

المسيلة في: 19 نوفمبر 2023

الرقم 344/2023

مستخلص اللجنة العلمية للقسم بتاريخ: 2023-11-14

بخصوص مطبوعة الدروس

بخصوص مطبوعة الدروس المنجزة من طرف الأستاذ عبدو عبد الحق أستاذ محاضر قسم "أ" بجامعة باتنة تحت عنوان: « Commande Hydraulique et Pneumatique » فقد اطلعت اللجنة على التقارير الواردة من طرف لجنة الخبراء المكونة من الأستاذ بن دايدة عبد الملك أستاذ محاضر "أ" بجامعة محمد بوضياف بالمسيلة ، الأستاذ ددفاد المبروك أستاذ محاضر "أ" بجامعة محمد بوضياف بالمسيلة و الأستاذ بوزقو حسان أستاذ بجامعة مصطفى بن بولعيد باتنة 2 والتي كانت كلها ايجابية، لهذا فان اللجنة لا ترى مانعا أن تتخذة سندا في تدريس طلبة السنة الأولى ماستر كهروميكانيك في ميدان علوم و تكنولوجيا و أن تعتمد في أي تقييم للمسار العلمي للأستاذ المعني.

رئيس اللجنة العلمية

أ.د بوقرة عبد الرحمان



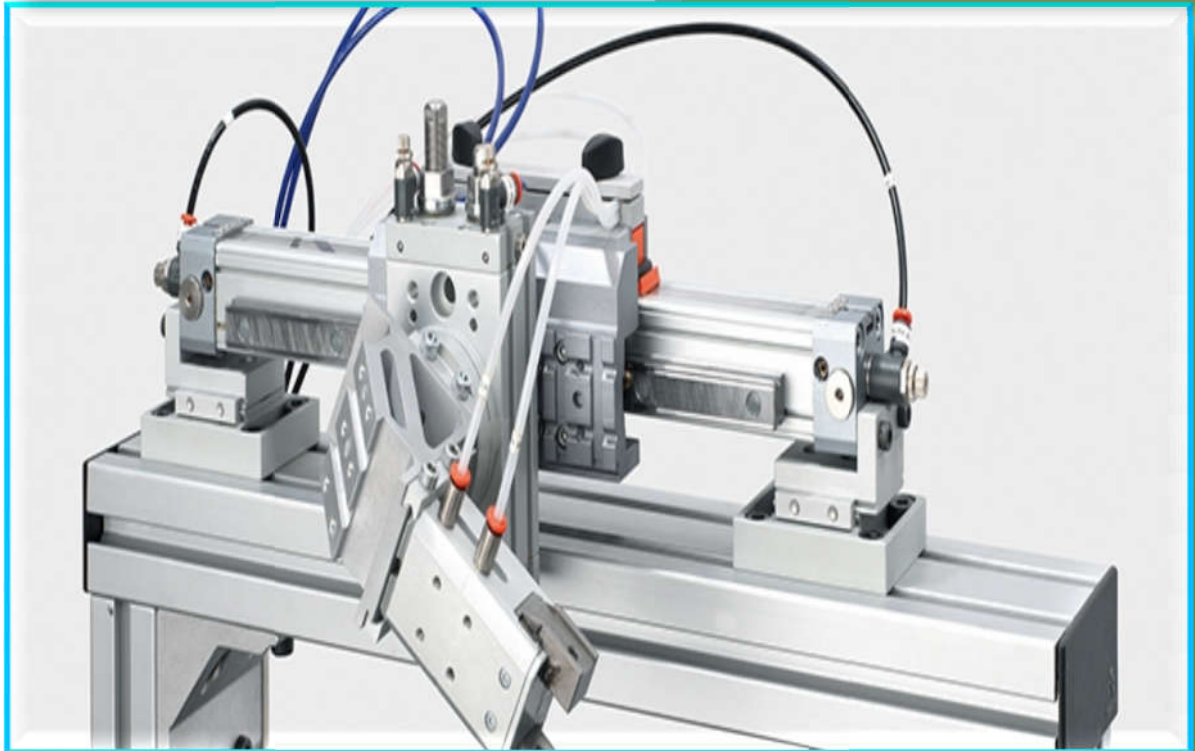


Université Mohamed BOUDIAF - M'sila

Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique



Support de Cours:
Commande
Hydraulique et Pneumatique



Polycopie de Cours Expertisé par :

