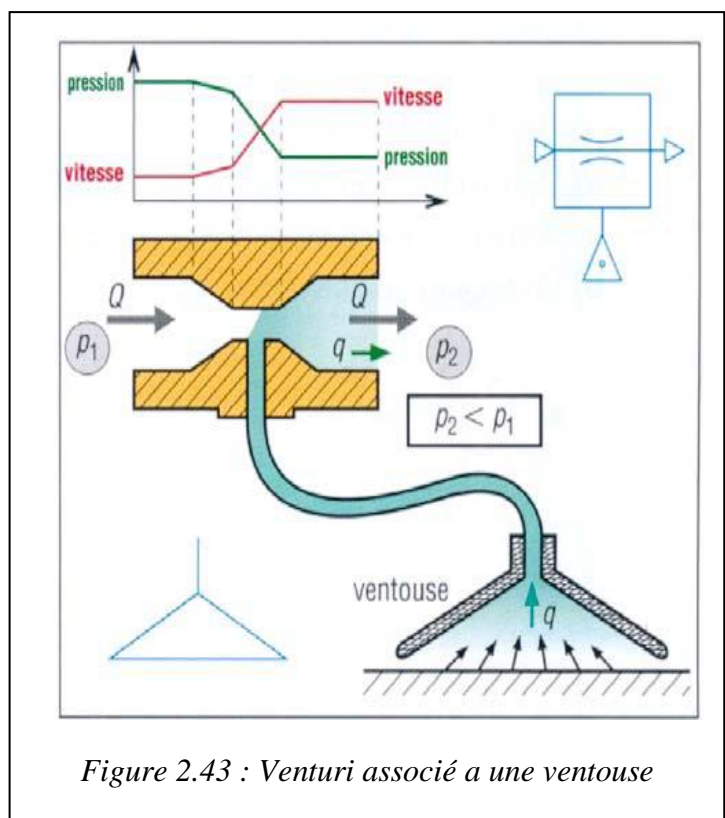


Figure 2.43 : Venturi associé à une ventouse

2.4.2-autres accessoires :

➤ **Accumulateur :**

Réservoir de fluide sous pression disponible en permanence, il régularise la demande (réserve tampon). L'enveloppe souple, vessie gonflée avec de l'azote, emmagasine ou restitue à tout moment l'énergie transmise par le fluide.

Utilisations : accumulateur d'énergie ; anti-bélier ; amortisseur ; compensateur ; source auxiliaire...

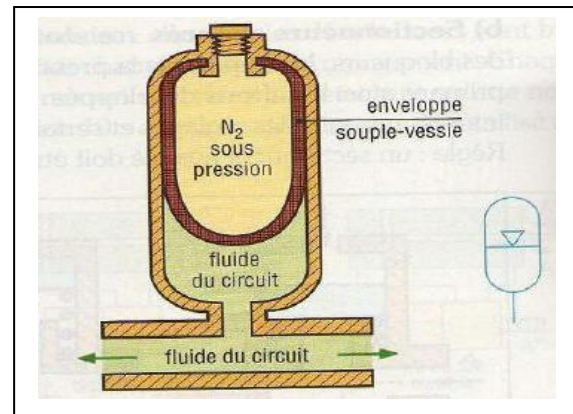


Figure 2.44 : Dessin simplifié d'un accumulateur

➤ **Clapets anti-retour :**

Ils n'autorisent le déplacement du fluide que dans un seul sens. Plusieurs technologies sont possibles. Les versions pilotées autorisent une circulation en sens inverse en cas d'activation.

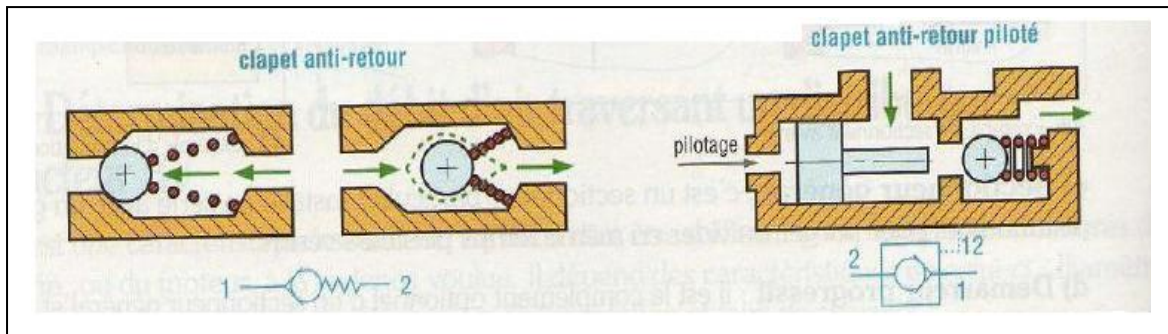


Figure 2.45 : clapet anti-retour et clapet anti-retour piloté

➤ **Échangeur air-huile :**

Il permet, dans un circuit pneumatique, d'utiliser un vérin hydraulique à la vitesse plus régulière (plus facile à réguler). Un échangeur alimente une seule chambre de vérin et la poussée obtenue est la même que si l'air comprimé était appliqué sur le piston.

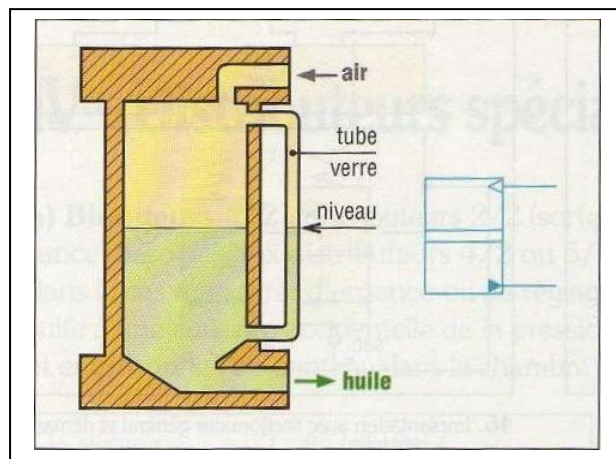


Figure 2.46 : Échangeur air-huile

➤ *Sélecteur de circuit :*

Le sélecteur de circuit permet la commande d'un récepteur à partir de deux circuits différents. Il oriente le fluide dans une direction ou une voie donnée, lorsque l'un est sous pression l'autre est obturé.

Il est utilisé lorsque on veut commander un distributeur a partir de deux vannes de commande. Il peut être remplacé par une cellule logique OU.

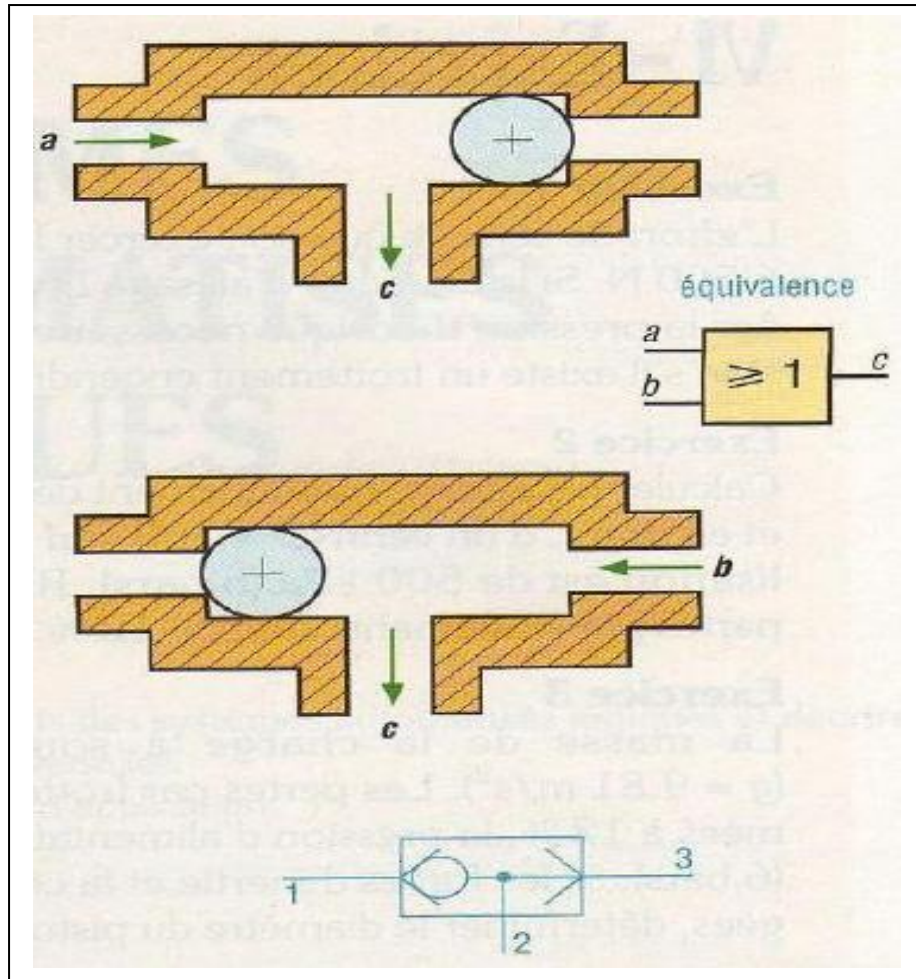


Figure 2.47 : Sélectionneur de circuit

2.5- Les capteurs :

2.5.1- Introduction aux capteurs :

Le déroulement correct de tout processus industriel est assuré grâce à de multiples capteurs qui fournissent les informations qu'il est nécessaire de contrôler et de traiter pour assurer la sécurité du fonctionnement et la qualité de production.

➤ Définition d'un capteur ;

Organe chargé de prélever une grandeur physique et de la transformer en grandeur exploitable, souvent de nature électrique. Le choix de l'énergie électrique vient du fait qu'un signal électrique se prête facilement à de nombreuses transformations difficiles à réaliser avec d'autres types de signaux.

La grandeur physique (ou mesurande) n'est généralement pas exploitable directement, elle constitue le signal d'entrée du capteur. On peut classer les grandeurs physiques en 6 familles, chaque capteur s'associant à l'une de ces 6 familles :

- *Mécanique* : déplacement, force, masse, débit etc.
- *Thermique* : température, capacité thermique, flux thermique etc.
- *Electrique* : courant, tension, charge, impédance, diélectrique etc.
- *Magnétique* : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique etc.
- *Radiatif* : lumière visible, rayons X, micro-ondes etc.
- *(Bio) Chimique* : humidité, gaz, sucre, hormone etc.

La grandeur exploitable est souvent de nature électrique. Elle constitue le signal de mesure (ou sortie ou réponse) du capteur. Elle est une image de la grandeur à mesurer et doit être indépendante des autres grandeurs perturbatrices.

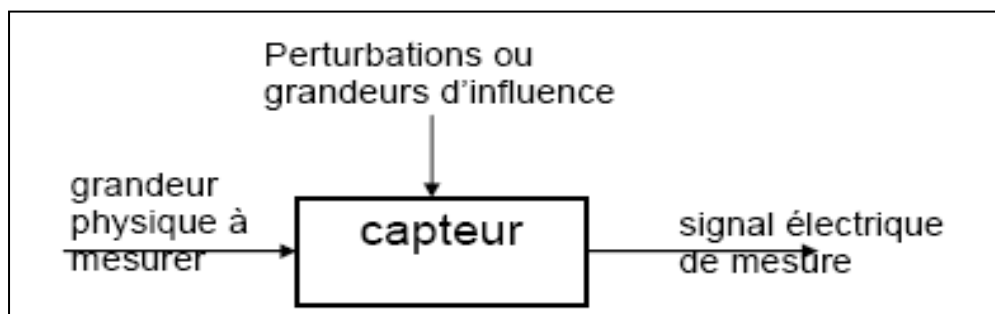


Figure 2.48 : définition d'un capteur

Les grandeurs d'influence sont des grandeurs étrangères qui, selon leur nature et leur importance, peuvent provoquer des perturbations sur le capteur. C'est donc une cause d'erreurs agissant sur le signal de sortie.

La plupart des grandeurs d'influence sont liées à l'environnement du capteur. Citons en particulier :

- la température (c'est la grandeur d'influence la plus répandue et la plus gênante),
- la pression environnante,
- les vibrations mécaniques ou acoustiques, les chocs, le temps,
- la position du capteur et sa fixation,

- l'humidité, la projection d'eau, l'immersion,
- les ambiances corrosives,
- les perturbations électromagnétiques,
- les rayonnements nucléaires,
- les accélérations et la pesanteur,
- l'alimentation électrique du capteur.

➤ **Constitution d'un capteur :**

Corps d'épreuve : élément mécanique qui réagit sélectivement à la grandeur à mesurer. Il transforme la grandeur à mesurer en une autre grandeur physique dite mesurable.

Transducteur : il traduit les réactions du corps d'épreuve en une grandeur électrique constituant le signal de sortie.

Transmetteur : mise en forme, amplification, filtrage, mise à niveau du signal de sortie pour sa transmission à distance. Il peut être incorporé ou non au capteur proprement dit.

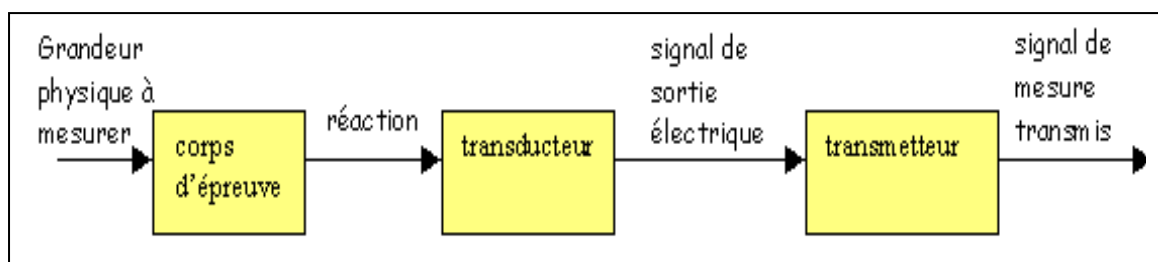


Figure 2.49 : constitution d'un capteur

➤ **Transmission du signal de mesure :**

Selon le type de capteur, le signal électrique de mesure peut être de différentes natures : analogique, numérique ou logique.

Signal de mesure *analogique* : il est lié au mesurande par une loi continue, parfois linéaire, qui caractérise l'évolution des phénomènes physiques mesurés. Il peut être de toute nature :

- courant 0 - 20 mA, 4 - 20 mA
- tension 0 - 10 V, 0 - 5 V

Signal de mesure *numérique* : il se présente sous la forme d'impulsions électriques générées simultanément (mode parallèle, sur plusieurs fils) ou successivement (mode série, sur un seul fil). Cette transmission est compatible avec les systèmes informatiques de traitement.

Signal de mesure *logique* : il ne compte que deux valeurs possibles, c'est un signal tout ou rien.

Type de capteur	Type de signal de sortie	Appellation	Exemple
Analogique	Analogique bas niveau	Capteur	Sonde pH - 50 mV/unité pH
	Analogique haut niveau	Capteur transmetteur	Capteur pression 4 - 20 mA
Numérique	Numérique absolu	Codeur absolu	Capteur de position angulaire
	Numérique incrémental	Codeur incrémental	Capteur de vitesse
Logique	Tout ou rien	Détecteur	Détecteur de niveau

Tableau 2.3 : les types de capteurs

2.5.2- Exemple de capteurs :

2.5.2.1- Les capteurs de position :

On distingue :

- Les détecteurs de présence à action mécanique
- Les détecteurs de proximité.

✓ Détecteurs de présence à action mécanique

Encore appelés interrupteurs de fin de course, interrupteurs de position, détecteurs de position ou, improprement, capteurs de fin de course, ce sont des commutateurs commandés par le déplacement d'un organe de commande (corps d'épreuve). Lorsqu'ils sont actionnés, ils ouvrent ou ferment un ou plusieurs circuits électriques ou pneumatiques. Ce sont des détecteurs Tout Ou Rien (TOR). (Ex : Capteurs de fin de course du vérin de la barre hydraulique).

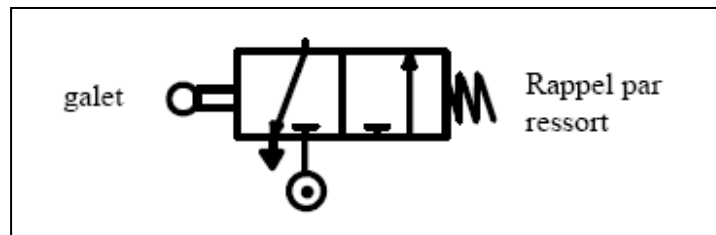


Figure 2.50 : représentation du capteur

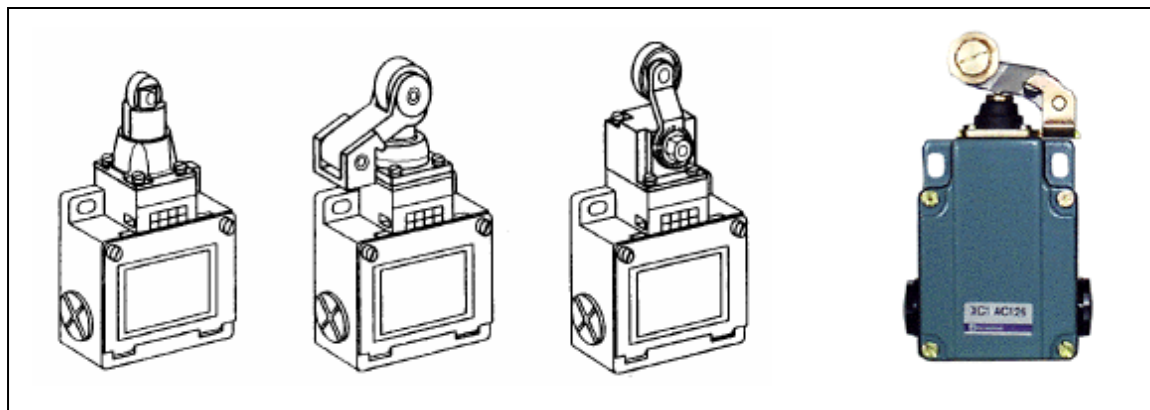


Figure 2.51 : exemples des détecteurs de présence à action mécanique

✓ détecteurs de proximité

Un détecteur de proximité délivre une information logique de présence sans contact physique avec l'élément à détecter.

On distingue comme principales technologies:

- Détecteurs électriques inductifs et capacitifs.
- Détecteurs électriques opto-électriques.
- Détecteurs magnétiques.
- Détecteurs pneumatiques.

Domaines d'emploi. Les détecteurs de proximité sont plus adaptés que les contacts mécaniques en cas :

- D'ambiances agressives ou poussiéreuses (inductifs et capacitif,-);
- De force de manœuvre insuffisante ou interdite (pièces fragiles, peintes de frais, etc.);
- De fréquence de fonctionnement élevée;
- De vibrations ou chocs;
- De nécessité d'une grande durée de vie.

Portée: varie de quelques dixièmes de millimètres, pour les détecteurs inductifs, à plusieurs mètres pour les détecteurs optoélectroniques.

Fréquence de commutation. C'est le nombre maximum de commutations par seconde : de quelques hertz à plusieurs khertz selon le détecteur. Le nb maxi de commutation correspond à la durée de vie.

2.5.2.2- Les capteurs électriques :

✓ Détecteurs inductifs et capacitifs.

Leur constituant principal est un oscillateur générant un champ électromagnétique de haute fréquence à l'avant de sa face sensible (100 à 600 kHz). L'entrée d'une pièce dans le champ rayonné entraîne un déséquilibre de l'oscillateur, qui, après amplification, commande l'étage de sortie (thyristor ou transistor).

Les détecteurs inductifs ne réagissent qu'aux pièces métalliques. Les détecteurs capacitifs sont plus spécialement utilisés pour détecter des éléments non conducteurs (bois, carton, verre, etc.).



Figure 2.52 : détecteurs inductifs

✓ Détecteurs photoélectriques.

Un détecteur de proximité photoélectrique est constitué d'un émetteur qui est généralement une diode électroluminescente et d'un récepteur de lumière (généralement un phototransistor), qui peut être intégrés ou non dans le même constituant.

Procédés de détection. Les détecteurs photoélectriques peuvent détecter la présence de leur cible de deux manières :

- Par blocage du faisceau par la cible passant dans le trajet de la lumière (dispositif barrage)
- Par réflexion directe du faisceau vers le récepteur par la cible lorsqu'elle passe (dispositif «reflex»).

Portée nominale S_n .

C'est la distance maximale conseillée entre l'émetteur et le récepteur, ou le réflecteur. Elle varie de:

- 2 à 30 mètres environ pour les dispositifs barrage
- 0,2 à 1,5 mètre pour les dispositifs à réflexion directe sur la cible.

Les détecteurs à fibres optiques ont des portées beaucoup plus réduites (de 3 à 250 mm environ).

Portée de travail recommandée S_a .

Elle doit être choisie inférieure à la portée nominale afin de se garantir une fiabilité de détection.

Fréquence maximale de commutation.

Elle est couramment de 15 à 500 Hz environ.