Préparé par :
Dr . Abdelhak ABDOU

Nom & prénom	Grade	Etablissement
BOUZGOU Hacene	Prof	Université Batna 2
DEFDAF Mabrouk	MCA	Université de Msila
BENDAIKHA Abdelmalik	MCA	Université de Msila

*Support de cours destiné aux étudiants :
1^{ère} année Master Électromécanique
Spécialité : Électromécanique*

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Mohamed BOUDIAF - M'sila



Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique

Support de cours

Commande Hydraulique et Pneumatique

Support de cours destiné aux étudiants

1ère année Master

Filière: Électromécanique

Spécialité : Électromécanique

Préparé par :

Dr Abdelhak ABDOU

abdelhak.abdou@univ-msila.dz



*Ce document constitue un support du cours
et ne prétend donc ni à l'originalité, ni à l'exhaustivité.
Ces notes doivent beaucoup aux emprunts faits à de nombreux ouvrages
et à différents travaux de collègues.*

Contenu de la matière

Semestre: 2

Unité d'enseignement: UEF 1.2.1

Matière 1: Commande hydraulique et pneumatique

VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)

Crédits: 4

Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Permettre à l'étudiant d'acquérir des connaissances sur la conception, le fonctionnement et le calcul des éléments intervenants dans les systèmes automatisés industriels basés sur les énergies hydraulique et pneumatique.

Connaissances préalables recommandées:

Circuits logiques, mécanique des fluides, machine hydrauliques et pneumatiques.

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Energies hydraulique et pneumatique dans la chaîne fonctionnelle d'un système (02 semaines)

- Définitions des énergies hydraulique et pneumatique
- Stockage et alimentation en énergie: systèmes d'alimentation, systèmes de stockage, systèmes de conditionnement (filtres, déshydrateurs, lubrificateurs), systèmes de sécurité (régulateur de débit), systèmes de mesure
- Types des convertisseurs d'énergie (types des vérins, des pompes ...)
- Distributeurs (modulateurs) d'énergie (présentation, types et désignation des distributeurs)
- Schématisation conventionnelles des éléments hydrauliques et pneumatiques

Chapitre 2. Les circuits d'hydraulique industrielle (05 semaines)

- Description générale
- Schématisation de circuit hydraulique
- Centrale hydraulique (Constitution)
- Les pompes volumétriques et ces grandeurs associées (calculs des cylindrée, des débits, des puissances, des rendements et du couple d'entraînement, 'exemple de calcul')
- Les récepteurs hydrauliques: Les vérins (dimensionnement, pression, section, vitesse, rendement et puissance), Les moteurs hydrauliques (définition, types et calculs, 'exemple de calcul')
- Les appareils de protection et de régulation (clapets, limiteurs et réducteurs de pression et de débit, valves ...)
- Les huiles, caractéristiques et choix,

Chapitre 3. Les circuits d'automatismes pneumatiques (04 semaines)

- Description
- Constitution et schématisation d'une installation d'air comprimé (éléments de production de l'air comprimé, les vérins pneumatiques, les raccords, les modules de conditionnement de l'air comprimé)
- Les symboles pneumatiques
- Exemples de circuits

Chapitre 4. Les systèmes automatisés de production (SAP) (04 semaines)

- Définition et exemple de système automatisé.
- Description d'un système automatisé:
 - Parties opérative: constitution, exemples de capteurs, exemples d'actionneurs (électriques, hydraulique et pneumatiques)
 - Parties commande: constitution, mode de commande direct (boucle fermée), mode de commande avec compte-rendu d'exécution (ou boucle fermée)
 - Interface homme/machine
- L'automate programmable industriel (API): principes, périphérie de l'API, conception modulaire de l'API (modules TOR, modules de communication)
- Outils de représentation: par GRAFCET (définition, normes du GRAFCET et éléments graphiques de base, exemples) ou par organigramme de programmation.