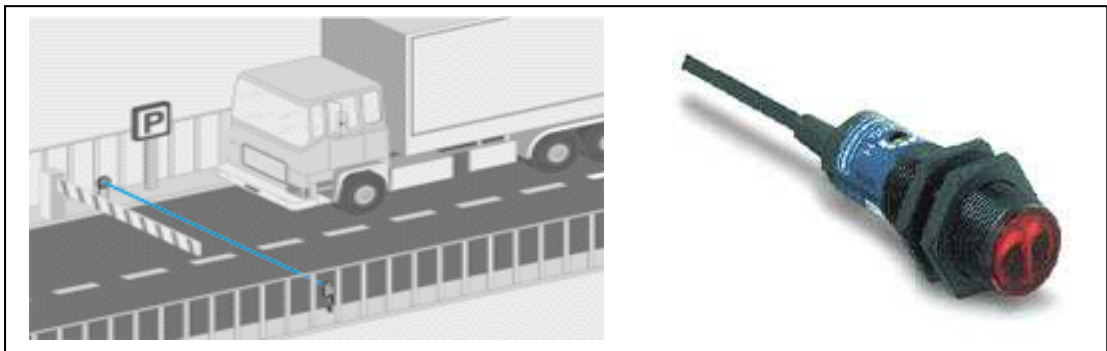


Figure 2.53 : exemple du détecteur photoélectrique

✓ Détecteurs magnétiques sans contact.

L'application la plus courante concerne la détection des fins de courses des vérins (voir TP de distribution de pellicules photos). Ils sont alors fixés directement sur le corps d'un vérin spécial à piston magnétique, un détecteur magnétique sans contact est conçu pour détecter la fin de course, ou le passage, du piston.

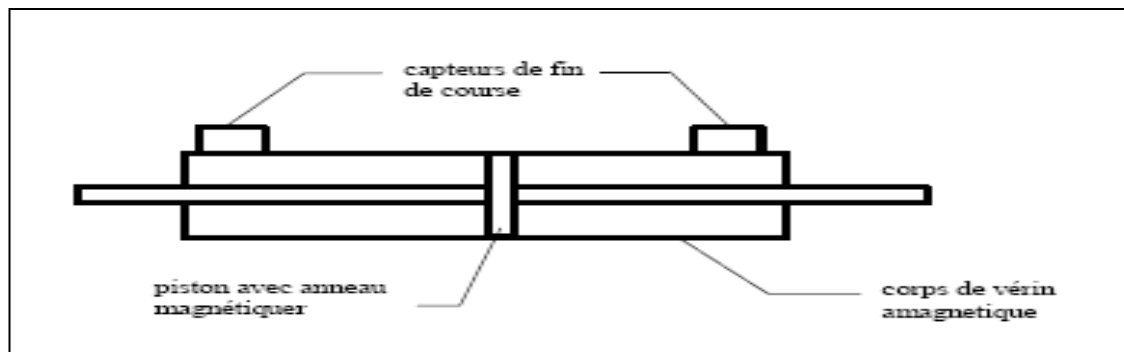
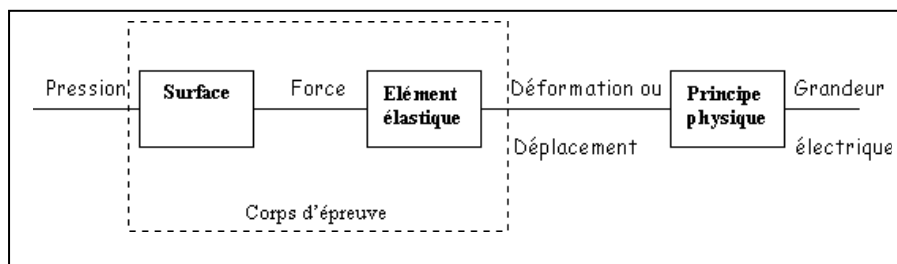


Figure 2.54 : détecteur magnétique sans contact

2.5.2.2- Les capteurs de pression :

➤ Principes :

Dans tous les cas, les capteurs de pression peuvent se ramener au schéma synoptique ci-dessous.



Le corps d'épreuve est l'élément mécanique qui, soumis aux variations de la grandeur à mesurer a pour rôle de transformer celle-ci en grandeur physique mesurable.

On distingue deux grandes familles :

- les capteurs utilisant un liquide
- Les capteurs à déformation de solide

Il est bon de distinguer les indicateurs de pression, qui permettent simplement de visualiser, des capteurs - transmetteurs qui délivrent un signal analogique (4-20 mA, 0-10 V .etc.) correspondant à la grandeur mesurée.

➤ Capteurs utilisant un liquide :

On trouve, parmi ces instruments le plus simple de tous les indicateurs de pression de l'industrie, le manomètre à liquide. Lorsque les pressions statiques sont faibles et que seule une indication visuelle est requise, on se sert de manomètres visuels. La figure ci-dessous montre respectivement les très simples manomètres à tube en U, à puits (ou réservoir) et incliné. Dans le cas de pressions élevées, on se sert de mercure comme liquide. Dans ce cas, c'est la position d'un flotteur à la surface du mercure qui définit le niveau de mercure, lequel à son tour définit la pression requise pour lui faire atteindre ce niveau.

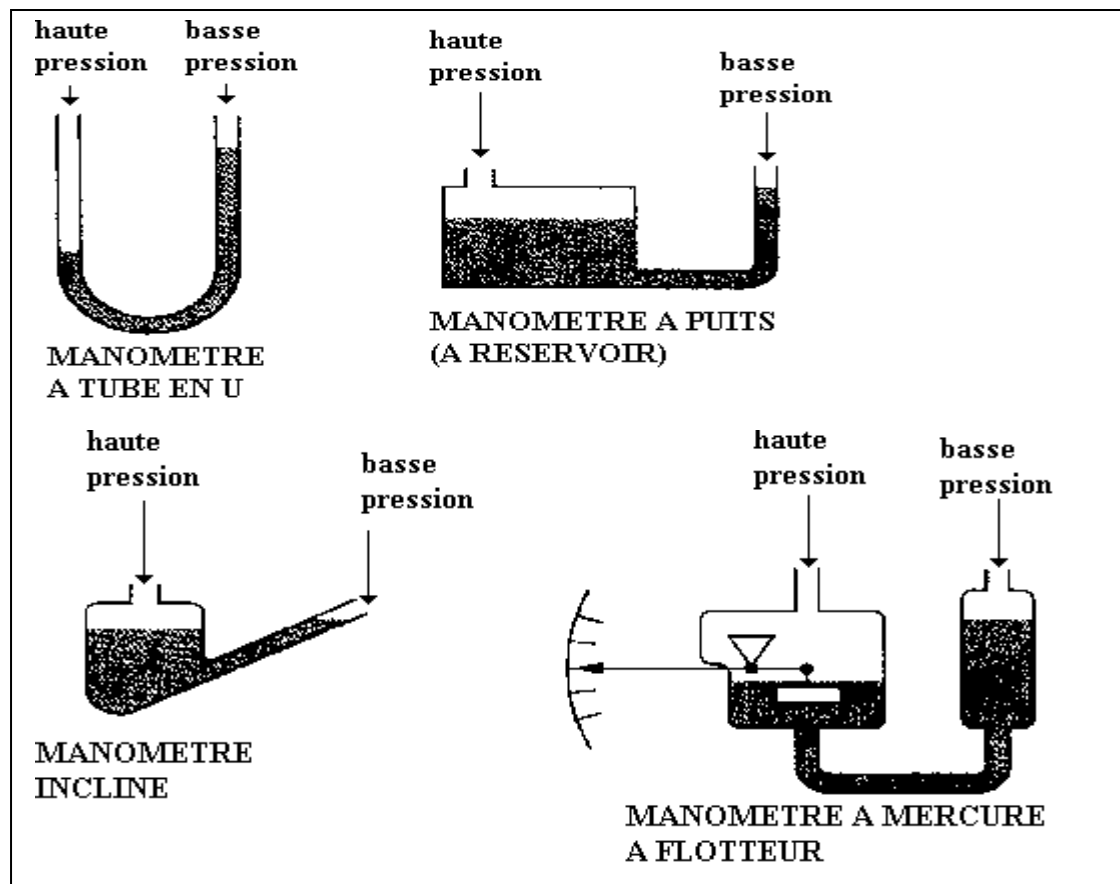


Figure 2.55 : exemples de capteurs de pression

➤ *Capteurs à déformation de solide :*

On utilise ces capteurs en cas de besoin d'une indication ou d'un enregistrement direct de la pression différentielle et là où un fluide de remplissage sera nocif pour le procédé.

Sous l'action de la pression, un solide se déforme de manière élastique. Différents matériaux sont utilisés, caoutchouc, matières plastiques, alliages métalliques, acier inoxydable.

La membrane peut être soumise à une pression sur l'une de ses faces ou à deux pressions (une par face). La pression peut agir directement sur la membrane ou indirectement par l'intermédiaire d'une tige ou d'une liaison hydraulique.

On trouve notamment :

- des manomètres à tube de Bourdon, à soufflet, à membrane dont jauge de contrainte, transformateur différentiel et effet capacitif
- Des manomètres à effet piézo-électrique

Le tableau dans la page suivante rappelle quelques critères de choix de ce type de capteurs.

<i>Principe</i>	<i>Type</i>	<i>Sous type</i>	<i>Critères</i>
Colonne de liquide	Manomètre à tube en U		-indicateur -faibles pressions
	Manomètre à tube incliné		-mesures des très faibles pressions -plus grande précision que le tube en U
Déformation de solide	Manomètre à tube de Bourdon		-indicateur à aiguille -peut fonctionner en déprimomètre -peut être équipé de contacts mini et maxi pour une utilisation en pressostat
		Manomètre à soufflet	-mesure de la pression atmosphérique jusqu'à des pressions de 25 bars avec une bonne précision -peut être associé à un tambour enregistreur
	Manomètre à membrane	Capteur à jauge de contrainte	-délivre un signal analogique fonction de la déformation de la jauge sous la pression -traitement d'un signal faible et influence de la température augmente la complexité et le coût du capteur
		Capteur à transfo. différentiel	-mesure d'une pression différentielle (courant induit par le déplacement de la membrane) -robuste et précision (-1%) -non conseillé pour les variations rapides de pression (quelques Hz)
		Capteur à effet capacitif	-la capacité électrique varie en fonction de la déformation de la membrane -mesure des très faibles pressions -excellent temps de réponse
Piézo-électrique	Capteur piézo-électrique		-la pression appliquée au quartz fait varier sa fréquence de résonance -temps de réponse très rapide -peu sensible (quelques millibars) -coût avantageux pour des pressions > 100 mbar

- *transformateur différentiel* : Il se compose d'un enroulement primaire, de deux enroulements secondaires et d'un noyau magnétique mobile. Suivant la position du noyau, le primaire induit une f.e.m dans chacun des deux secondaires. Le déplacement du noyau entraîne des variations inverses de ces deux f.e.m. La différence des ces deux f.e.m constitue le signal de sortie
- *La piézo-électricité* : est la particularité que possèdent certains cristaux (quartz, céramique, titanate de baryum...) de se polariser électriquement lorsqu'ils sont soumis à des contraintes mécaniques. La quantité de charges électriques produites est proportionnelle sur une large plage aux efforts appliqués

Chapitre 3

Notions de base sur automatique

3. 1- L'algèbre de BOOLE :

De nombreux dispositifs électroniques, électromécanique, (mécanique, électrique, pneumatique, etc.) fonctionnent en **TOUT** ou **RIEN**. Ceci sous-entend qu'ils peuvent prendre 2 états.

Exemple :

- arrêt & marche
- ouvert & fermé
- enclenché & déclenché
- avant & arrière
- vrai & faux
- conduction & blocage

Pour ces raisons, il est beaucoup plus avantageux d'employer un système mathématique n'utilisant que 2 valeurs numériques (exemple 0 ou 1) pour étudier les conditions de fonctionnement de ces dispositifs. [11]

L'algèbre de Boole est la logique utilisée par les ordinateurs, les automates, les systèmes automatisés pour manipuler les données, les informations et les signaux reçus ou émis.

La logique de Boole repose sur une variable binaire (ou signal numérique) pouvant avoir uniquement deux valeurs qui sont 0 ou 1. [3]

3.1.1- Lois fondamentales de l'algèbre de BOOLE :

L'algèbre de Boole est définie sur l'espace E_2 constitué des éléments $\{0, 1\}$. Il existe une relation d'ordre $0 < 1$ et trois opérations de base. **La complémentation** est une application de E_2 sur E_2 . Les opérations **union** (appelée encore « ou », « max ») qui est notée $+$ et **intersection** (appelée encore « et », « min ») qui est notée \cdot sont des applications de $E_2 \times E_2 \rightarrow E_2$. [5]

Axiomes

Pour qu'une algèbre puisse être dite de Boole, elle doit vérifier :

Commutativité	$a+b = b+a$	$a.b = b.a$
Associativité	$(a+b)+c = a+(b+c)$	$(a.b).c = a.(b.c)$
Distributivité	$a.(b+c) = a.b+a.c$	$a+(b.c) = (a+b).(a+c)$
éléments neutres	$a+0 = a$	$a.1 = a$
Complémentation	$a+\bar{a} = 1$	$a.\bar{a} = 0$

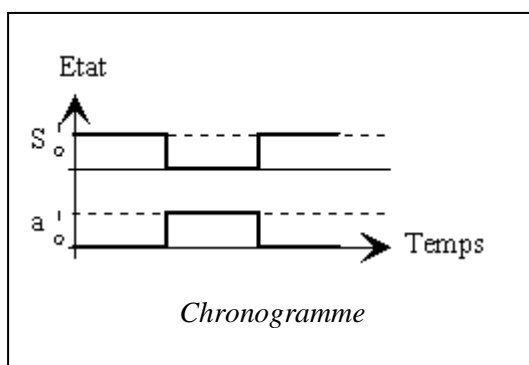
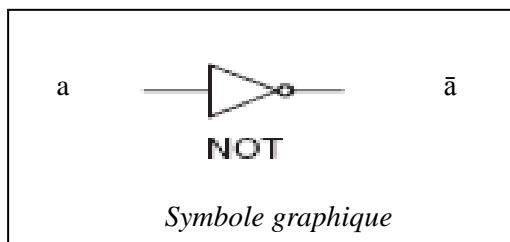
Tableau 3.1 : Les opérations de base de l'algèbre de Boole

3.1.2- Les fonctions de base :

a- LA FONCTION {NON} :

Soit a une variable booléenne, sa négation NON a appelée aussi complément de a (Notée \bar{a})

Entée a	Sortie $\bar{a}=S$
0	1
1	0

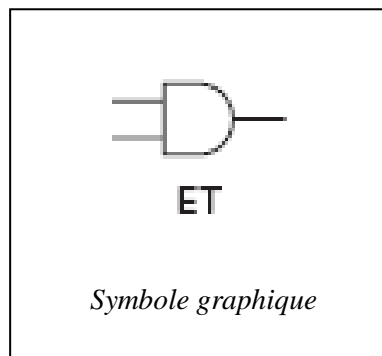


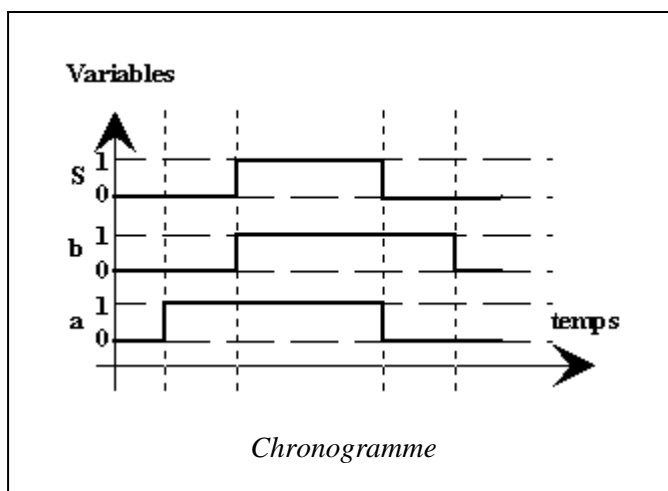
N.B : Un chronogramme est une représentation schématique temporelle de l'évolution d'un système automatisé en fonction des variations d'état d'une ou plusieurs entrées.

b- LA FONCTION {ET} :

Soit a et b deux variables booléennes, le résultat de a ET b est selon la table de vérité ci-dessous une variable boolienne.

Entrées		Sortie a ET b
a	b	
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



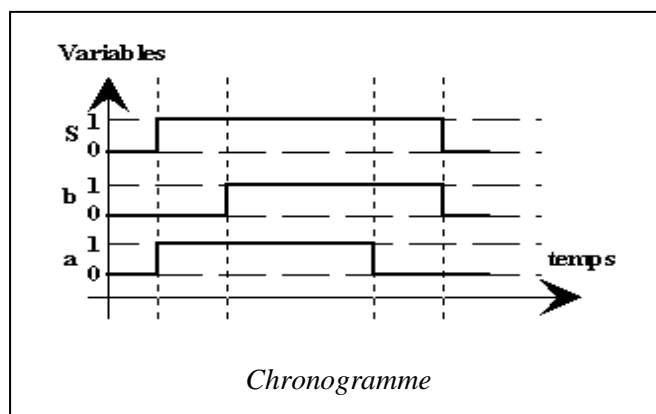
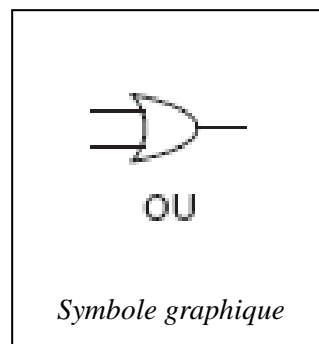


Remarque : L'opérateur ET est noté aussi "."

c- LA FONCTION {OU} :

Soit a et b deux variables booléennes, le résultat a OU b est selon la table ci-dessous une variable booléenne.

Entrées		Sortie a OU b
a	b	
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



L'opérateur OU peut être noté par "+".

d- **L'application Electrique et pneumatique des fonctions de base :**

L'application électrique et pneumatique des fonctions de base de l'algèbre de Boole est représentée dans le tableau ci-dessous :

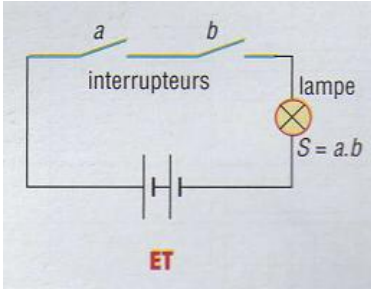
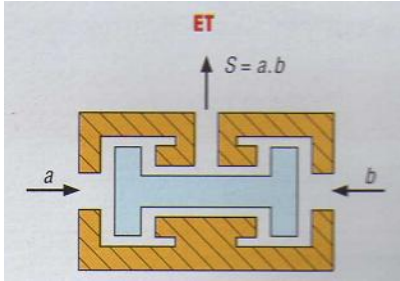
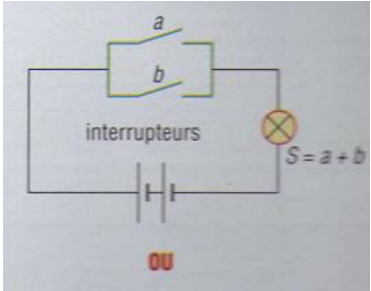
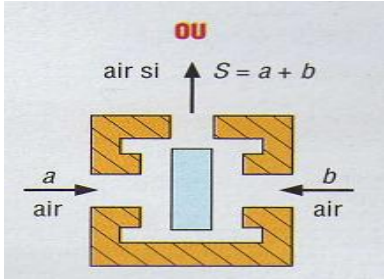
Fonction	Application Electrique	Application pneumatique
ET		
OU		

Tableau 3.2 : Exemple de L'application Electrique et pneumatique des fonctions ET et OU

e- **Autres fonctions de base :**

Il existe d'autres fonctions dérivantes de la combinaison des fonctions citées ci-dessus, ces fonctions seront données par le tableau suivant, ainsi que leurs symboles dans les différentes normes.

Opérateur ou fonction	Cas de 2 variables a et b				n variables																
	équation logique	symboles usuels		table de vérité	symbole	$s = 1$ si															
		AFNOR	ASGS																		
OUI	$S = a$			<table border="1"> <tr><td>a</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	S	0	0	1	1											
a	S																				
0	0																				
1	1																				
NON	$S = \bar{a}$			<table border="1"> <tr><td>a</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	S	0	1	1	0											
a	S																				
0	1																				
1	0																				
OU	$S = a + b$			<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1		une entrée à 1, autres à 0 ou 1
a	b	S																			
0	0	0																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	1																			
ET	$S = a.b$			<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1		toutes les entrées à 1
a	b	S																			
0	0	0																			
0	1	0																			
1	0	0																			
1	1	1																			
inhibition	$S = \bar{a}.b$			<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0		entrées inhibées à 0, autres à 1
a	b	S																			
0	0	0																			
0	1	1																			
1	0	0																			
1	1	0																			
NAND (NON ET)	$S = \overline{a.b} = \bar{a} + \bar{b}$			<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0		1 entrée à 1, 1 entrée à 0, autres à 0 ou 1
a	b	S																			
0	0	1																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	0																			
NI NOR (NON OU)	$S = \overline{a + b} = \bar{a}.\bar{b}$			<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0		toutes les entrées à 0
a	b	S																			
0	0	1																			
0	1	0																			
1	0	0																			
1	1	0																			
OU EXCLUSIF (XOR)	$S = a \oplus b$			<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0		1 seule entrée à 1, autres à 0
a	b	S																			
0	0	0																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	0																			
identité logique (XNOR)	$S = \overline{a \oplus b}$			<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1		toutes les entrées au même état, 0 ou 1
a	b	S																			
0	0	1																			
0	1	0																			
1	0	0																			
1	1	1																			

Tableau 3.3 : Operateurs logiques (fonctions de bases)

Remarque : N'importe quelle opération logique ou opérateur (fonction) peut être réalisée à partir de la combinaison des portes ET, OU et NON.