Table des matières

Contenu de la matière	i
Table des matières	ii
Table des Figures.....	iv
Avant propos	vii
Introduction générale	1
Chapitre I Energies hydraulique et pneumatique dans la chaîne fonctionnelle d'un système	2
I.1 Généralités sur les Systèmes Hydrauliques et Pneumatiques	2
I.1.1 Introduction	2
I.1.2 Définitions	2
I.1.3 Comparatif.....	3
I.2 Chaîne d'énergie hydraulique/pneumatique-mécanique	3
I.2.1 Chaîne d'énergie hydraulique-mécanique	4
I.2.2 Chaîne d'énergie pneumatique-mécanique	5
I.3 Stockage et alimentation en énergie.....	6
I.3.1 Système de stockage.....	6
Chapitre II Les Circuits d'Hydraulique Industrielle	7
II.1 Introduction	7
II.1.1 Définition de l'hydraulique	7
II.2 Description générale.....	8
II.3 Schématisation de circuit hydraulique	9
II.4 Centrale hydraulique	10
II.5 Les pompes volumétriques.....	12
II.5.1 Caractéristiques des pompes volumétriques.....	13
II.5.2 Classification des pompes volumétriques.....	16
II.6 Les récepteurs hydrauliques	29
II.6.1 Vérins hydrauliques	29
II.7 Caractéristiques des actionneurs hydrauliques.....	32
II.7.2 Actionneurs rotatifs : les moteurs hydrauliques	35
II.8 Appareils de protection et de régulation.....	37
II.8.1 Limiteur de pression	37
II.8.2 Réducteur de pression.....	38
Chapitre III Les circuits d'automatismes pneumatiques	39
III.1 Structure générale d'un circuit de puissance pneumatique	39
III.2 Organes récepteurs	39
III.3 Stockage et alimentation en énergie.....	40

III.3.1	Système de stockage.....	41
III.3.2	Système de conditionnement.....	41
III.4	Type des convertisseurs d'énergie.....	45
III.4.1	Convertisseurs linéaires -Les vérins-.....	45
III.4.2	Convertisseurs rotatifs.....	47
III.5	Distributeurs (Modulateurs) d'énergie pneumatique ou hydraulique.....	49
III.5.1	Fonction.....	49
III.5.2	Symbolisation.....	50
III.6	Schématisation conventionnelles des éléments hydrauliques et pneumatiques.....	55
Chapitre IV	Les systèmes automatisés de productions (SAP).....	57
IV.1	Introduction.....	57
IV.2	Système automatisé de production.....	57
IV.2.1	Définitions.....	57
IV.2.2	Fonction globale d'un système automatisé de production.....	58
IV.2.3	Constituants d'un système.....	59
IV.3	Structure d'un système automatisé de production.....	60
IV.4	Différents types de commande.....	64
IV.4.1	Système automatisé combinatoire.....	64
IV.4.2	Système automatisé séquentiel (ou à événements discrets) :.....	65
IV.5	Automate Programmable Industriel API.....	66
IV.5.1	Introduction.....	66
IV.5.2	Fonctionnement.....	67
IV.5.3	Aspect extérieur des API.....	67
IV.5.4	Insertion de l'API dans un système automatisé.....	68
IV.5.5	Structure d'un A.P.I.....	69
Références		71

Table des Figures

Chapitre I. Energies hydraulique et pneumatique dans la chaîne fonctionnelle d'un système

Fig I. 1 : Association moteur et pompe.	6
Fig I. 2 : Stockage de l'énergie.	6
Fig I. 3 : Filtre.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 4 : Régulateur.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 5 : Mono-détendeur.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 6 : Lubrificateur.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 7 : Unité de conditionnement.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 8 : Régulateurs de débit.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 9 : Manomètre.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 10 : Vérin simple effet.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 11 : Fonctionnement d'un vérin simple effet.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 12 : Vérin double effet.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 13 : Fonctionnement d'un vérin double effet.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 14 : flux d'énergie entrant et sortant.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 15 : Vérin rotatif.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 16 : Exemple de moteur pneumatique (ou hydraulique) : moteur à palettes 1 et 2 sens.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 17 : Principe d'utilisation d'un distributeur.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 18 : Constituant et symbolisation d'un distributeur.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 19 : Exemples de Pilotage des distributeurs.	Erreur ! Signet non défini.
Fig I. 20 : Repérage des orifices d'un distributeur.	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre II Les circuits d'hydraulique industrielle