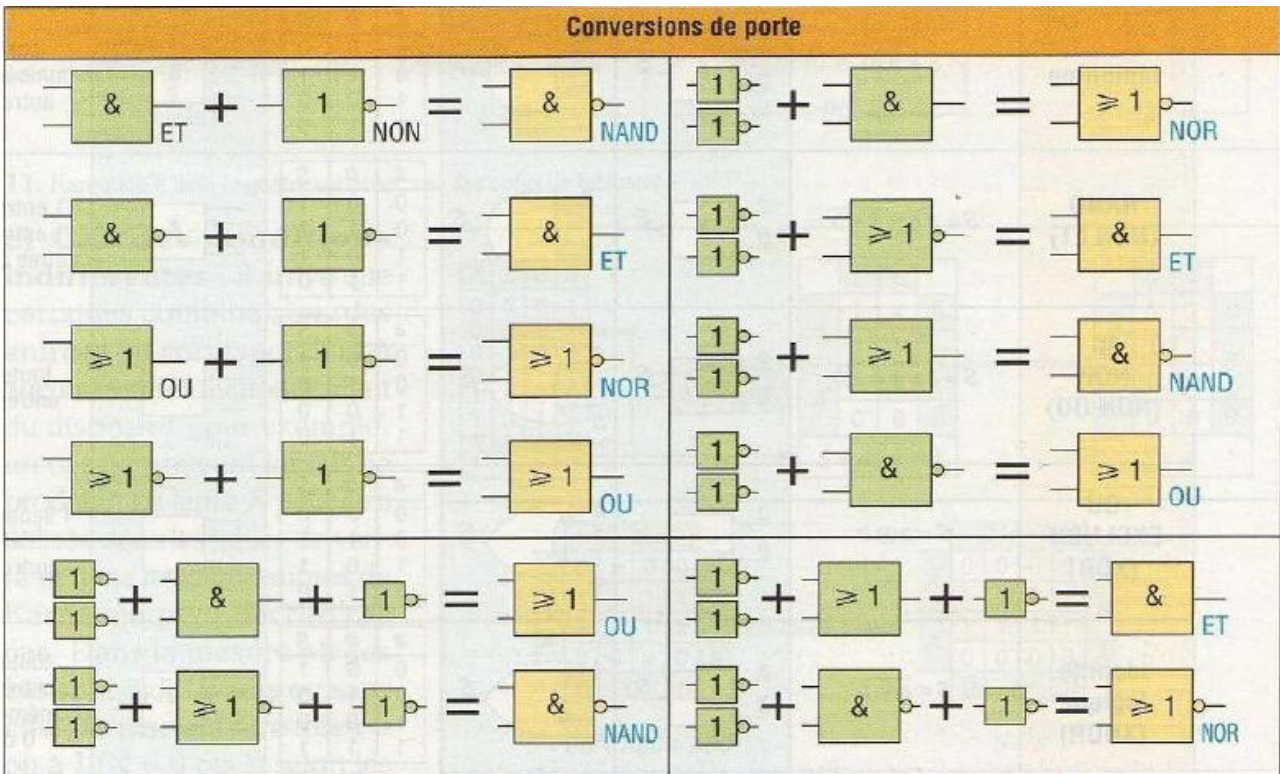
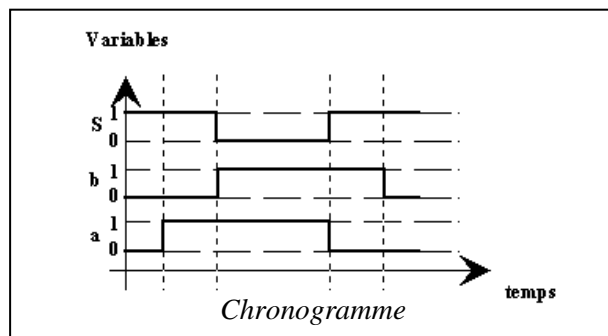
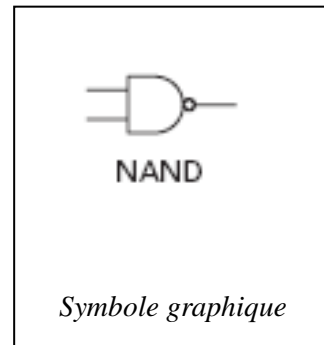


Tableau 3.4 : Réalisation d'opérateurs à partir des portes ET, OU et NON

✓ La fonction "NON ET" ou "NAND"

Cette fonction est la fonction complémentaire de la fonction ET. Une variable de sortie S, liée par la fonction "NON ET" à deux variables d'entrée a et b, ne prend la valeur 1 que si l'une au moins des variables d'entrée a la valeur 0.

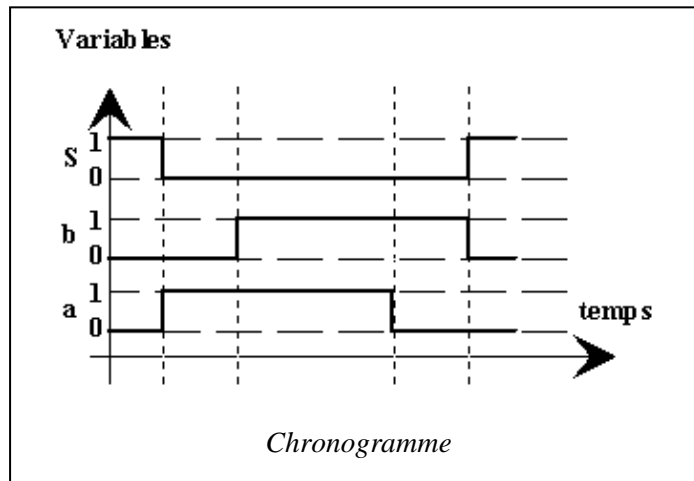
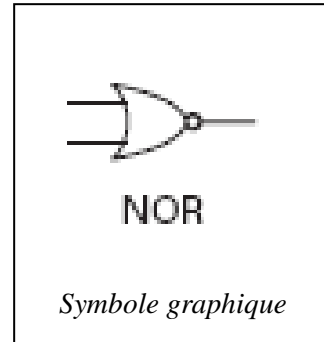
Entrées		Sortie S
a	b	
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



✓ *La fonction "NON OU" ou "NOR"*

Une variable de sortie S est liée à deux variables d'entrée a et b par une fonction "NOR" ne prend pas la valeur 1 que si aucune des variables d'entrée ne prend la valeur 1.

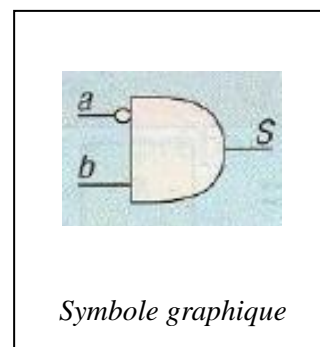
Entrées		Sortie S
a	b	
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



✓ *Fonction "INHIBITION"*

Une variable de sortie S est liée à deux variables d'entrée a et b par une fonction "INHIBITION" ne prend pas la valeur 1 que si la première variable a prend la valeur 0 et la deuxième variable b prend la valeur 1.

Entrées		Sortie $S = \bar{a}.b$
a	b	
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0



3.1.3- Théorèmes de MORGAN :

Théorème 1 :

La négation d'un produit de variable est égale à la somme des négations des variables :

$$\overline{x \cdot y \cdot z} = \overline{x} + \overline{y} + \overline{z}$$

On peut vérifier ce théorème par la table de vérité suivante :

x	y	Z	x . y . z	$\overline{x \cdot y \cdot z}$	$\overline{x} + \overline{y} + \overline{z}$
0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	1	1
0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	0	0

Tableau 3.5 : la table de vérité pour le théorème de MORGAN 1

Théorème 2 :

La négation d'une somme de variables est égale au produit des négations :

$$\overline{x + y + z} = \overline{x} \cdot \overline{y} \cdot \overline{z}$$

On peut vérifier ce théorème par la table de vérité suivante :

x	Y	z	x + y + z	$\overline{x+y+z}$	$\overline{x} \cdot \overline{y} \cdot \overline{z}$
0	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0

Tableau 3.6 : la table de vérité pour le théorème de MORGAN 2

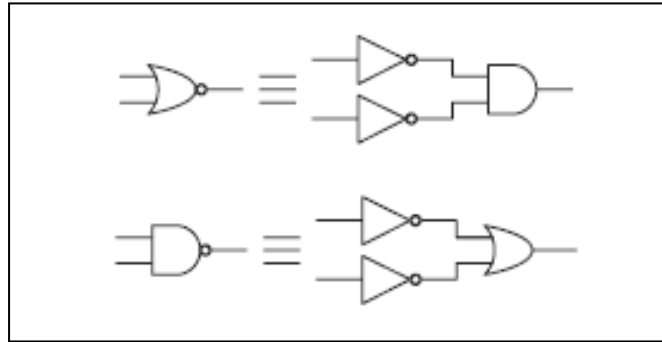


Figure 3.1 : Représentation graphique du théorème de Morgan

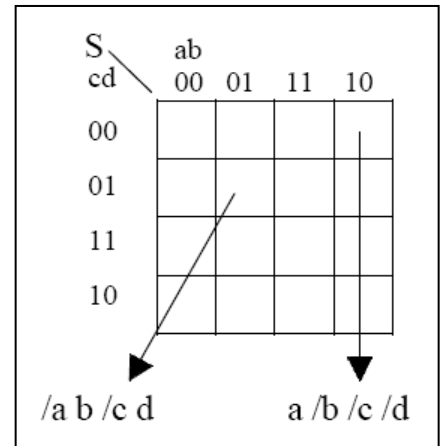
3.2- La méthode matricielle :

3.2.1- La table de KARNAUGH :

La méthode du tableau de Karnaugh va nous permettre d'effectuer des simplifications beaucoup plus rapidement que la logique booléenne sans avoir à écrire de longues équations. Le tableau de Karnaugh C'est un tableau de 2^n cases, n étant le nombre de variables.

- Sur les lignes et colonnes, on place l'état des variables d'entrée codées en binaire réfléchi (code Gray)
- Dans chacune des cases, on place l'état de la sortie pour les combinaisons d'entrée correspondante.

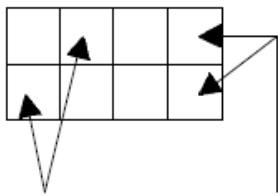
Dans l'exemple ci-contre, le nombre de variable est de 4 puisque le Tableau contient $2^4 = 16$ cases.



➤ **Simplification d'équations à partir du tableau de Karnaugh :**

La méthode consiste à mettre en évidence, par un procédé graphique, tous les termes d'une fonction logique qui ne diffèrent que par l'état d'une seule variable (termes dits adjacents). Si une fonction logique dépend de **N**e variables d'entrée, on aura 2^{Ne} produits possibles (principe de la table de vérité).

Pour cela on réalise des groupements de cases adjacentes. Ces groupements de cases doivent être de taille maximale (nombre de cases max.) et égale à un multiple de 2^n . On cesse d'effectuer les groupements lorsque tous les « 1 » appartiennent au moins à l'un d'eux.



cases non-adjacentes cases adjacentes

4	2	2	4
3	1	1	3
3	1	1	3
4	2	2	4

Les cases portant le même chiffre sont des exemples de cases adjacentes
 → regroupement possible.

Remarques :

- Une ou plusieurs cases peuvent être communes à plusieurs groupements,
- Pour extraire l'équation de la fonction logique, on ne retient que les variables dont l'état ne change pas à l'intérieur d'un groupement et on effectue la somme logique (OU logique) de toutes les expressions trouvées,
- Le regroupement de 6 cases est **impossible**.

➤ **Résumé de la méthode :**

- 1- On détermine le nombre de variables d'entrée afin de connaître la taille des tableaux.
- 2- On détermine le nombre de variables de sortie afin de définir le nombre de tableaux à effectuer.
- 3- Affecter aux différents produits de l'équation non simplifiée une case du tableau en respectant le code Gray.
- 4- Introduire la fonction logique dans le tableau en positionnant à « 1 » les cases qui valident la fonction de sortie.
- 5- Effectuer les groupements de cases adjacentes.
- 6- Sortir la fonction simplifiée en éliminant la ou les variables d'entrée qui changent d'état.

Exemple :

On a l'équation de fonctionnement S :

$$S = \bar{a}.\bar{b}.\bar{c}.\bar{d} + a.\bar{b}.\bar{c}.\bar{d} + a.b.\bar{c}.d + \bar{a}.\bar{b}.c.d + \bar{a}.b.c.d + a.b.c.d + a.\bar{b}.c.d + \bar{a}.\bar{b}.c.\bar{d} + a.\bar{b}.c.\bar{d}$$

Dans l'exemple ci-contre trois groupements sont possibles. Chacun d'entre eux va donner une partie de l'équation de fonctionnement de "S".

Le groupement 1 se fait sur une ligne donc indépendamment de "a" ou de "b" puisque ces deux variables changent d'état successivement. L'équation de ce groupement est : "c.d".

		ab				
	cd	00	01	11	10	
3	00	1	0	0	1	3
	01	0	0	1	0	
	11	1	1	1	1	1
3	10	1	0	0	1	3
				2		

Le groupement 2 se fait sur une colonne et deux lignes l'équation va dépendre de "a, b, d" et pas de "c" puisque "c" change d'état entre les deux lignes sans influencer sur la sortie. L'équation de ce groupement est : "a.b.d".

Le groupement 3 se fait sur deux lignes et deux colonnes, ici ce cas est particulier puisque les cases ne sont pas contiguës, mais il est possible. L'équation va dépendre des variables "b, d" et non des variables a, c puisque ces variables changent d'état. L'équation de ce groupement est : "b.d".

L'équation de fonctionnement de S devient :

$$S = c.d + a.b.d + \bar{b}.\bar{d}$$

On constate, pour un tableau de 16 cases, qu'un regroupement de 2 cases donne un élément d'équation à 3 variables, qu'un regroupement de 4 cases donne un élément d'équation à 2 variables. On peut en conclure qu'un regroupement d'une seule case donnera un élément d'équation à 4 variables qu'un regroupement de 8 cases donnera un élément d'équation à 1 variable, qu'un regroupement de 16 cases donnera une équation de fonctionnement toujours vraie.

3.2.2- La logique combinatoire :

Un dispositif combinatoire est un dispositif dont l'état des fonctions de sortie est entièrement déterminé par la combinaison des variables d'entrée, donc la résolution de ses problèmes ne fait intervenir que des variables d'entrée qui sont nécessairement précisées dans l'énoncé. La résolution de ces problèmes se fait par le tableau de vérité qui présente toutes les configurations possibles des variables d'entrée. Par exemple pour quatre variables d'entrée nous avons 16 lignes et 5 colonnes soit 80 cases à remplir; on peut aussi résoudre ce problème par le tableau de Karnaugh, pour trouver l'équation du circuit on regroupe les '1' qui se trouvent sur la colonne de sortie pour la table de vérité ou les '1' des cases du tableau de Karnaugh.

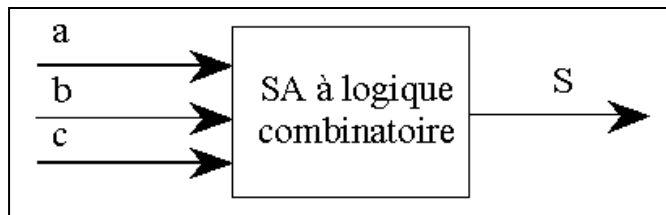


Figure 3.2 : Représentation d'un système combinatoire

3.2.3- La logique séquentielle :

Un système séquentiel est un système logique (variables binaires) dont l'état des variables de sortie évolue en fonction de l'état des variables d'entrée et des états antérieurs précédemment rencontrés.

Le système se souvient du passé en enregistrant les états précédents de ses sorties, faisant appel pour cela, à des variables internes, ou mémoires.

De plus, le comportement d'un tel système fait apparaître une succession d'états différents des variables de sortie qui s'enchaînent séquentiellement dans un ordre précis.

Dans la pratique, tous les automatismes sont séquentiels et seules quelques portions de fonctionnement sont purement combinatoires.

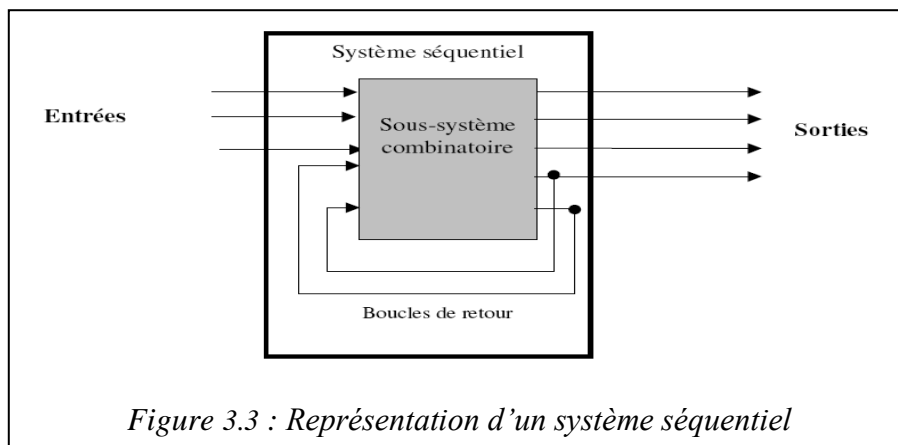


Figure 3.3 : Représentation d'un système séquentiel

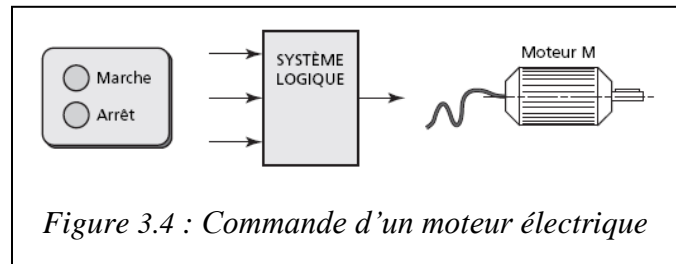
Par exemple un ascenseur peut aller au 3eme étage en appuyant sur le bouton 3 mais si on est au 4eme étage l'ascenseur descend, donc à la même combinaison correspond deux sorties différentes.

Dans les systèmes de tels dispositifs il n'est pas possible de distinguer les états de la fonction de sortie uniquement à cause des combinaisons des variables d'entrées.

Le schéma de ces dispositifs ne pourra pas s'établir comme pour le dispositif combinatoire, on doit faire appel à des organes particuliers appelés variables secondaires. De tels dispositifs sont appelés dispositifs séquentielles, la séquence de fonctionnement du dispositif se définit par la succession dans l'ordre chronologique des différents états.

3.2.4- Exemple d'un système séquentiel : commande d'un moteur

Soit à commander un moteur électrique M par l'intermédiaire de deux boutons poussoirs normalement ouverts et d'un système logique.



Notons **m** la variable logique associée au bouton « Marche », et **a** celle associée au bouton « Arrêt » et **M** la variable de sortie correspondant à l'état du moteur ($M = 1$, le moteur est alimenté ; $M = 0$, le moteur est arrêté).

QUESTION –

La logique de commande du moteur est-elle de type combinatoire ou séquentiel ?

RÉPONSE –

Pour le savoir, remplissons le tableau de Karnaugh relatif à l'état du moteur en fonction de la valeur des deux variables d'entrée (tab. 8).

Lorsque l'on appuie simultanément sur les deux boutons m et a, on peut choisir de laisser fonctionner le moteur ou de l'arrêter : c'est une question de sécurité, donc un cas considéré pour l'instant comme indifférent.

On constate que lorsque l'on n'appuie sur aucun bouton, deux cas peuvent se produire (2 états possibles) :

- si le moteur était à l'arrêt, il doit rester à l'arrêt ;
- si le moteur était alimenté, il doit rester alimenté.

À une combinaison donnée des variables d'entrée correspondent deux états possibles pour la variable de sortie : la logique de commande est donc de type séquentiel.

En fait, pour la case où les 2 états (0 et 1) peuvent être possibles, on remarque que la valeur de M dépend de l'état antérieur du système : il faut donc utiliser une variable interne qui « mémorise cet état ».

Nommons **x** cette variable interne ($x = 1$, le moteur fonctionne ; $x = 0$, le moteur ne fonctionne pas). La table de vérité de M est alors donnée par le tableau 7.

	m	a	M
1° étape	0	0	0
2° étape	1	0	1
3° étape	0	0	1
4° étape	0	1	0
sécurité	1	1	A définir

Tableau 3.7 : Table de vérité du moteur M

M	m		a
	0	0	1
x	1	0	1

Choix relatif à la sécurité

Tableau 3.8: Utilisation d'une mémoire

Les deux cases correspondant à des cas indifférents peuvent être remplies par des 1 ou des 0. Il existe donc 4 possibilités de commande du moteur. Les 3 possibilités les plus intéressantes sont récapitulées dans le tableau 12, elles représentent les différents types de « mémoire »

	Commande à priorité à la marche	Commande à priorité à l'arrêt	Commande à entrées simultanées passives
Tableau de Karnaugh	$X(t)$	$Y(t)$	$Z(t)$
Équation de commande	$X = m + \bar{a} \cdot x$	$Y = \bar{a} \cdot (m + y)$	$Z = m \cdot \bar{a} + z \cdot (m + \bar{a})$
Schéma électrique			
Logigramme			

Tableau 3.9 : Différents cas de commande du moteur

N.B :

La mémoire (ou bascule) est un élément qui permet de conserver l'état de la sortie créé par l'entrée, même lorsque cette dernière a disparu.

3.3- Le Grafcet :






On observe que, pour décrire le comportement des systèmes, les représentations graphiques sont de plus en plus privilégiées par rapport aux représentations littérales et algébriques, du fait de leur aptitude de à servir de support de communication entre tous les intervenants (spécificateur, concepteur, réalisateur, exploitant, mainteneur). Le fait que tous ces intervenants puissent dialoguer et exprimer leur point de vue dans le cadre d'une démarche de développement d'un système automatique est en soi une aide considérable, d'abord pour spécifier, puis pour effectuer des validations (partielles) de cette spécification. C'est dans cet esprit que le GRAFCET a été conçu.

3.3.1- Définition :


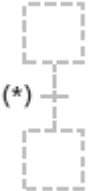
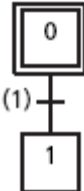
Le GRAFCET (**GRA**phe **Fonctionnel** de **Com**mande **É**tape **T**ransition) a été introduit en 1977 par l'AFCE (Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique). Il s'agit d'un langage graphique permettant de définir le comportement séquentiel d'un système automatisé à partir de la connaissance des actions à entreprendre, associées à des variables de SORTIES, et des événements qui peuvent permettre le passage d'une situation à une autre, associés à des variables d'ENTRÉE.

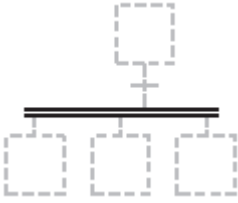
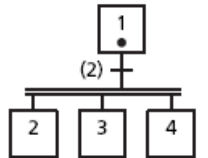
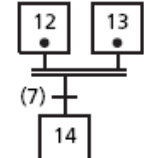
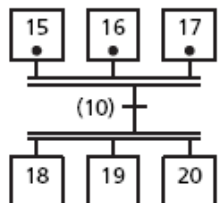
3.3.2- Les Eléments de base :

➤ Étapes :


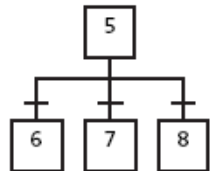



Symbole	Description / Fonction	Exemple
	<p>ÉTAPE – Élément du langage GRAFCET utilisé pour définir la situation de la partie séquentielle d'un système.</p> <p>À un instant donné et suivant l'évolution du système, une étape est soit ACTIVE soit INACTIVE. L'ensemble des étapes actives définit la situation du système à l'instant considéré.</p> <p>L'étape est représentée par un carré qui comporte des caractères alphanumériques au centre de la moitié supérieure du symbole.</p> <p>Pour indiquer les étapes qui sont actives à un instant donné, un point peut être placé dans la partie inférieure des symboles des étapes concernées.</p>	<p>Étape 3 :</p>  <p>Étape 2 active :</p> 
	<p>ÉTAPE INITIALE – Elle indique que cette étape est active au début du fonctionnement du système (situation initiale).</p>	<p>Étape initiale 0</p> 

➤ Transitions :



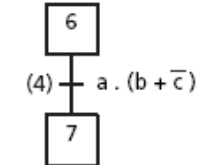
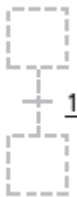

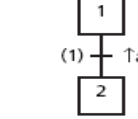
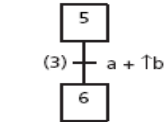

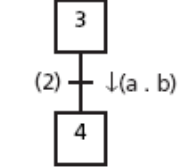
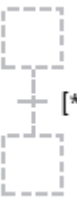
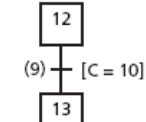
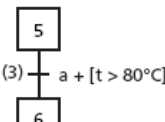
Symbole	Description / Fonction	Exemple
	<p>TRANSITION entre deux étapes – Une TRANSITION indique la possibilité d'évolution entre plusieurs étapes. Cette évolution s'accomplit par le FRANCHISSEMENT de la TRANSITION qui provoque un changement d'activité des étapes.</p> <p>Une TRANSITION est représentée par un trait perpendiculaire aux liaisons joignant deux étapes.</p> <p>Il n'y a toujours qu'une seule transition entre deux étapes, quels que soient les chemins parcourus (règle de syntaxe).</p> <p>Une TRANSITION est validée par l'étape amont. Son franchissement provoquera simultanément la désactivation de cette étape et l'activation des étapes aval.</p>	
	<p>REPERE DE TRANSITION – Pour faciliter la description du Grafcet, chaque transition peut être repérée par des caractères alphanumériques, entre parenthèses, à gauche du symbole de transition.</p>	<p>Repère de la transition 1 :</p> 

	<p>SYNCHRONISATION en amont et/ou aval d'une TRANSITION</p> <p>– Lorsque plusieurs étapes sont reliées à une même transition, les liaisons orientées d'entrée et/ou de sortie de ces étapes sont regroupées en amont ou en aval par le symbole de synchronisation représenté par deux traits parallèles horizontaux.</p> <p>Dans l'exemple 1, il s'agit de la transition d'une étape vers plusieurs. La transition (2) est validée lorsque l'étape (1) est active.</p> <p>Dans l'exemple 2, il s'agit de la transition de plusieurs étapes vers une. La transition (7) n'est validée que lorsque les étapes amont (12) et (13) sont toutes actives.</p> <p>Dans l'exemple 3, il s'agit de la transition de plusieurs étapes vers plusieurs autres étapes. La transition (10) n'est validée que lorsque les étapes amont (15), (16), (17) sont toutes actives.</p>	<p>Exemple1 :</p>  <p>Exemple2 :</p>  <p>Exemple3 :</p> 
---	--	---

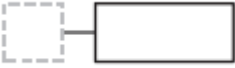

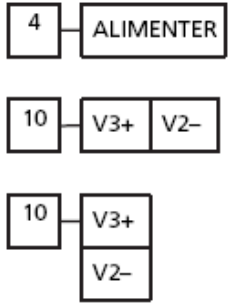

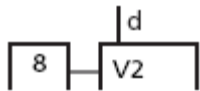
➤ *Liaisons orientées :*

<i>Symbole</i>	<i>Description / Fonction</i>	<i>Exemple</i>
	<p>LIAISON ORIENTÉE de haut en bas – Les voies d'évolution entre les étapes sont indiquées par des liaisons orientées reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes.</p> <p>Les liaisons orientées sont horizontales ou verticales. Des liaisons obliques sont toutefois permises dans les cas exceptionnels où elles apportent plus de clarté au diagramme.</p>	
	<p>LIAISON ORIENTÉE de bas en haut – Par convention le sens d'évolution est toujours du haut vers le bas. Des flèches doivent être utilisées si cette convention n'est pas respectée ou si leur présence peut apporter une meilleure compréhension.</p>	
	<p>REPERE DE LIAISON – Lorsqu'une liaison orientée doit être interrompue (par exemple dans des dessins complexes ou dans le cas de représentation sur plusieurs pages), le repère de l'étape de destination ainsi que le repère de la page à laquelle elle apparaît doivent être indiqués.</p>	


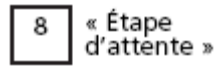
➤ Réceptivités associées aux transitions :

Symbole	Description / Fonction	Exemple
	<p>RÉCEPTIVITÉ associée à une transition : C'est une proposition logique qui, associée à une transition exprime le résultat d'une expression booléenne et qui par conséquent est soit vraie soit fausse. S'il existe une variable logique correspondante, elle est égale à 1 quand la réceptivité est vraie et égale à 0 quand la réceptivité est fausse. La proposition logique formant la réceptivité est constituée d'une ou plusieurs variables booléennes (variable d'entrée, variable d'étape, valeur d'un prédicat, etc.). La description de la réceptivité peut être mise sous la forme d'un texte (<i>exemple 1</i>) ou sous la forme d'une expression booléenne (<i>exemple 2</i>).</p>	<p><i>Exemple 1</i></p>  <p><i>Exemple 2</i></p> 
	<p>RÉCEPTIVITÉ toujours vraie : La notation « 1 » indique que la réceptivité est toujours vraie. Dans ce cas, l'évolution est dite toujours fugace, le franchissement de la transition n'est conditionné que par l'activité de l'étape amont</p>	
	<p>FRONT MONTANT d'une variable logique : La notation « ↑* » indique que la réceptivité n'est vraie qu'au changement d'état de la variable. Cette notation est générale et s'applique à toute proposition logique, qu'il s'agisse d'une variable élémentaire (<i>exemple 1</i>) ou d'une combinaison de plusieurs variables booléennes (<i>exemple 2</i>).</p>	<p><i>Exemple 1</i></p>  <p><i>Exemple 2</i></p> 
	<p>FRONT DESCENDANT d'une variable logique : La notation « ↓* » indique que la réceptivité n'est vraie qu'au changement d'état de la variable. Cette notation est générale et s'applique à toute proposition logique, qu'il s'agisse d'une variable élémentaire ou d'une combinaison de plusieurs variables booléennes.</p>	
	<p>VALEUR BOOLÉENNE D'UN PRÉDICAT : La notation « [*] » signifie que la valeur booléenne du prédicat constitue la variable de réceptivité. Ainsi, lorsque l'assertion * est vérifiée, le prédicat vaut 1, dans le cas contraire, il vaut 0. L'astérisque doit être remplacé par l'assertion que l'on veut tester (<i>exemple 1</i>). La variable booléenne de prédicat peut être associée à d'autres variables logiques pour constituer une proposition logique de réceptivité (<i>exemple 2</i>).</p>	<p><i>Exemple 1</i></p>  <p><i>Exemple 2</i></p> 

➤ *Actions continues :*

Symbole	Description / Fonction	Exemple
	<p>ACTION CONTINUE : Une action continue est nécessairement associée à une étape. Plusieurs actions peuvent être associées à une même étape. Le rapport longueur/largeur est arbitraire, bien qu'un rectangle de hauteur égale à l'étape soit recommandé.</p>	
	<p>LIBELLÉ D'ASSIGNATION d'une sortie : Toute action doit posséder un libellé sis dans le rectangle représentant cette action. Le libellé d'une action continue est la désignation de la variable de sortie assignée à la valeur vraie selon la règle d'assignation. L'astérisque doit être remplacé par le libellé désignant la variable de sortie. L'expression littérale du libellé peut prendre une forme impérative ou une forme déclarative, seule compte la référence à la sortie. L'ordre dans lequel les actions sont représentées n'implique aucune séquence entre les actions.</p>	
	<p>CONDITION D'ASSIGNATION : Une proposition logique, appelée condition d'assignation, qui peut être vraie ou fausse, conditionne toute action continue. L'absence de notation signifie que la condition d'assignation est toujours vraie. L'astérisque doit être remplacé par la description de la condition d'assignation sous forme d'un texte, ou d'une expression booléenne entre des variables d'entrées et/ou des variables internes. La condition d'assignation ne doit jamais comporter de front de variable, car l'action continue n'est évidemment pas mémorisée, l'assignation sur événement n'ayant aucun sens. Dans l'exemple, la sortie V2 est assignée à la valeur vraie lorsque l'étape 8 est active et lorsque la condition d'assignation d est vraie. Dans le cas contraire, la sortie V2 est assignée à la valeur fausse.</p>	<p>Exemple 1</p> 

➤ *Commentaires associés aux éléments d'un Grafcet :*

Symbole	Description / Fonction	Exemple
	<p>COMMENTAIRE : Un commentaire relatif aux éléments graphiques d'un Grafcet doit être placé entre guillemets. L'astérisque doit être remplacé par le commentaire.</p>	<p>Exemple 1</p> 

➤ **Règle de syntaxe :**

L'alternance étape-transition et transition-étape doit toujours être respectée quelle que soit la séquence parcourue.

Deux étapes ou deux transitions ne doivent donc jamais être reliées par une liaison orientée.

La liaison orientée relie obligatoirement une étape à une transition ou une transition à une étape.

3.3.3- Règles d'évolution :

➤ **REGLE 1 – Situation initiale :**

La situation initiale d'un Grafcet caractérise le comportement initial de la partie commande vis à vis de la partie opérative, de l'opérateur et/ou des éléments extérieurs.

Elle correspond aux étapes actives au début du fonctionnement. Elle traduit généralement une situation de repos.

➤ **REGLE 2 – Franchissement d'une transition :**

Une transition est dite validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes reliées à cette transition sont actives.

Le franchissement d'une transition se produit :

– lorsque la transition est VALIDÉE ;

– ET QUE la réceptivité associée à cette transition est VRAIE.

➤ **REGLE 3 – Évolution des étapes actives :**

Le franchissement d'une transition entraîne simultanément l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

➤ **RÈGLE 4 – Évolutions simultanées :**

Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.

➤ **RÈGLE 5 – Activation et désactivation simultanées d'une étape :**

Si, au cours du fonctionnement, la même étape est simultanément activée et désactivée elle reste active.

3.3.4- Exemple de GRAFCET – Poste de marquage de savons :

L'analyse de ce poste (chaîne fonctionnelle d'un système plus complet) conduit à définir :

– le produit : à l'état entrant, il s'agit d'un bloc de savon non marqué ; à l'état sortant, il devient un savon marqué ;

– le processus : le marquage est obtenu par un poinçon à marqueur interchangeable ;

– la conduite : la partie étudiée fonctionne de manière entièrement automatique, une information binaire « marche » permet au système de fonctionner.

✓ Isolement de la zone d'étude

Le problème posé est le marquage des savons sur leur face supérieure par un poinçon. Ils sont alimentés par une goulotte un par un ou groupés en provenance du système de découpe et sont ensuite évacués vers le four de séchage. La vitesse du convoyeur en sortie de la goulotte d'évacuation est telle qu'aucun savon ne peut rester bloqué.

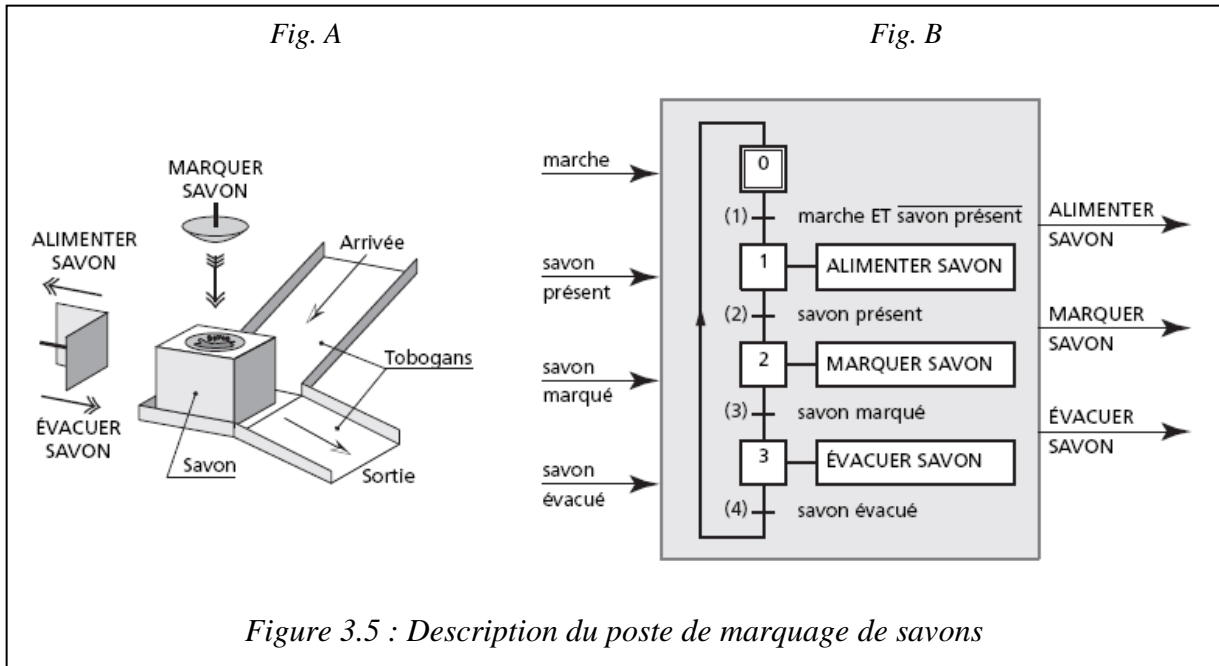
✓ Description selon un « point de vue système »

Cette description comprend ici deux documents (fig. 3.5) :

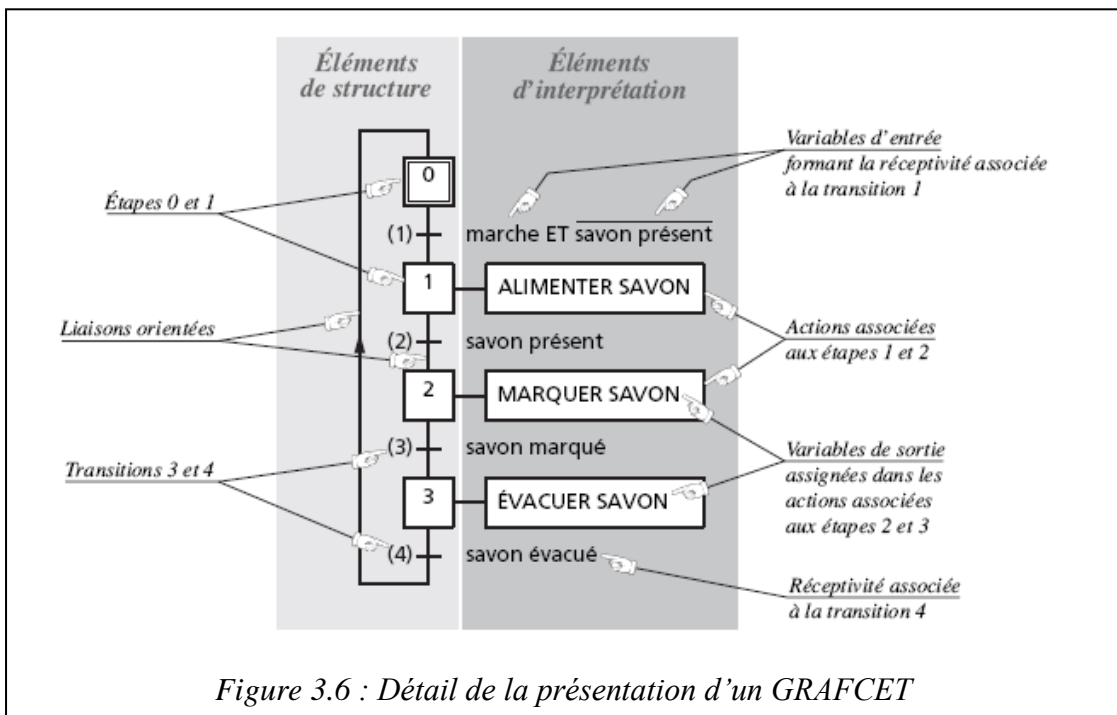
– la définition de la partie opérative, sous forme d'un schéma (fig. 3.5-a) mettant en situation le produit ainsi que les effecteurs permettant d'apporter la valeur ajoutée au produit. Le schéma

comporte aussi des éléments (toboggans) de raccordement du système étudié avec son environnement ;

– la description du comportement du système est ici proposée sous forme d'un Grafcet (fig. 3.5-b). Ce document est complémentaire du précédent car pour la même partie opérative plusieurs Grafcet répondant à des spécifications de fonctionnement différentes peuvent être élaborés. Cette présentation correspond à la description selon un « point de vue système » de la chaîne fonctionnelle.



✓ **Présentation :**



Les éléments graphiques de base qui constituent la structure sont :

- les ÉTAPES du fonctionnement séquentiel du système ;
- les LIAISONS ORIENTÉES ;
- les TRANSITIONS qui permettent de passer d'une étape à une autre.