Fig II. 1 : Synoptique d'un circuit de transport des liquides.	8
Fig II. 2 : Disposition d'un système hydraulique.	9
Fig II. 3 : Exemple d'un schéma d'une installation hydraulique.	10
Fig II. 4 : Centrale hydraulique.	11
Fig II. 5 : Pompes de cylindrées différentes.	13
Fig II. 6 : Pompe à engrenage extérieur.	18
Fig II. 7 : Pompe à lobes.	19
Fig II. 8 : Pompe à engrenage intérieur.	20
Fig II. 9 : Pompe à palettes.	23
Fig II. 10 : Pompe à vis.	24

Fig II. 8 : Circuit de commande (logique câblée).....	38
Fig II. 9 : Programme en langage LD du circuit de commande du moteur asynchrone.....	38
Fig II. 10 : Programme en langage FBD du circuit de commande du moteur asynchrone.	Erreur ! Signet non défini.
Fig II. 11 : Système de perçage automatique.....	Erreur ! Signet non défini.
Fig II. 12 : Solution GRAFCET du système de perçage automatique.	Erreur ! Signet non défini.
Fig II. 13 : Programmation en SFC de la Solution GRAFCET du système de perçage automatique.	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre III Les circuits pneumatique industrielle

Fig III. 1: Organes récepteurs.....	39
Fig III. 2: Organes récepteurs.....	40
Fig III. 3: Association moteur et pompe.....	40
Fig III. 4: Stockage de l'énergie.....	41
Fig III. 5: Filtre.....	42
Fig III. 6: Régulateur.....	42
Fig III. 7: Mono-détendeur.....	42
Fig III. 8: Lubrificateur.....	43
Fig III. 9: Unité de conditionnement.....	43
Fig III. 10: Régulateurs de débit.....	44
Fig III. 11: Manomètre.....	44
Fig III. 12: Vérin simple effet.....	45
Fig III. 13: Fonctionnement d'un vérin simple effet.....	45
Fig III. 14: Vérin double effet.....	46
Fig III. 15: Fonctionnement d'un vérin double effet.....	46
Fig III. 16: flux d'énergie entrant et sortant.....	47
Fig III. 17: Vérin rotatif.....	48
Fig III. 18: Exemple de moteur pneumatique (hydraulique) : moteur à palettes 1 et 2 sens....	48
Fig III. 19: Exemple de moteur pneumatique (ou hydraulique).....	49
Fig III. 20: Principe d'utilisation d'un distributeur.....	49
Fig III. 21: Constituant et symbolisation d'un distributeur.....	50
Fig III. 22: Exemples de Pilotage des distributeurs.....	52
Fig III. 23: Repérage des orifices d'un distributeur.	54
Fig III. 3 : Schéma de principe d'un système séquentiel.....	65

Chapitre IV Les systèmes automatisés de productions (SAP)

Fig IV. 1: Fonction globale d'un système.	58
Fig IV. 2: Structure d'un système automatisé.	60
Fig IV. 3: les composants des différentes parties d'un système automatisé.....	63
Fig IV. 4: Exemple d'un SAP « Chaine de Palettisation »	63
Fig IV. 5: Exemple de capteurs utilisés dans SAP.	64
Fig IV. 6: Schéma de principe d'un système combinatoire.....	64
Fig IV. 7: Système automatisé combinatoire, exemple transfert de boites.	65
Fig IV. 8: Schéma de principe d'un système séquentiel.....	65
Fig IV. 9: Système automatisé, exemple transfert et rangement de boites 3 par 3.	66
Fig IV. 10: Principe d'Automate.....	67
Fig IV. 11: API compacts.....	68
Fig IV. 12: API modulaires.	68
Fig IV. 13: API dans un milieu industriel.	69
Fig IV. 14: Structure externe d'API lieu industriel.	70

Liste des Tableaux

Tableau I. 1 : Tableau comparatif pneumatique / hydraulique.....	3
Tableau I. 2 : Différence entre système hydraulique et système pneumatique.	3
Tableau I. 3 : Exemples de distributeurs.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau I. 4 : Symboles pneumatique.	Erreur ! Signet non défini.

Avant propos

Description générale

Ce cours est destiné aux étudiants de niveau Master 1 Electromécanique option Electromécanique. Il s'adresse également aux personnes voulant s'initier ou avoir un aperçu général sur automates programmables industriels.

Objectifs

Les objectifs poursuivis par ce cours peuvent être assez variés. On peut retenir quelques uns :

- Fonctionnement et utilisation des organes pneumatiques et hydrauliques,
- Désignation et illustration de symboles pneumatiques et, hydrauliques
- Illustration des schémas de circuits hydrauliques et pneumatiques par norme
- Permettre à l'étudiant d'acquérir des connaissances sur la conception, le fonctionnement et le calcul des éléments intervenants dans les systèmes automatisés industriels basés sur les énergies hydraulique et pneumatique.

Connaissances préalables recommandées

- Maîtrise ou connaissances suffisantes sur systèmes logiques combinatoires et séquentiels ;
- Comprendre les principes des systèmes automatisés,
- Mécanique des fluides, machine hydrauliques et pneumatiques.

Plan du cours

La structure de ce support de cours est conforme aux directives et programmes officiels. Il est axé principalement sur 4 chapitres :

Chapitre 1. : Energies hydraulique et pneumatique dans la chaîne fonctionnelle d'un système,

Chapitre 2. : Les circuits d'hydrauliques industriels,

Chapitre 3. : Les circuits d'automatismes pneumatiques,

Chapitre 4. : Les systèmes automatisés de production (SAP).

Introduction générale

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

Les énergies pneumatiques et hydrauliques sont fréquemment utilisées dans les systèmes industriels.

Dans les systèmes hydrauliques et pneumatiques, l'énergie est transmise par l'intermédiaire d'un fluide sous pression circulant dans un circuit.

Les schémas de circuits facilitent la compréhension, l'étude et la description des installations. Afin d'éviter toute confusion et erreur lors du développement, de la réalisation de l'installation et de sa maintenance, il est indispensable que la représentation de ces schémas soit normalisée.

L'organisme international de normalisation (ISO) a élaboré la norme ISO 1219 définissant les symboles graphiques hydrauliques et pneumatiques (ISO 1219-1)

L'objet de ce cours est de présenter rapidement ces énergies et leurs caractéristiques

Chapitre I **ÉNERGIES HYDRAULIQUE ET PNEUMATIQUE** **DANS LA CHAÎNE FONCTIONNELLE D'UN SYSTÈME**

I.1 Généralités sur les Systèmes Hydrauliques et Pneumatiques

I.1.1 Introduction

Les énergies pneumatiques et hydrauliques sont fréquemment utilisées dans les systèmes industriels. L'énergie pneumatique et l'énergie hydraulique sont couramment utilisées dans la partie opérative d'un système automatisé ; la source de cette énergie est soit l'air comprimé ou de l'huile sous pression.

*La **pneumatique** est une science qui traite les mécanismes et les lois régissant l'écoulement d'air sous pression.*

*L'**hydraulique** est une science et technique qui traitent les lois régissant l'écoulement des liquides.*

L'hydraulique et la pneumatique ont des champs d'application qui diffèrent par les propriétés du fluide sous pression qu'elles utilisent : un liquide pratiquement incompressible pour l'hydraulique, un gaz très compressible pour la pneumatique. C'est pourquoi ces deux techniques font l'objet d'études séparées. La différence essentielle entre les deux chaînes (information et énergie) est le niveau des pressions relatives mises en jeu, pour le circuit de puissance elle est de l'ordre de 6 à 8 bar pour la pneumatique et peut atteindre 250 bar et plus pour l'hydraulique, par contre pour le circuit de commande elle est de l'ordre de 3 Bar en pneumatique, mais pour l'hydraulique elle est de 10 bar.