Les éléments d'interprétation sont :

- les ACTIONS associées aux étapes. Elles contiennent les VARIABLES DE SORTIE assignées ;
- les RÉCEPTIVITÉS associées aux transitions. Elles sont formées par une expression booléenne des VARIABLES D'ENTRÉE.

3.4- Comparaison des méthodes :

Après avoir vu ces méthodes on peut faire une comparaison entre elles.

La méthode matricielle est une méthode archaïque elle est utile dans le cas des problèmes simples et cela à cause du tableau de KARNAUGH qui devient compliqué lorsque le nombre de variables dépasse le nombre 5 ainsi que la simplification des équations logiques qui devient difficile surtout dans le cas de la logique séquentielle où il y a plusieurs variables secondaires.

On comparant le Grafset à ces méthodes on peut dire qu'il est plus pratique parce qu'il ne tient compte que des actions de la machine et les causes qui les provoquent et en plus il nous donne un cahier de charge qui contient des renseignements simples et facile à comprendre.

Chapitre 4

Application à la Soutireuse des bouteilles de PEPSI

4.1- Introduction :

Dans ce qui précède, une étude détaillée, d'un part des différents capteurs et actionneurs d'une machine automatique, et d'autre part Introduction à l'étude automatique, a été présentée. On s'intéresse alors à une application pratique dans le monde industriel. Un choix d'une machine à conditionner des petites bouteilles en verre s'est avéré intéressant.

On s'est concentré plus sur l'aspect pneumatique et mécanique : c'est la commande pneumatique et les composantes mécaniques avec la transmission de mouvement. En premier lieu on présente le convoyeur. En second lieu on va dimensionner la soutireuse de la chaîne de production de PEPSI, à la fin on construit le Grafset de la conditionneuse.

✓ **Définition générale d'une conditionneuse (machine à conditionner)** : c'est une machine servant à effectuer l'emballage des denrées de façon à assurer sa protection mécanique, chimique et biologique, en vue de sa mise sur le marché.

4.2- Description du convoyeur de bouteille :

La ligne ALSIM de PEPSI Cola est une ligne de production de petite bouteille de verre (33cl) d'une capacité 48 000 bouteilles par heure.

Elle est constituée des différentes parties et qui sont :

- 1- **Dépalettiseur** : Elle permet de séparer grâce à un robot les palettes et les caisses.
- 2- **Décaisseuse** : Elle permet de séparer les bouteilles et les caisses, les caisses sont acheminées grâce à un convoyeur de caisse vers l'encaisseuse.
- 3- **La laveuse de bouteilles** : Elle permet de laver les bouteilles avec un mélange de soude et d'eau sous une température de 60°C.
- 4- **Inspectrice** : Elle permet de contrôler l'état de la bouteille.
- 5- **Soutireuse** : Elle permet de remplir les bouteilles avec les produits PEPSI.
- 6- **Contrôleur de niveau** : il permet de contrôler le niveau des produits dans chaque bouteille grâce à des ultra son.
- 7- **Etiqueteuse** : Elle permet de coller sur la surface de la bouteille des étiquettes de PEPSI.
- 8- **La dateuse** : Elle permet d'imprimer sur les bouchons la date de fabrication du produit.
- 9- **Encaisseuse** : Elle permet de mettre les bouteilles dans les caisses.
- 10- **Palettiseuse** : Elle permet de mettre grâce à un robot des caisses sur la palette.

La Figure IV.1 indique Les différents éléments de la chaîne de production.

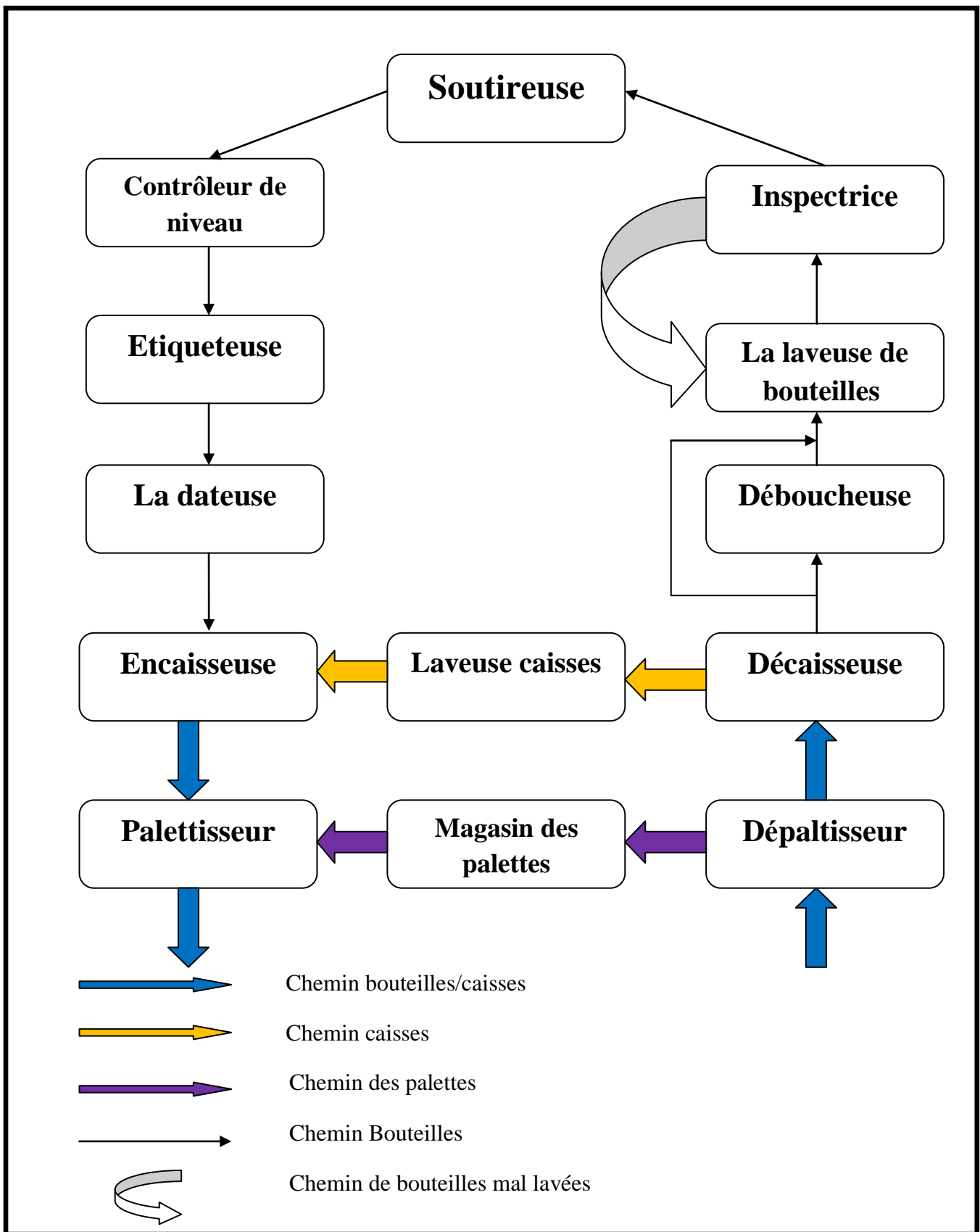


Figure 4.1 : Les différents éléments de la chaîne de production.

Le convoyeur de bouteille permet de transporter les bouteilles vers les différents éléments de la chaîne de production.

4.3- Dimensionnement de la Soutireuse :

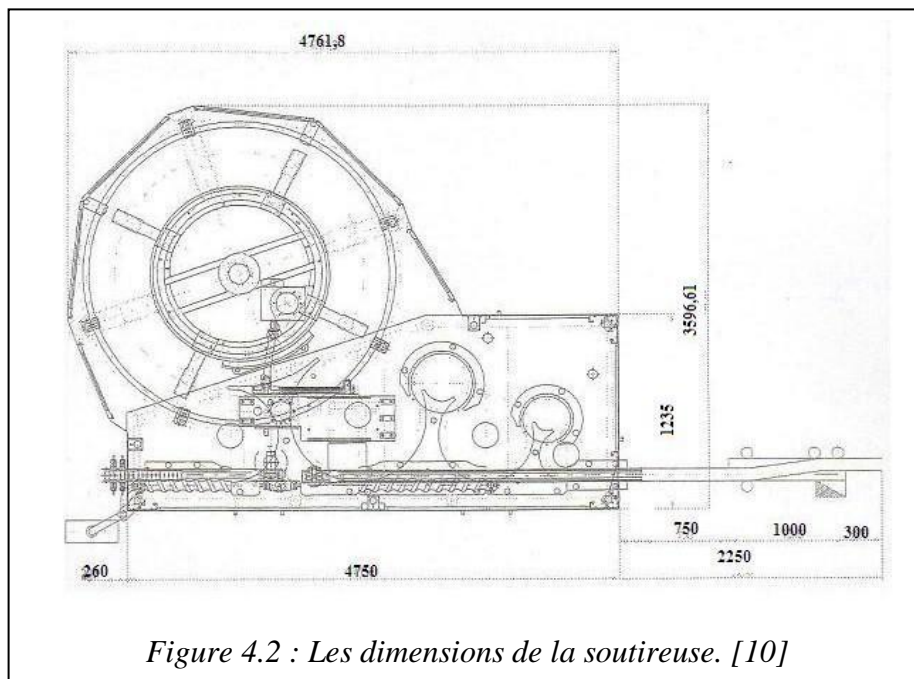
4.3.1- Description générale de la soutireuse :

La soutireuse ALSIM comporte deux systèmes, la remplisseuse et la boucheuse. Comme dans le conditionnement alimentaire la soutireuse est construite par un acier inoxydable et que les joints en élastomère résistent aux produits chimiques et pour des raisons sanitaires.

4.3.1.1- caractéristiques de l'installation :

➤ Dimensionnement :

Pour ce qui concerne l'encombrement de la machine, les démentions sont indiquées dans la figure ci-dessous :



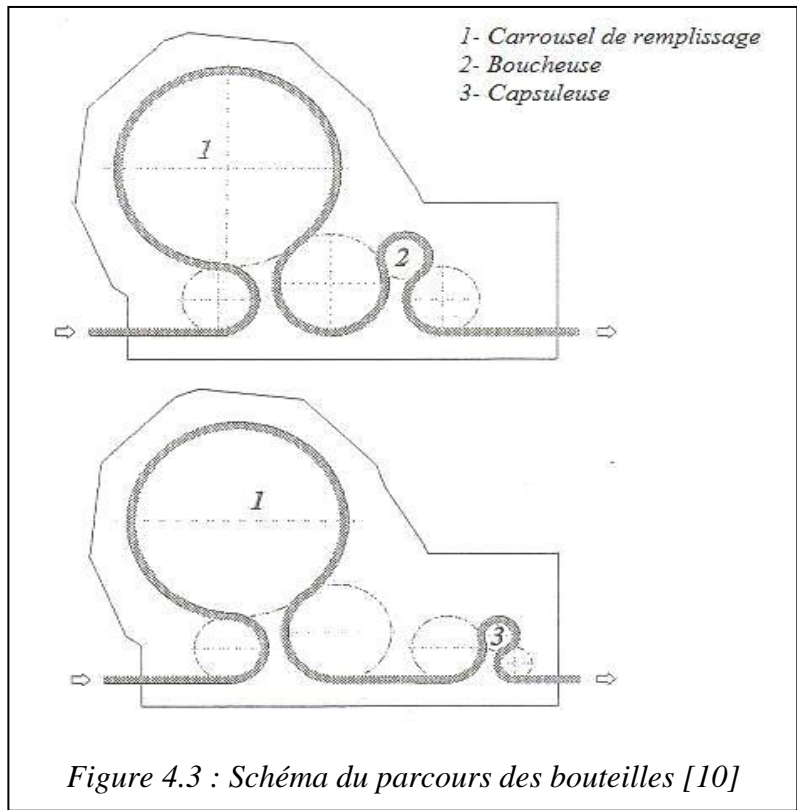
➤ Schéma parcours des bouteilles :

La figure 4.3 Montre le parcours des bouteilles dans la machine.

La machine se compose essentiellement des parties suivantes :

- ❖ Carrousel de remplissage.
- ❖ Boucheuse.
- ❖ Capsuleuse.

La manutention des bouteilles a lieu à l'aide des vis sans fin, des étoiles de transfert et des glissières de guidage.



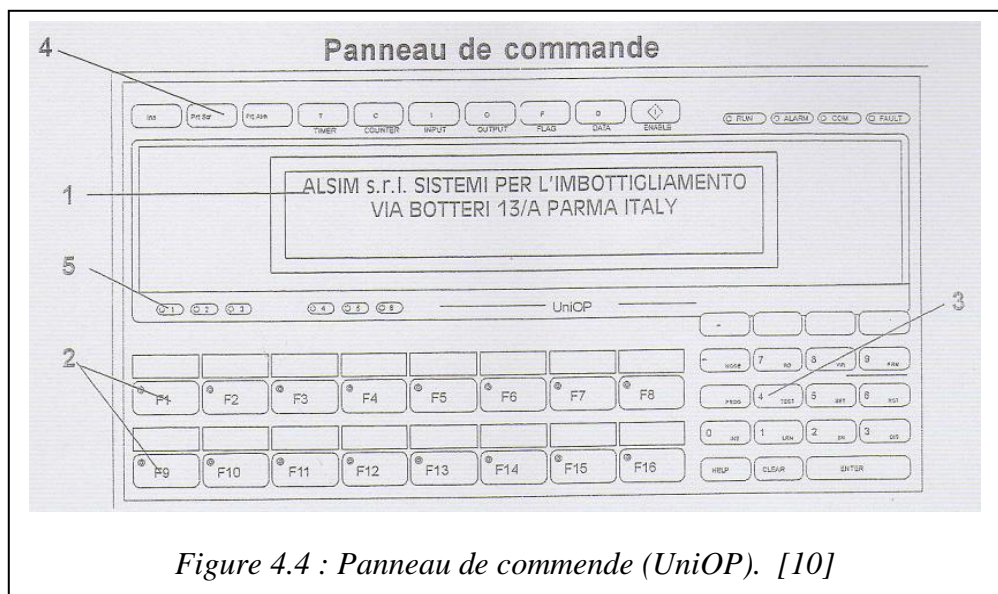
4.3.1.2- les composants de la machine :

➤ Panneau de commande :

Le panneau de commande se trouve dans le panneau de l'opérateur, avec d'autres composants comme : le poussoir d'arrêt d'urgence à champignon, sélecteurs à clé, poussoirs lumineux et dispositif portatif de marche manuelle.

Le panneau de commande (panneau UniOP) comprend les blocs fonctionnels suivants :

- 1- Visualiseur à cristaux liquides
- 2- Touches des fonctions
- 3- Clavier numérique
- 4- Touches de commande
- 5- Diodes LED



Après que la machine et le panneau opérateur ont été mis en service, le diode LED "RUN" s'allume.

A ce moment, on peut sélectionner un Mode de Fonctionnement et le sous-menu correspondant, introduire des valeurs, afficher les valeurs qui ont été introduites précédemment ou bien accéder aux pages d'aide.

➤ **Motorisation :**

a- *Moteur électrique :*

La machine et donc ses différents composants (vis sans fin en entrée, carrousel de remplissage, capsulateur et étoiles de transfert) sont motorisés par un seul moteur électrique triphasé (pos.1) au moyen d'arbres à cardan, de réducteurs et de courroies dentées

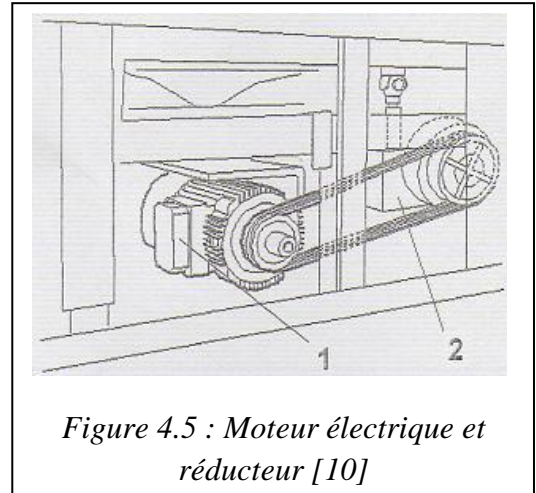


Figure 4.5 : Moteur électrique et réducteur [10]

b- *Réducteurs :*

La chaîne transmettant le mouvement est réalisée au moyen de réducteurs interconnectés par des arbres à cardon. La figure IV.5 indique le réducteur principal (pos.2) à l'intérieur du soubassement.

c- *Arbres à cardan :*

La transmission de la puissance entre les différents réducteurs de la motorisation a lieu au moyen d'arbres à cardan (pos.1).

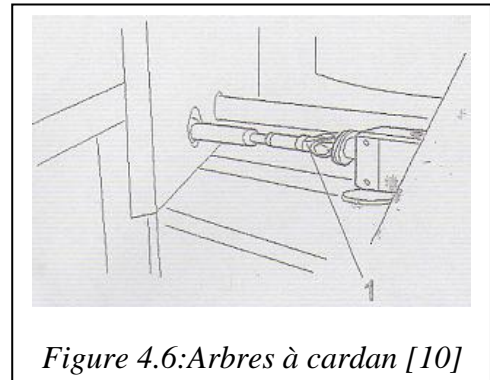


Figure 4.6: Arbres à cardan [10]

d- *Engrenages :*

La transmission du mouvement entre les réducteurs et les arbres des étoiles de transfert ou les renvois de motorisation a lieu au moyen de couples d'engrenages (pos.2) au contact plastique/acier ou bien plastique/plastique.

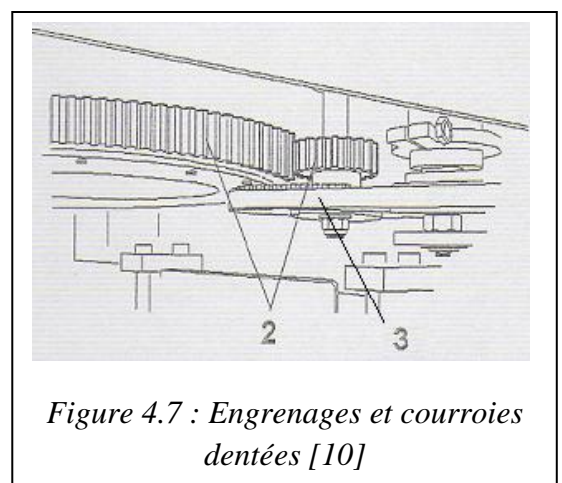


Figure 4.7 : Engrenages et courroies dentées [10]

e- *Courroies dentées :*

La vis sans fin en entrée et éventuellement la vis sans fin en sortie sont motorisées par des courroies dentées (pos.3), nécessitant des contrôles réguliers.

➤ **Capteurs et photocellules :**

Les fonctions de la machine et le déroulement des opérations sont contrôlés à l'aide de capteurs et photocellules, comprenant: le capteur de phase, les photocellules de présence de la bouteille, les capteurs de ralentissement etc. Les signaux provenant des capteurs peuvent être affichés individuellement. Le schéma met en évidence la position des capteurs et des photocellules dans la soutireuse :

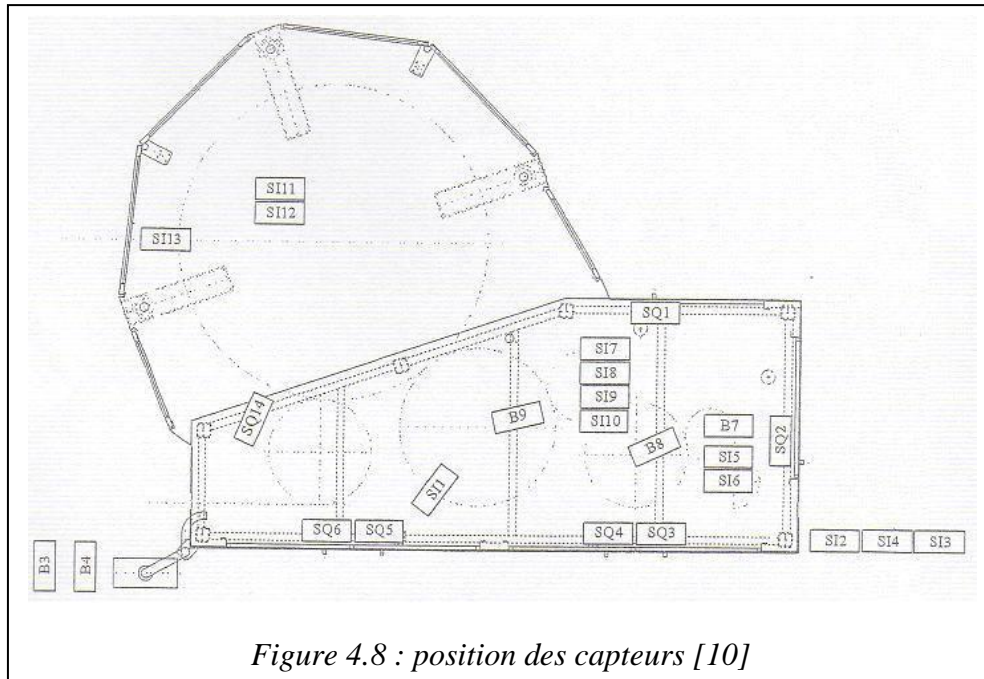


Figure 4.8 : position des capteurs [10]

SQ1 ... SQ6	Sécurité carters ouvert	SI11	Max hauteur réservoir
SI1	Phase machine	SI12	Min hauteur r réservoir
SI2	Engorgement en sortie	SI13	Control bouteille échappée
SI3	Ralentissement de la sortie	SI 14	Présence bottelle
SI4	Blocage bouteilles de la sortie	B3	Ralentissement de l'entrée
SI5/SI9	Trémie vide	B4	Blocage bouteilles de l'entrée
SI6/SI10	Phase boucheuse	B7	Chenal bouchons vide
SI7	Arrêt discesa capsule	B8/B9	Présence bouteilles
SI8	Chenal bouchons vide		

➤ **Electrovannes :**

Les cylindres des cames d'activation des commandes des vannes de remplissage, les moteurs pneumatiques des réglages en hauteur et plusieurs parmi les autres composants sont commandés par des électrovannes.