I.1.2 Définitions

- **Énergie pneumatique** : Le fluide utilisé est de l'air comprimé.
- **Énergie hydraulique** : Le fluide utilisé est une huile hydraulique minérale ou difficilement inflammable.
- **Débit** : Noté Q , il caractérise la quantité de fluide qui se déplace. Le débit est une grandeur de flux. Son unité (SI) est le m^3/s . On utilise de manière usuelle le litre par minute (L/min).
- **Pression** : Notée p , elle caractérise la capacité du liquide à se déplacer. La pression est une grandeur d'effort. Elle représente l'effort du fluide (exprimé en N) par unité de surface (exprimée en m^2) :
1 Pa = 1 N·m⁻². Cette unité très petite est souvent remplacée par le MPa.
Unité SI : le pascal (Pa). Unité usuelle : le bar (avec 1 bar = 1. 10⁵ Pa).
- **Pression atmosphérique** : elle est de 1013 mbar, à 20 °C et 65 % d'humidité relative.

I.1.3 Comparatif

Le tableau suivant résume les avantages et inconvénients pour les deux systèmes pneumatiques et hydrauliques.

Tableau I. 1 : Tableau comparatif pneumatique / hydraulique.

	Pneumatique	Hydraulique
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - maintenance facile - commande simple (souvent tout ou rien) - démarrage en charge vitesse importante - Chaîne d'énergie 6 bar 	<ul style="list-style-type: none"> - rapport poids/puissance - charge importante - précision position - démarrage en charge - vitesses lentes 250 bar
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - position imprécise (air compressible) - efforts limités 	<ul style="list-style-type: none"> - maintenance délicate - cher - dangereux (pression élevée) - vitesses lentes

Tableau I. 2 : Différence entre système hydraulique et système pneumatique.

PNEUMATIQUE	HYDRAULIQUE
Utilise de l'air (du gaz) pour transférer l'énergie.	Utilise de l'huile pour transférer l'énergie.
Le refroidissement de l'air pose problème.	Le chauffage et le refroidissement du fluide hydraulique posent problème.
Utilise un compresseur pour créer la pression.	Utilise une pompe pour créer la pression.
Le gaz (l'air) utilisé est compressible.	Le liquide (fluide hydraulique) utilisé est incompressible.
Utilise des éléments filtrants complexes.	Utilise des éléments filtrants simples.
Le système est bruyant.	Le système est (un peu plus) silencieux.
Il s'agit d'un système ouvert.	Il s'agit d'un système fermé.
Transmet de petites forces.	Transmet de grandes forces.

I.2 Chaîne d'énergie hydraulique/pneumatique-mécanique

On rappelle qu'un système automatisé peut être représenté par deux chaînes communiquant entre elles, une chaîne d'information et une autre d'énergie :

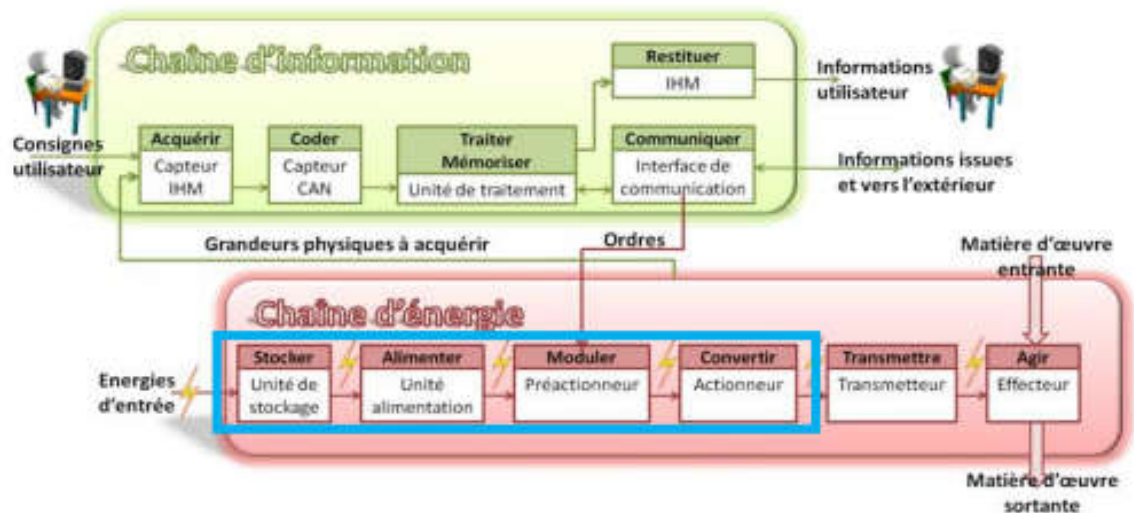


Fig I. 1 : Représentation structurelle d'un système automatisé en chaîne d'énergie et chaîne d'information