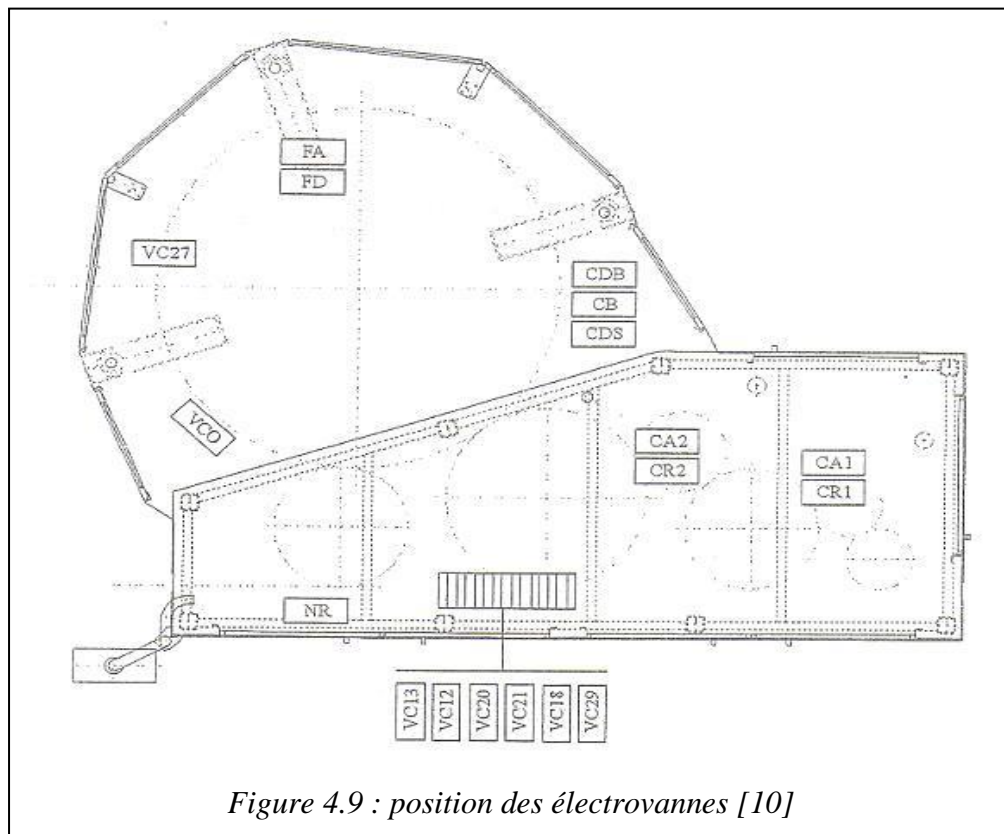


Figure 4.9 : position des électrovannes [10]

NR	Nettoyage col bouteille	FA	Montée soutireuse
VCO	Commande ouverture robinet	FD	Descente soutireuse
VC12/13	Blocage bouteilles	CDB	Bouchon couronne
VC18	Nettoyage extérieur robinet	CB	Souffle capsuleuse
VC20	By-pass entrée CO2	CDS	Arrêt descente capsules
VC21	Préévacuation	CA1/2	Air boucheuse
VC27	Echappement CO2	CR1/2	Relâchement capsule
VC29	Drainage réservoir		

➤ Carrousel de remplissage :

Le carrousel de remplissage est le composant principal de la machine, la construction mécanique comprend trois parties fondamentales :

1- *Structure tournante* : soutenant le réservoir annulaire avec les vannes de remplissage, les vérins de levage bouteille, le collecteur tournant pour l'air et le CO₂.

2- *Structure fixe* : réglable en hauteur au moyen des pieds filetés ; elle supporte la structure tournante au moyen d'une crapaudine dentée.

3- *Support des commandes* : raccordée à la structure fixe au moyen de bras de support ; elle soutient les cames pour l'activation des dispositifs de commande des vannes de remplissage.



Figure 4.10: Carrousel de soutireuse [15]

Le carrousel comprenant un grand nombre de positions selon les cadences désirées. Une vanne surplombe chaque position (figure 4.9).

➤ **La vanne de remplissage :**

La vanne de remplissage a les fonctions et les caractéristiques suivantes :

- Remplissage à niveau avec mesurage effectué à l'aide du tube de retour du gaz.
- Réglage centralisé de la hauteur en cas de changement de format;
- Possibilité de travailler des bouteilles en verre et en plastique;
- Remplissage en contre-pression avec C2 ou air stérile;
- Décompression à collecteur;
- Dispositif "pas de bouteille - remplissage";
- Dispositif de fermeture automatique en d'explosion d'une bouteille;
- Cloche de centrage à colonnes extérieures et rouleau de levage.

➤ **Capsulateur :**

Le capsulateur tourne de façon synchronique à la remplisseuse et il capsule les bouteilles qui viennent d'être remplies.

Le capsulateur est monté sur le soubassement. Un train d'engrenages de motorisation en traine la rotation.

Caractéristiques du capsulateur :

L'étoile en entrée alimente les Bouteilles qui viennent de sortir de la remplisseuse, tandis que l'étoile de décharge les transfère au transporteur en sortie de la machine.

L'alimentation des capsules a lieu à l'aide d'une trémie. Après que les capsules sont descendues le long d'un canal vertical, elles sont positionnées sur le goulot de la bouteille et vissées.

L'alimentation, le transport et la mise en position des capsules sont contrôlés ; les anomalies sont affichées au panneau opérateur.

4.3.1.3- le fonctionnement de la machine :

a) **Flux du produit :**

Les circuits du produit et du CO₂ sont indépendants et ils sont réglés séparément. Un réglage correct des paramètres des deux circuits permet le remplissage optimal.

Les parties intéressées dans le procédé sont essentiellement (figure 4.11):

- 1-le réservoir du produit.
- 2-la vanne de remplissage.
- 3-la bouteille.

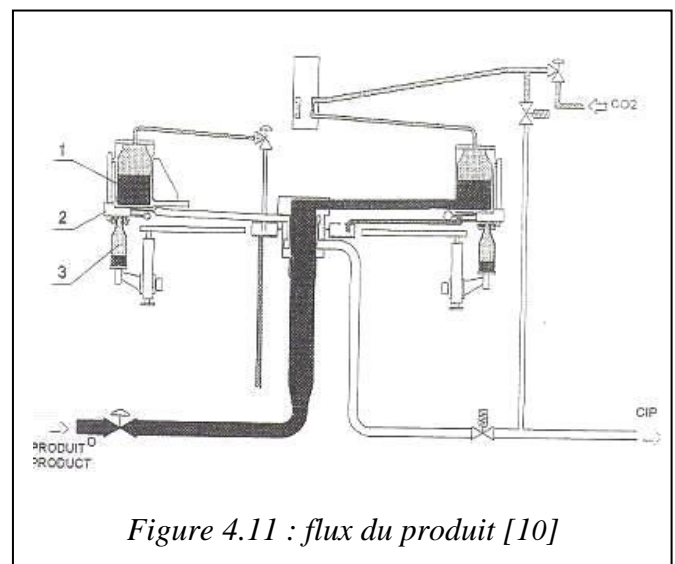


Figure 4.11 : flux du produit [10]

b) Cycle de remplissage :

La partie de la machine qui est comprise entre l'entrée de bouteilles vides dans le carrousel de remplissage et la sortie des bouteilles pleines du carrousel même est divisée en différents secteurs ou phases de remplissage (figure 4.13).

Chaque phase de remplissage commence généralement lors de l'activation de la commande correspondante.

La distance entre les différentes commandes dépend de la durée de chaque phase.

La position des commandes est établie au cours de la construction de la machine. Au cas où il serait nécessaire, cette position peut être optimisée pendant les premiers tests de production.

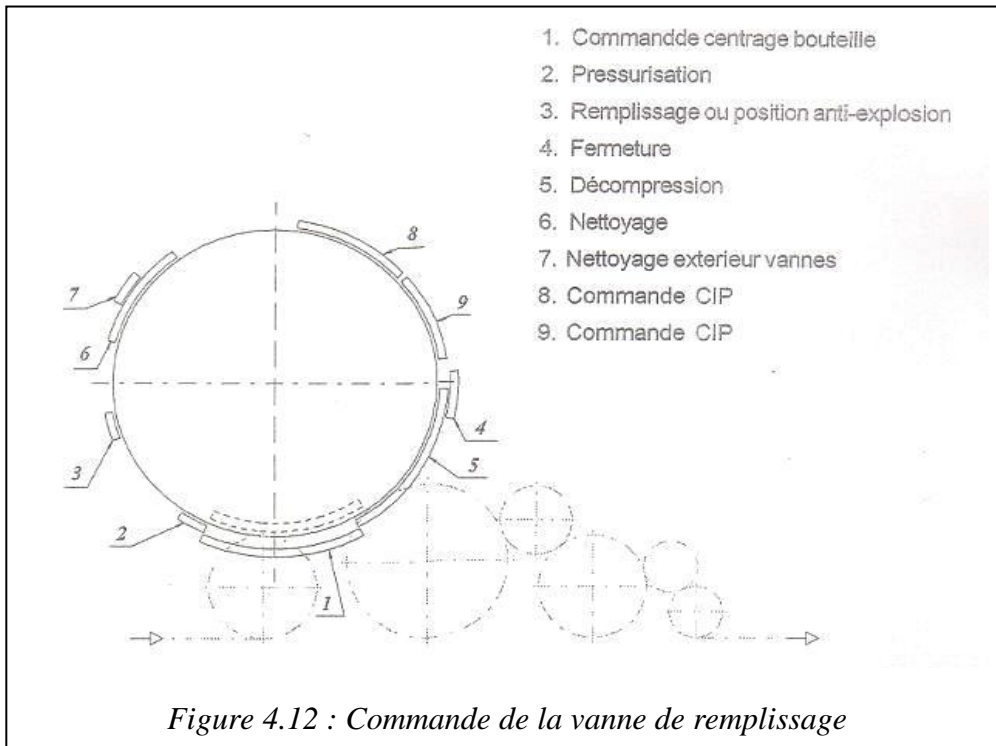


Figure 4.12 : Commande de la vanne de remplissage

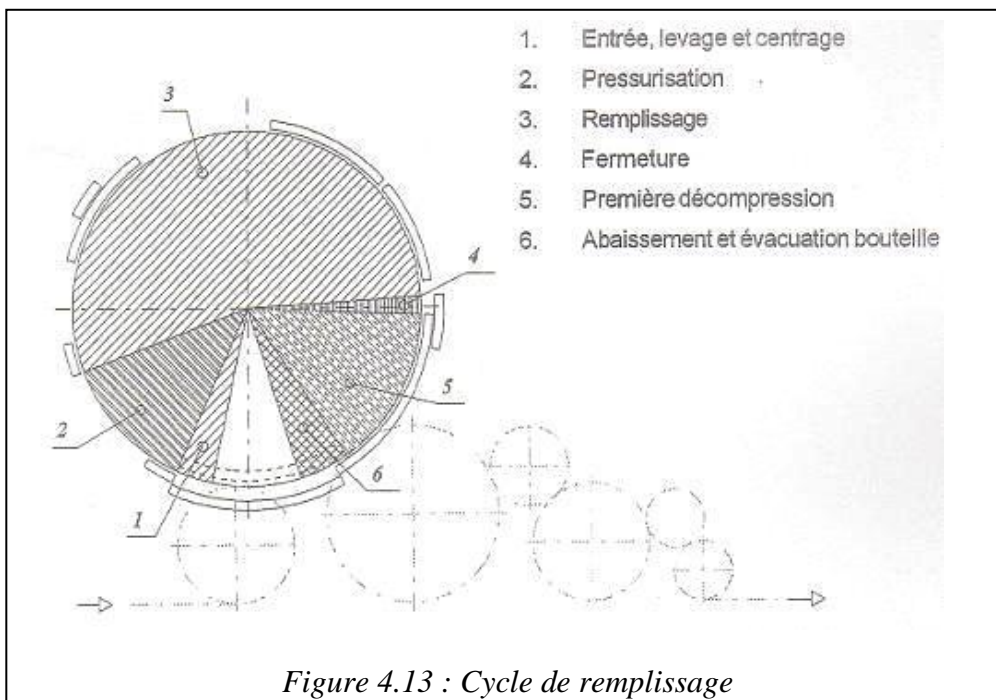


Figure 4.13 : Cycle de remplissage

➤ *Entrée dans la remplisseuse :*

Dans cette position, la bouteille vide, entraînée par l'étoile d'entrée, est placée sur le plateau du vérin sous la cloche de centrage. La cloche est tenue dans une position soulevée par la came, qui agit sur le rouleau.

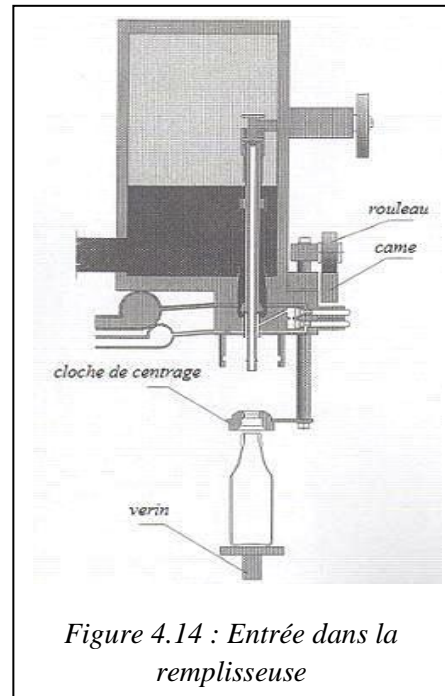


Figure 4.14 : Entrée dans la remplisseuse

➤ *Précentrage :*

Pendant que la bouteille est toujours tenue dans sa position par l'étoile et par la glissière de guidage en entrée de la remplisseuse, la cloche descend jusqu'à se poser sur le goulot de la bouteille : cela permet de centrer la bouteille et donc d'éviter qu'elle puisse se déplacer pendant la phase successive.

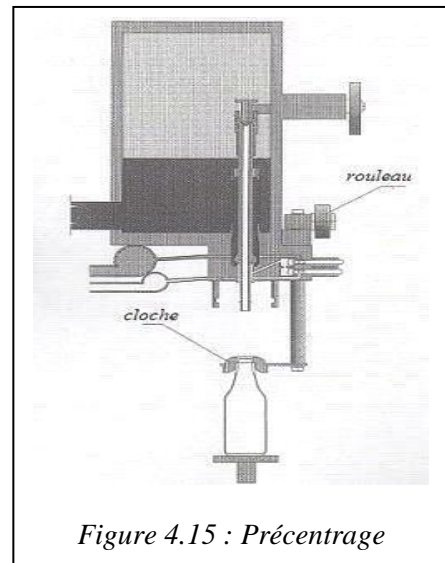


Figure 4.15 : Précentrage

➤ *Levage de la bouteille :*

Le vérin de levage porte la bouteille et la cloche en position de contact avec la vanne de remplissage.

L'étanchéité entre la bouche de bouteille, la garniture et la vanne de remplissage est assurée par la pression dans le cylindre du vérin de levage.

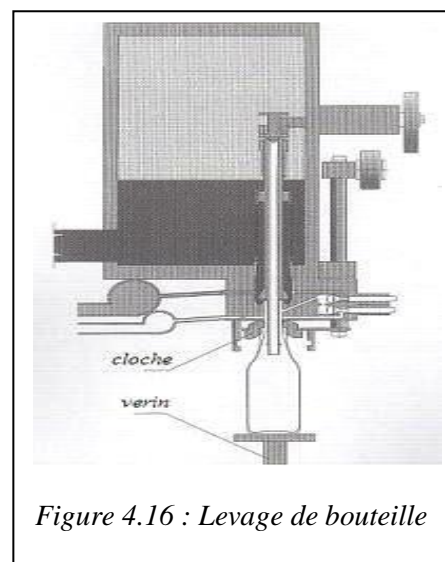


Figure 4.16 : Levage de bouteille

➤ **Pressurisation :**

La came de la commande de pressurisation fait tourner l'étoile d'activation, en levant la soupape à gaz et en faisant donc communiquer la partie haute du réservoir avec la bouteille. En passant à travers le tube de niveau, le gaz entre dans la bouteille, le portant à la pression de remplissage.

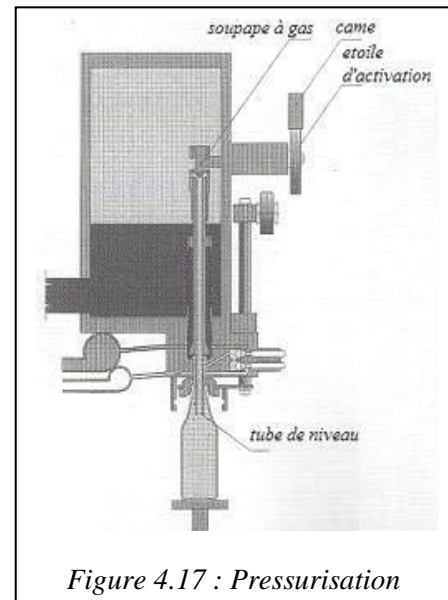


Figure 4.17 : Pressurisation

➤ **Remplissage :**

Lorsque la pression s'est stabilisée, la vanne du produit s'ouvre automatiquement et le produit commence à entrer dans la bouteille.

Peu après, la came de la commande de remplissage porte la commande du gaz dans la position correspondante. Le gaz de retour de la bouteille revient au réservoir par le tube du gaz. En cas d'explosion de la bouteille, la pression dans le réservoir cause la fermeture de la soupape, ce qui permet d'éviter des pertes de gaz.

Le produit s'écoule vers la bouteille et il est envoyé le long des parois par le déflecteur, de façon à obtenir un écoulement laminaire sans formation d'écume.

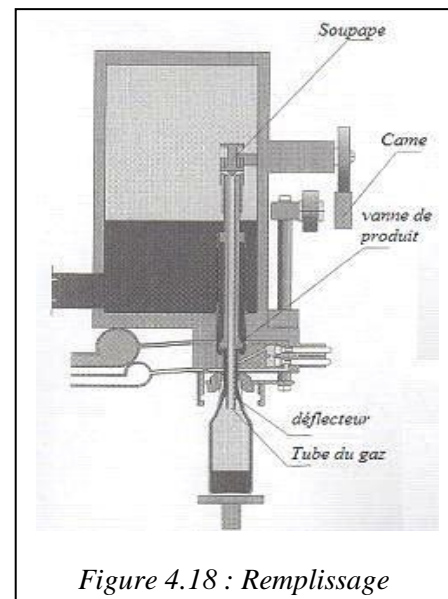


Figure 4.18 : Remplissage

➤ **Fin de remplissage :**

Lorsque le produit arrive au niveau du tube de retour du gaz en l'obstruant, le remplissage s'arrête.

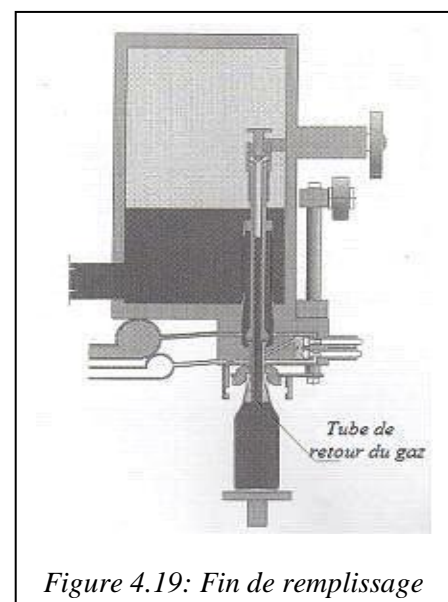


Figure 4.19: Fin de remplissage

➤ **Fermeture – Décompression :**

La came supérieure fait tourner l'étoile de commande : la soupape de gaz se baisse. Ensuite, la came inférieure appuie sur le poussoir, ce qui fait communiquer la bouteille avec la chambre de décompression, en permettant la décharge de la pression qui est restée dans le goulot après le remplissage.