Concernant la chaîne d'énergie, elle comporte cinq fonctions génériques :

- Alimenter en énergie et stocker.
- Moduler ou distribuer cette énergie.
- Convertir ou transformer l'énergie.
- Transmettre l'énergie.
- Agir sur la matière d'œuvre.

La différence essentielle entre les deux chaînes (information et énergie) est le niveau des pressions relatives mises en jeu

I.2.1 Chaîne d'énergie hydraulique-mécanique

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement d'une certaine masse d'un liquide (huile, eau... etc.), il s'agit d'une énergie cinétique

Cette énergie sera transformée en énergie mécanique selon la chaîne d'énergie suivante :

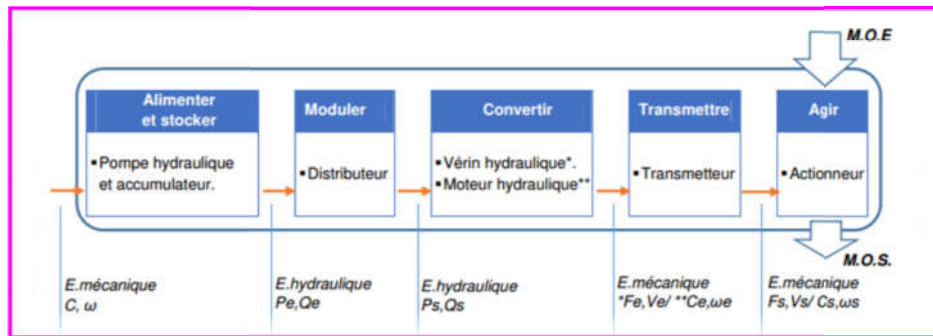


Fig I. 2 : Représentation globale d'une chaîne d'énergie hydraulique-mécanique.

- La fonction alimenter et stocker est assurée par une pompe hydraulique entraînée par un moteur électrique ou thermique.
- La fonction moduler ou distribuer est assurée par un distributeur hydraulique.
- La fonction convertir permet la conversion de l'énergie hydraulique en énergie mécanique linéaire, l'organe assurant ceci est le vérin hydraulique, on peut aussi convertir cette énergie en énergie mécanique rotative, l'organe assurant cela est le moteur hydraulique.

I.2.2 Chaîne d'énergie pneumatique-mécanique

L'énergie pneumatique est l'énergie fournie par le mouvement d'une certaine masse de gaz (l'air par exemple), il s'agit d'une énergie cinétique.

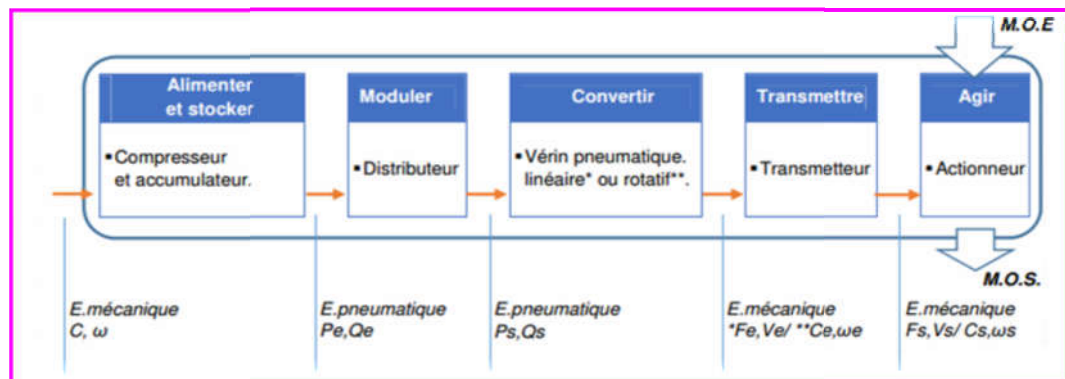


Fig I. 3 : Représentation globale d'une chaîne d'énergie pneumatique-mécanique.