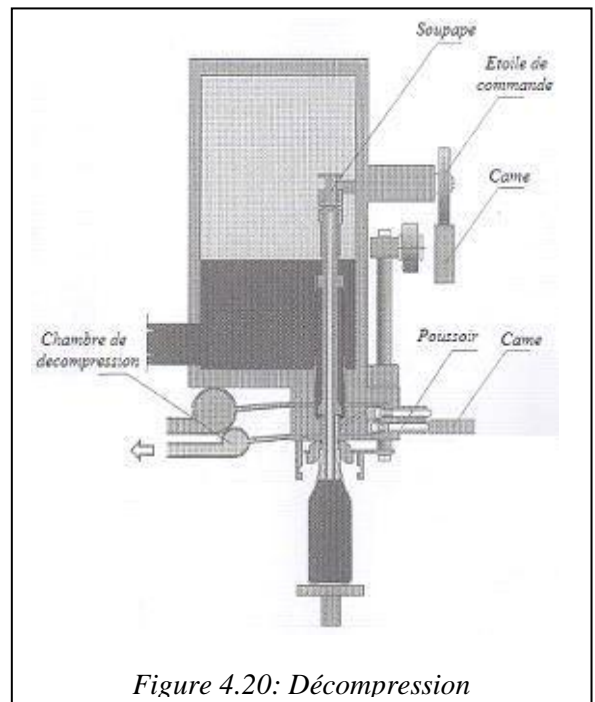


Figure 4.20: Décompression

➤ **Abaissement et sortie de la remplisseuse :**

Le verin de levage descend. En agissant sur le rouleau, la came maintient la cloche dans une position soulevée, en permettant donc à l'étoile de sortie de la remplisseuse d'extraire la bouteille.

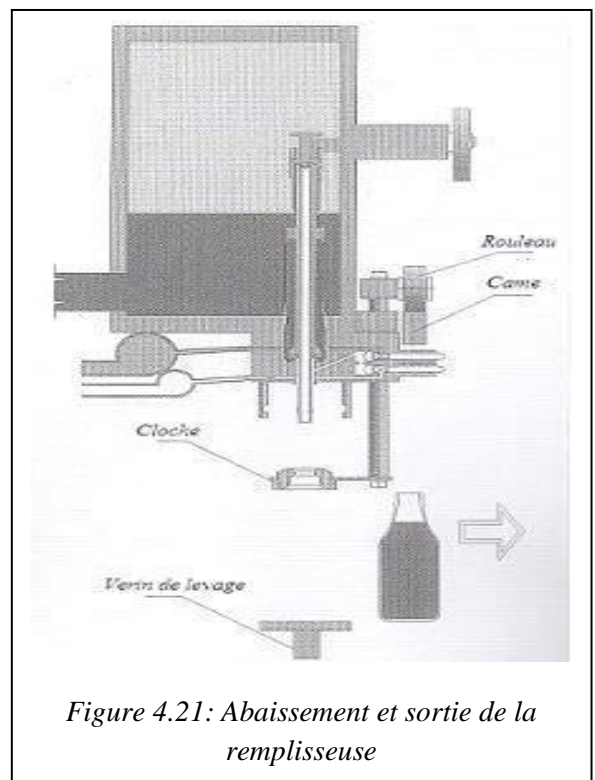
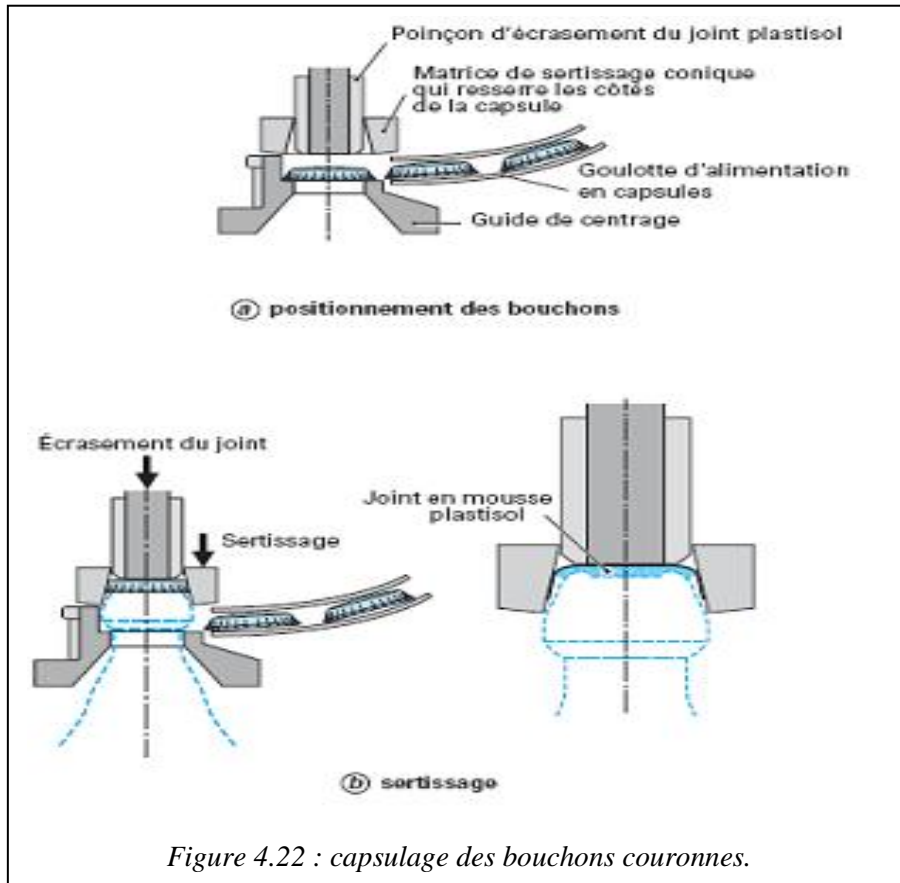


Figure 4.21: Abaissement et sortie de la remplisseuse

c) Le capsulage :

Il est réalisé au moyen d'une matrice en acier dur, sur les cols de bouteilles de verre.
Les cadences peuvent atteindre plus de 1000 bouchons par minute.

➤ *Calcul du couple de serrage :*

Formule permettant de calculer le couple de serrage transmissible au bouchon :

$$Cs = \frac{2}{3} \cdot F \cdot f \cdot \frac{Re^3 - Ri^3}{Re^2 - Ri^2}$$

Avec :

Cs : Couple de serrage (N.m)

F : Force exercée sur la rondelle en phase de serrage (N)

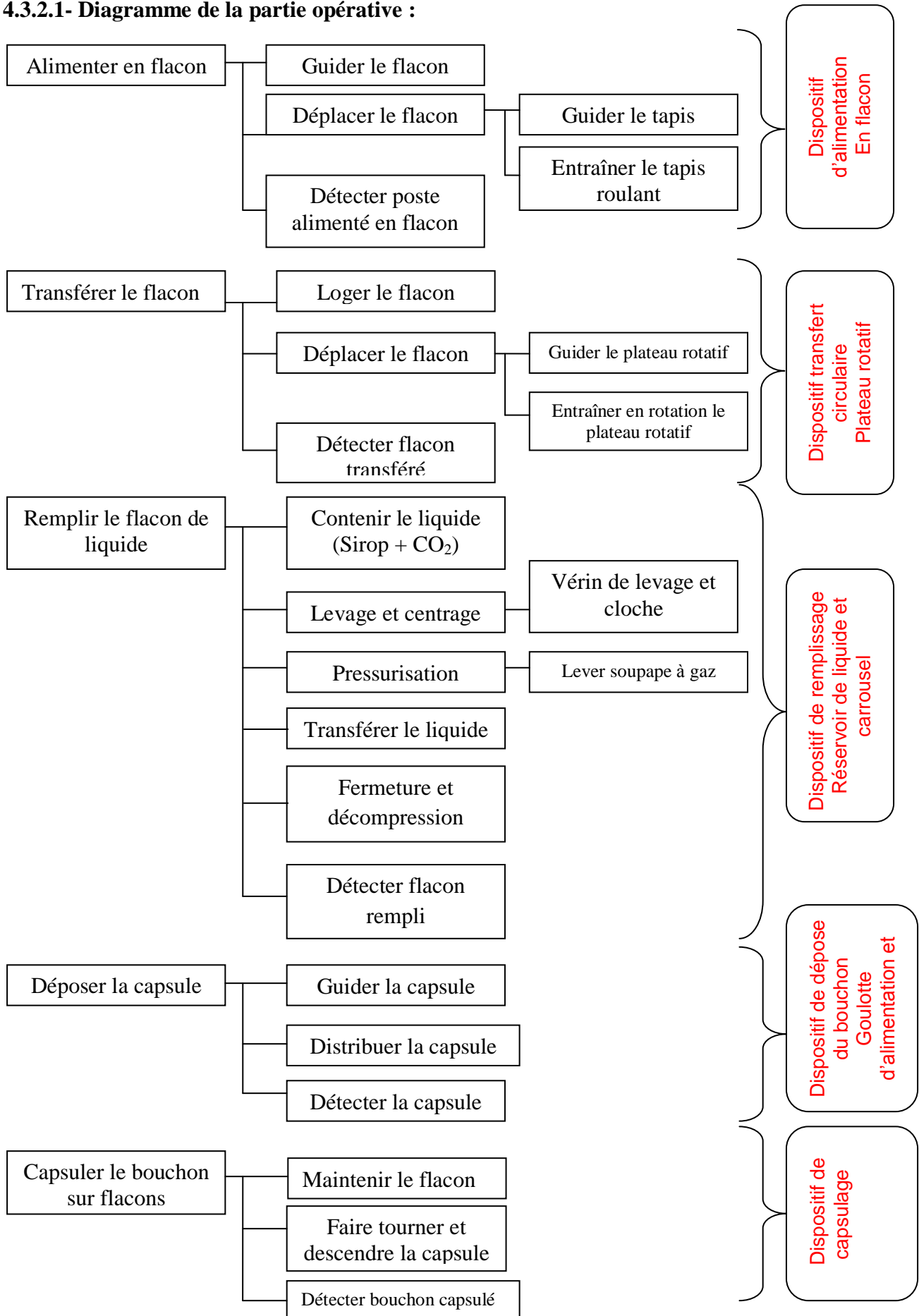
f : Coefficient de frottement entre la rondelle et le bouchon

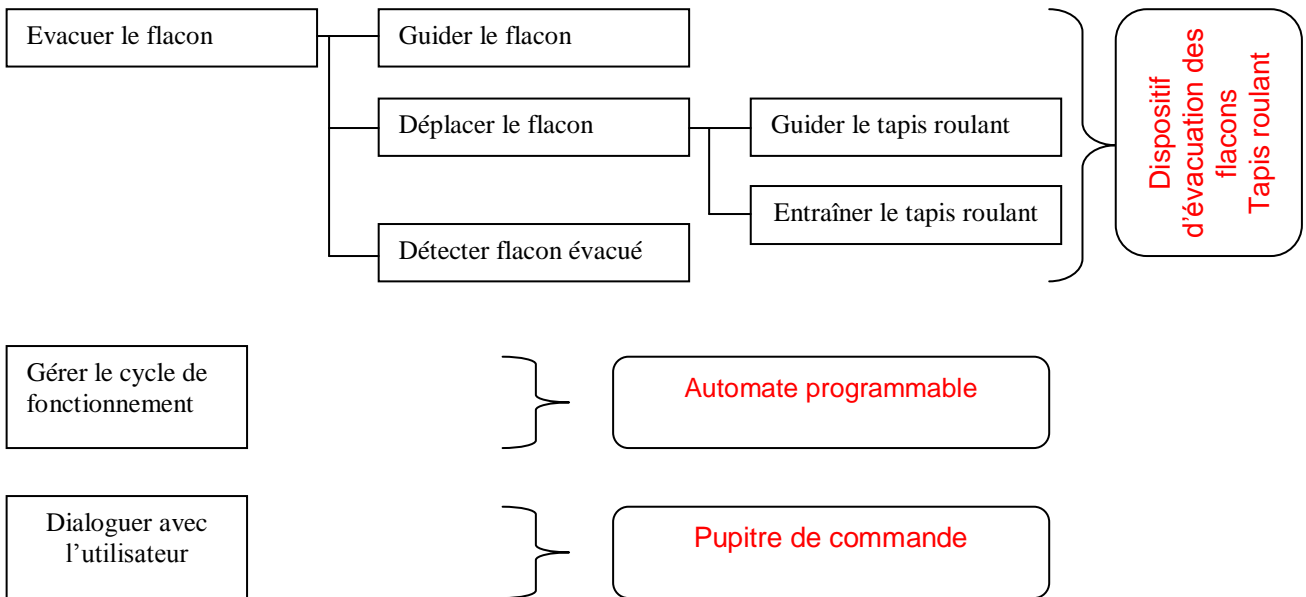
Re : Rayon extérieur de la rondelle (m)

Ri : Rayon intérieur de la rondelle (m)

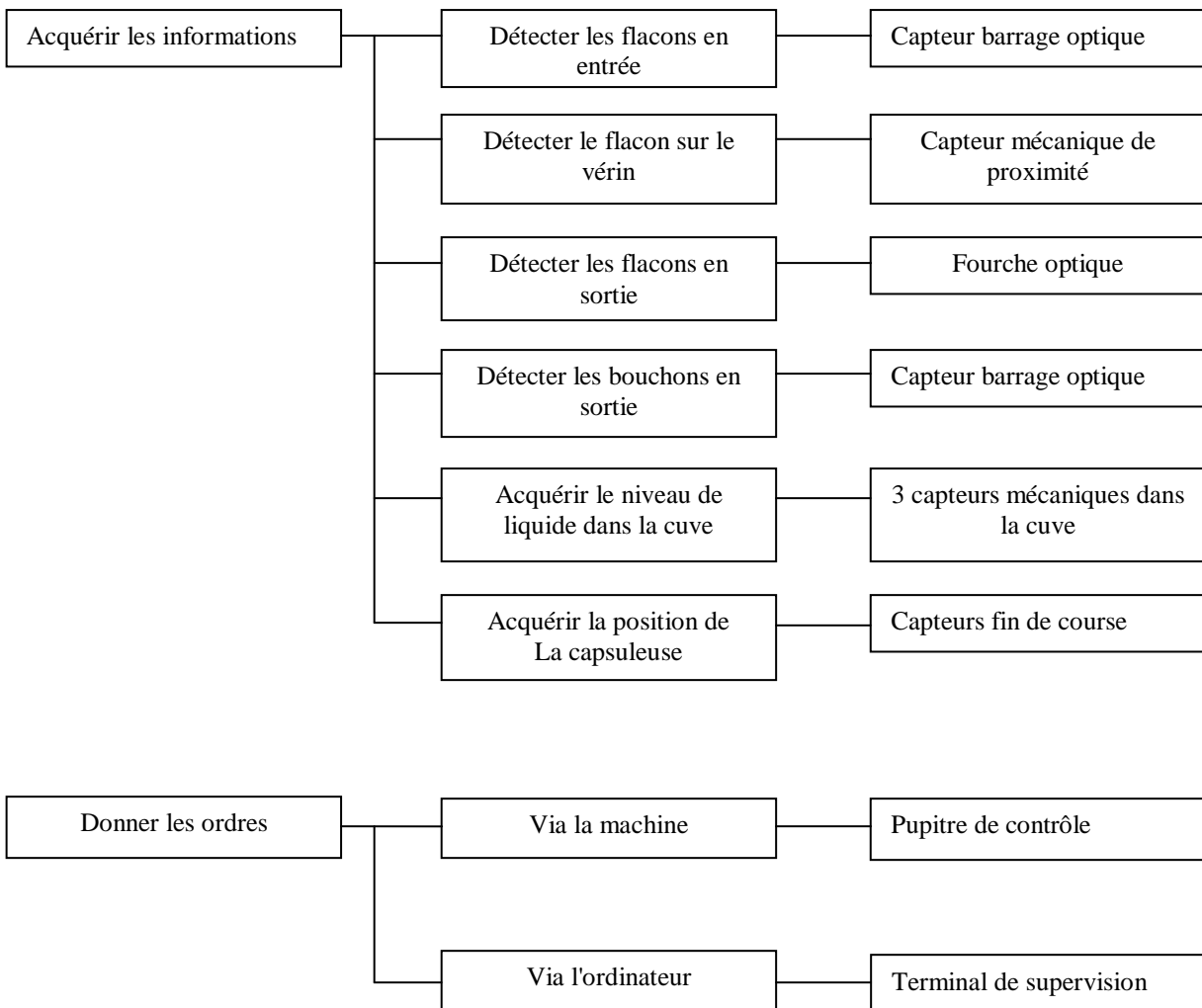
4.3.2- Diagrammes de la Soutireuse :

4.3.2.1- Diagramme de la partie opérative :

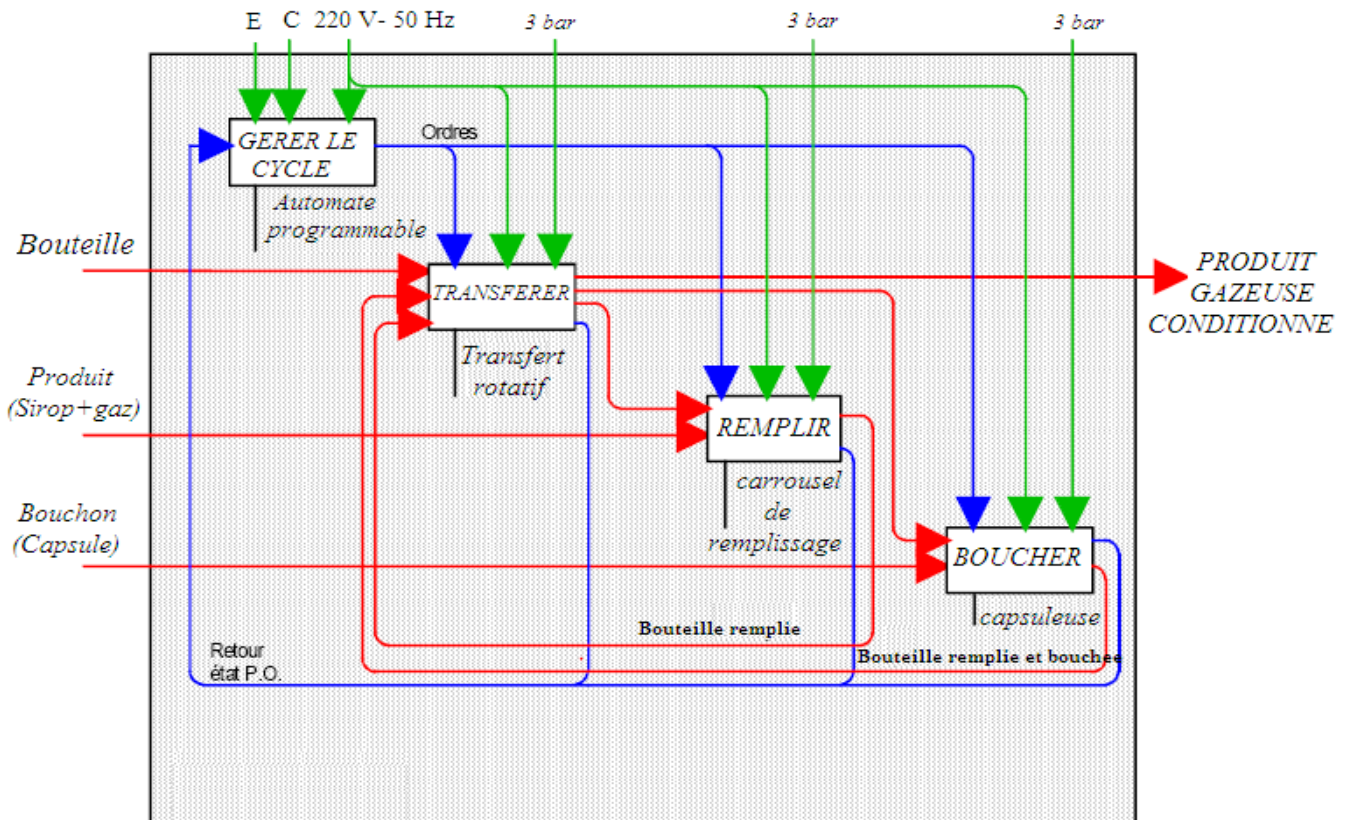




4.3.2.2- Diagramme de la partie commande :



4.3.2.3- Diagramme fonctionnel :



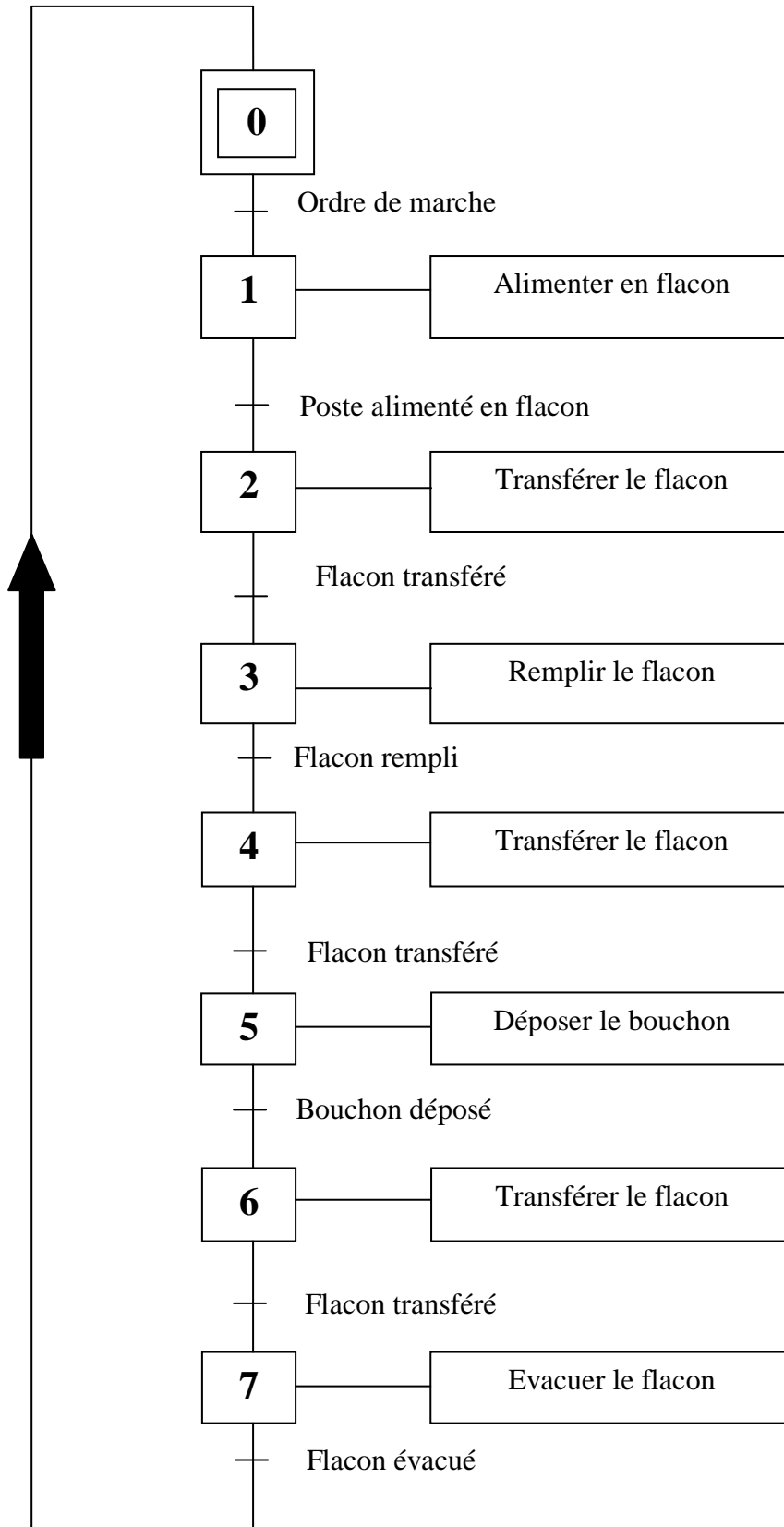
4.3.3- Les Grafcet de la soutireuse :

On a vu précédemment les étapes de fonctionnement de la machine à conditionner des flacons de liquide (la Soutireuse).

Initialement le système est sous énergies, en mode automatique et en position initiale.

- ✓ Dès que l'utilisateur donne l'ordre de marche, le cycle peut commencer.
- ✓ Il y a alimentation en flacon.
- ✓ Dès que le poste est alimenté en flacon, il y a transfert du flacon.
- ✓ Dès que le flacon est transféré, il y a remplissage du flacon.
- ✓ Dès que le flacon est rempli, il y a transfert du flacon et dépose du bouchon.
- ✓ Dès que le flacon est transféré et que le bouchon est déposé, il y a capsulage du bouchon.
- ✓ Dès que le bouchon est capsulé, il y a transfert du flacon.
- ✓ Dès que le flacon est transféré, il y a évacuation du flacon rempli et bouché.
- ✓ Dès que le flacon est évacué, un cycle va pouvoir recommencer.

Grafct de la machine :



Conclusion générale

Ce projet nous a permis d'accéder à un domaine important qui a permis à certains pays d'occuper les premiers rangs de l'industrie de pointe. Elle nous a permis aussi de voir différentes technologies des systèmes automatisés utilisés dans l'industrie, comprendre le fonctionnement de ces systèmes et les différents organes nécessaires pour celles-ci, en plus faire la maintenance sur place des machines, ce qui fait appel au sens du raisonnement et à la capacité d'adaptation de l'élève ingénieur, et met en pratique les connaissances acquises tout au long de notre cursus.

L'organisation, la planification, et la gestion du temps ont été des paramètres essentiels durant la réalisation de ce travail.

A la fin de ce projet on peut dire que l'automatisation est une nécessité pour l'homme dans tous les domaines et non seulement un luxe.

L'étude que nous avons menée n'est que préliminaire, on recommande que d'autres études soient menées dans l'axe et qui englobent les thèmes suivants :

- ❖ Réalisation d'un prototype réel de l'automatisation mécanique au sein du laboratoire.
- ❖ Faire des études pareilles pour l'automatisation des machines outils pour la mécanique (tours, fraiseuses...etc.) qui travaillent en série afin d'augmenter le rendement sans nuire à la qualité ni à la quantité.
- ❖ Réalisation des programmes Grafset et appliqués avec les nouveaux logiciels de simulation tel que IRIS (relie avec langage de programmation Automgen).
- ❖ Encouragement à ouvrir des portes vers le monde industriel à travers des projets de terrain des différentes installations existantes dans des usines étatiques et privées.

Bibliographie

- [1] P. DUMAS, « *Informatique industrielle* », édition Dunod 2001.
- [2] G. ASCH, « *Capteurs et instrumentation industrielle* », édition Dunod 1983.
- [3] J-L. FANCHON, « *Guide des sciences et technologies industrielles* », édition Nathan 2004.
- [4] J-Y. FABERT, « *AUTOMATISMES et AUTOMATIQUE* », édition Ellipses 2005.
- [5] Daniel ETIEMBLE, « *Opérateurs logiques* », Technique de l'ingénieur. Réf. E 180.
- [6] A. MEZIANI « *étude automatique d'une commande pneumatique d'une perceuse* », ENP, Algérie, 1990.
- [7] M. Mohamed amine ALMANI, M. Rabah BOUKRA « *Etudes et applications a la maquette pédagogique « convoyeur as-i » de Schneider Electric* », ENP, Algérie, 2008.
- [8] Mohamed Abdelmoumène CHERGHI « *Etude de synthèse sur les systèmes de communication industrielle – Application au convoyeur de bouteille de la chaine de production de PEPSI COLA* », ENP, Algérie, 2004.
- [9] *Circuit puissance pneumatique*, PowerPoint de Jean-Louis Hû, téléchargeable à l'adresse suivante :
<http://perso.wanadoo.fr/hu.jean-louis/ressourc/auto/telecha/puispneu.zip>

Catalogue :

- [10] Notice technique « *ALSIM Remplisseuse* ». Remplisseuse Mod. RL-V rév.002 du 21.10.97

Webographie :

- [11] <http://www.prm.ucl.ac.be/cours/meca2755/docu/pneumatique1.pdf>
- [12] philippe.berger2.free.fr/coursn6.htm
- [13] www.positron-libre.com
- [14] www.lab.ens2m.fr/cours_automatiqueindex.html/www.lab.ens2m.fr/cours_automatique
- [15] Philippe COGNARD, « *Machines d'emballage, Liquides en bouteille* », Technique de l'ingénieur. Réf. AG 6600.

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE A : Codes binaires

1- Le code binaire pur :

Le code binaire pur est une représentation numérique en base deux. Cette représentation permet de représenter des nombres sous forme de 1 et de 0, ou de décrire l'évolution des variables vraies ou non vraies d'un système automatisé, c'est cette possibilité que nous allons utiliser. Le nombre de combinaisons possibles des variables se calcule de la façon suivante :

- 1 variable d'entrée $2^1 = 2$ combinaisons de sortie.
- 2 variables d'entrée $2^2 = 4$ combinaisons de sortie.
- 3 variables d'entrée $2^3 = 8$ combinaisons de sortie.
- 4 variables d'entrée $2^4 = 16$ combinaisons de sortie.
- n variables d'entrée 2^n combinaisons de sortie.

S.A à 1 variable

0
1

S.A à 2 variables

0	0
0	1
1	0
1	1

S.A à 3 variables

0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

S.A à 4 variables

0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	0	1
1	1	1	0
1	1	1	1

2- Le code binaire réfléchi :

Lorsque l'on regarde ligne par ligne l'évolution du code binaire pur, on remarque que pour passer d'une ligne à l'autre, plusieurs variables peuvent être amenées à changer de valeur simultanément. Ceci est très gênant lorsque l'on cherche à analyser le comportement d'un système en fonction de ses entrées. Un autre code binaire a été mis au point, c'est le code binaire réfléchi ou code GRAY du nom de son inventeur. Ce code permet de passer d'une ligne à l'autre de la description d'un système avec l'évolution d'une seule variable à la fois. Ce code permettra de définir l'évolution d'un système automatisé. En aucun cas il ne pourra servir de base de comptage comme le binaire pur. On utilisera ce codage ultérieurement dans ce cours pour la définition des tableaux de Karnaugh.

Exemple :

Binaire pur :

0	0	0	1 changement
0	0	1	2 changements
0	1	0	1 changement
0	1	1	3 changements
1	0	0	1 changement
1	0	1	2 changements
1	1	0	1 changement
1	1	1	

Binaire réfléchi :

0	0	0	
0	0	1	1
0	1	1	
0	1	0	b
1	1	0	2
1	1	1	
1	0	1	
1	0	0	

c a
d e

Le binaire réfléchi est construit par symétrie de lignes. Le groupement "a" est reproduit en "b" symétriquement par rapport à la ligne 1. Les groupements "a" et "b" sont reproduits en "e" symétriquement par rapport à la ligne 2. La même règle prévaut pour les groupements "c" et "d". La suite se construit à l'identique. On remarque alors qu'une seule variable, la variable rouge, évolue d'une ligne à l'autre.

ANNEXE B : Symboles Normalisés pour schémas [3]

Symboles normalisés pour schémas électriques NF EN 60617					
Nature du courant et de la tension		Conducteurs, repérage, bornes et connexions			
Courant continu		Trois conducteurs		Mise à la terre ou terre (symbole général)	
Courant alternatif		Conducteur sous écran		Conducteur, terre de protection	
Alternatif triphasé, neutre, 50 Hz, 400 V	3/N ~ 50 Hz 400	Trois conducteurs dans un même câble		Barette à bornes, bornier	
Courant redressé avec composante alternative		Liaison flexible		Borne ou dérivation (cercle noir)	
Polarité négative Polarité positive	- +	Paire coaxiale		Masse, châssis	
Conducteur neutre Conducteur médian	N M	Faisceau de trois conducteurs		Équipotentialité	

Dispositifs de connexion					
Prise femelle		Barrette de connexion		Dérivation, liaison en T	
Fiche mâle		Connecteur mâle mâle avec prise de dérivation		Double dérivation, double liaison en T	
Fiche et prise associée		Fiche et prise coaxiale		Ensemble de connecteurs accouplés	

Résistances - Condensateurs et inductances					
Résistance (général)		Condensateur (général)		Impédance	
Résistance variable ou réglable		Condensateur variable		Thermistance	
Élément chauffant		Condensateur de traversée		Inductance, bobine	
Résistance variable à contact mobile		Inductance à noyau magnétique		Inductance variable par contact mobile et par échelons	

Semiconducteurs					
Diode à semiconducteur symbole général		Diode à capacité variable		Diode tunnel, diode Esaki	
Diode électroluminescente		Diode symétrique Diac		Diode unitunnel	
Diode utilisant l'effet de la température		Diode à effet de claquage dans un seul sens, Zener		Diode à effet de claquage dans les deux sens	
Détecteur à semiconducteur		Diode Schottky		Photodiode	

Thyristor diode bloqué en inverse		Thyristor diode passant en inverse		Thyristor triode type non spécifié	
Thyristor triode bloqué en inverse, gâchette P		Thyristor triode passant en inverse, gâchette P		Thyristor tétrade bloqué en inverse	
Thyristor triode bloqué en inverse, gâchette N		Thyristor triode passant en inverse, gâchette N		Thyristor triode symétrique TRIAC	
Transistor PNP		Transistor avalanche NPN		Transistor NPN avec collecteur à l'enveloppe	
Transistor NPN avec base polarisée transversalement		Transistor à effet de champ type P ou N		Transistor à jonction unique base P ou N	
Transistor PNIP avec connexion à la région intrinsèque		Transistor PNIN avec connexion à la région intrinsèque		Amplificateur à circuit intégré linéaire (ACIL)	
Phototransistor PNP		Photorésistance		Coupleur optique Photocoupleur isolateur optique	
Cellule photovoltaïque		Magnétorésistance type linéaire		Générateur Hall avec 4 connexions	

Appareils mécaniques de connexion-Fusibles							
Contacteur		Disjoncteur		Discontacteur automatique par relais		Fusible (symbole général)	
Sectionneur		Rupteur		Interrupteur sectionneur		Fusible interrupteur	

Contacts - Commutateurs - Interrupteurs					
Contact à fermeture		Contact à ouverture retardé à la fermeture		Contact à fermeture retardé à la fermeture	
Contact à ouverture		Contact à ouverture à retour automatique		Contact à fermeture à retour automatique	
Contact à ouverture tardive		Contact à ouverture anticipée		Contact à fermeture à position maintenue	
Contact à fermeture tardive		Contact à fermeture anticipée		Contact à 2 directions et position médiane de coupure	
Contact à 2 directions côté 1 : retour automatique côté 2 : position maintenue		Contact à fermeture à commande manuelle (symbole général)		Bouton-poussoir à fermeture et à retour automatique	
Tirette à fermeture à retour automatique		Bouton rotatif à fermeture sans retour automatique		Interrupteur de position « 0 » : contact à l'ouverture	
Interrupteur à fermeture fonctionnant sous l'effet de la température		Interrupteur statique (symbole général)		Interrupteur de position « P » : contact à la fermeture	
Contacteur statique (à semiconducteur)		Interrupteur agissant par effet thermique exemple : bilame		Interrupteur agissant par effet thermique contact d'un relais thermique	

Relais électromécanique - Capteurs						
Organes de commande d'un relais (symbole général)		ou	Mise au travail retardé		Mise au repos retardé	
Relais thermique			À mise au travail et mise au repos rapides		À mise au travail et mise au repos retardées	
Capteur sensible à une proximité			Capteur sensible à l'effleurement		Dispositif sensible à une proximité (symbole fonctionnel)	

Dispositifs généraux de commande							
Actionneur manuel «cas général»		Par pédale		Par levier		Par clef	
Par poussoir		Poussoir de sécurité		Électromagnétique		Par moteur électrique	

Signalisation							
Lampe		Type de lampe	Ne : néon Xe : xénon I : iode Hg : mercure	ARC : arc Na : vapeur de sodium UV : ultraviolet IR : infrarouge	IN : incandescence EL : électroluminescence FL : fluorescence LED : diode électroluminescente	RD : rouge BU:bleu YE : jaune GN : vert WH : blanc	
Clignotant		Sonnerie		Horloge (symbole général)		Convertisseur de signal	

Appareils de mesure (cercles pour indicateurs, carrés pour enregistreurs, rectangle pour compteurs)							
Ampèremètre		Voltmètre		Wattmètre		Enregistreur Wattmètre	
Oscilloscope		Multimètre		Ampèreheuremètre		Watheuremètre	
Compteur d'impulsions électriques		Affichage numérique (symbole général)		Thermocouple			

Machines électriques - Transformateurs - Convertisseurs - Démarreurs							
Redresseur		Onduleur		Démarreur (symbole général)		Générateur (symbole général)	
Machine (symbole général)		* = C, G, GS... avec C = commutatrice G = génératrice M = moteur	C = commutatrice G = génératrice M = moteur	GS = générateur synchrone MG = moteur ou génératrice MS = moteur synchrone		Élément de pile ou d'accumulateur	
Moteur linéaire		Moteur pas à pas		Moteur série monophasé		Moteur asynchrone triphasé à rotor à court-circuit	
Moteur asynchrone triphasé à rotor à bagues		Moteur à courant continu à excitation série		Moteur à courant continu à excitation en dérivation (shunt)			
Alternateur synchrone triphasé à aimant permanent		Transformateurs à deux enroulements		Autotransformateur			

Principaux symboles hydrauliques et pneumatiques NF ISO 1219-1, NF E 04-057					
Conduites - Raccordements - Réservoirs - Accumulateurs - Sources d'énergie - Clapets					
Conduite de travail alimentation retour		Raccord rapide sans clapet		Source de pression hydraulique	
Conduite de pilotage		Raccord rapide avec clapet		Source de pression pneumatique	
Conduite d'évacuation des fuites		Raccords rapides accouplés		Réservoir à l'air : - conduite débouchant au-dessus du fluide	
Conduite flexible		Raccord rotatif à une voie		- conduite débouchant au-dessous du fluide	
Ligne électrique		Raccord rotatif à trois passages		- à conduite en charge	
Raccordement de conduites		Purge d'air continue		Réservoir sous pression	
Croisement de conduites		Purge d'air temporaire		Accumulateur (position verticale seulement)	
Orifice ou voie fermée		Évacuation d'air non connectable		Accumulateur hydro-pneumatique	
Silencieux (air)		Évacuation d'air connectable		Clapet de non retour piloté à l'ouverture	
Clapet de non retour sans ressort		Clapet de non retour avec ressort		Clapet de non retour à étrang- lement réglable	

Appareils de conditionnement - Limiteurs de pression - Échangeurs de chaleur - Réducteurs de débits - Sélecteurs					
Filtre, crépine		Purgeur à commande manuelle		Purgeur à commande automatique	
Déshydrateur		Lubrificateur		Limiteur de pression (soupape de sureté)	
Filtre avec séparateur		Robinet vanne		Réducteur de pression détendeur	
Régulateur de température		Refroidisseur ou réfrigérant		Groupe de conditionnement d'air	
Réchauffeur		Sélecteur de circuit		Soupape d'échappement rapide	
Réducteur de débit non réglable		Réducteur de débit réglable		Diviseur de débit	

Appareils complémentaires					
Indicateur de pression		Manomètre		Thermomètre	
Indicateur de niveau		Manomètre différentiel		Débitmètre	

Distributeurs					
2/2 normalement fermé		3/2 normalement fermé		Distributeur 4/2	
2/2 normalement ouvert		3/2 normalement ouvert		Distributeur 5/2	

Modes de commandes							
Commande musculaire		Commande mécanique		Commande électrique		Commande directe par pression	
- Manuelle générale		- Poussoir ou palpeur		- Électro-aimant à un enrouleur		- Augmentation de pression d'huile	
Bouton - poussoir		- Ressort		- Électro-aimant à deux enrouleurs		- Augmentation de pression d'air	
- Levier		- Galet		- Moteur électrique		- Diminution de pression d'huile	
- Pédale		- Galet escamotable		- Combinaison électro-aimant et pression d'air		- Diminution de pression d'air	
Dispositif de verrouillage (* symbole à insérer)		Basculeur (détente brusque)		Encliquetage (maintien en position)			

Vérins - Multiplicateurs et échangeurs de pression (voir aussi page 490)					
Vérin simple effet rappel par force non définie (hydraulique)		Vérin simple effet rappel par ressort (pneumatique)		Vérin télescopique simple effet (hydraulique)	
Vérin double effet simple tige (pneumatique)		Vérin double effet à double tige traversante (pneumatique)		Vérin différentiel (hydraulique)	
Vérin avec amortissement fixe d'un côté (pneumatique)		Vérin avec amortissement fixe des deux côtés (pneumatique)		Vérin avec amortissement réglable des deux côtés	
Multiplicateur de pression à une nature de fluide		Multiplicateur de pression à deux natures de fluide		Échangeur de de pression air huile	

ANNEXE C : Caractéristiques de la soutireuse ALSIM [10]

Caractéristiques de l'installation

Milieu	
Climat	
Température maximum	40 °C
Humidité maximum	80 %
Altitude maximum (m au d.n.m)	1000 m
Tensions	
Tension de ligne	380 V
Fréquence	50 Hz
Tension auxiliaires	24 V
Connexions de puissance	
Puissance installée	15 Kw

Production machine

Capacité bouteille (l)	Contenu de CO ₂ (volume)	Température de remplissage	Vitesse (bouteilles/heure)
0,33 l	Max 8 g/l	10°C	20.000 bph
1 l	Max 8 g/l	10°C	8.000 bph

Pression et consommations

	Pression d'alimentation	Consommation
Produit	7,5 bar	
CO ₂	12 ÷ 16 bar	15 ÷ 250 kg/h
Air comprimé	7 ÷ 8	400 ÷ 550 NI/1'
Eau de lavage	3 bar	Max. 150 l/1'

Réglage contrôles

Pression commande	5 bar
Pression instruments	1,4 bar
Pression vérins	3 bar