Cette énergie sera transformée en énergie mécanique selon la chaîne d'énergie indiquée ci-dessus :

- La fonction alimenter et stocker est assurée par un compresseur.
- La fonction moduler ou distribuer est assurée par un distributeur pneumatique.
- La fonction convertir permet la conversion de l'énergie pneumatique en énergie mécanique, l'organe assurant ceci est le vérin pneumatique.

I.3 Stockage et alimentation en énergie

Pour obtenir de l'énergie pneumatique, on utilise un compresseur. L'énergie hydraulique est obtenue grâce à des pompes.

Les pompes ou les compresseurs sont actionnés par un moteur électrique ou thermique. Dans les systèmes pneumatiques, la circulation d'air se fait généralement en circuit ouvert. Dans le cas des systèmes hydrauliques, le fluide est en circuit fermé. Cela impose des conditions sur les constituants des réseaux.



Fig I. 4 : Association moteur et pompe.

I.3.1 Système de stockage

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



Fig I. 5 : Stockage de l'énergie.

Chapitre II **LES CIRCUITS D'HYDRAULIQUE INDUSTRIELLE**

II.1 Introduction

Aujourd'hui, l'hydraulique se révèle essentielle pour les grandes machines de fabrication et de production. Car, l'hydraulique est devenue indispensable à tous ceux qui en réalisent les applications dans l'industrie moderne.

Les systèmes hydrauliques se retrouvent partout dans les installations industrielles qui requièrent de la force, de la flexibilité et de la fiabilité.

L'automatisation ainsi que la nouvelle génération de produits de grande qualité confirment de plus en plus le rôle primordial que joue l'hydraulique.

II.1.1 Définition de l'hydraulique

Hydraulique a pour racine le mot grec '**hudor**' qui signifie l'eau (ou liquide quelconque).

L'hydraulique est la science qui traite et étudie le comportement et les problèmes posés par l'emploi des fluides en mouvement ou au repos.

Dans un système industriel, L'hydraulique se traduit par la transmission de l'énergie à distance par l'intermédiaire d'un liquide. Il en résulte un mouvement :

- Rectiligne avec travail dans un seul sens : vérin simple effet.
- Rectiligne avec travail dans les deux sens : vérin double effet.
- Circulaire avec travail dans les deux sens: moteur hydraulique ou vérin rotatif.

Domaines d'application de l'hydraulique.

- Machine-outil : presses à découper, presses à emboutir, presses à injecter, bridage de pièces, commande d'avance et de transmission de mouvements, ...
- Engins de travaux publics : pelleuse, niveleuse, bulldozer, chargeuse, ...
- Machines agricoles : benne basculante, tracteur, moissonneuse-batteuse, ...
- Manutention : chariot élévateur, monte-charge, ...

Avantages des systèmes hydrauliques

Les systèmes hydrauliques offrent de nombreux avantages et permettent en particulier :

- La transmission de forces et de couples élevés ;
- Une grande souplesse d'utilisation ;

- Une très bonne régulation de la vitesse des actionneurs, du fait de l'incompressibilité du fluide ;
- La possibilité de démarrer les installations en charge ;
- Une grande durée de vie des composants, du fait de la présence de l'huile.

Inconvénients des systèmes hydrauliques

Les systèmes hydrauliques engendrent aussi des inconvénients :

- Risques d'accident dus à la présence de pressions élevées (50 à 700 bars);
- Fuites entraînant une diminution du rendement ;
- Pertes de charge dues à la circulation du fluide dans les tuyauteries ;
- Risques d'incendie, l'huile est particulièrement inflammable ;
- Technologie coûteuse (composants chers, maintenance préventive régulière).

II.2 Description générale

Un circuit d'hydraulique industrielle est constitué de 3 parties :

- **1^{ère} partie** : Source d'énergie : c'est un générateur de débit. (centrale hydraulique)
- **2^{ème} partie** : Récepteur hydraulique : transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique.(vérin, moteur hydraulique)
- **3^{ème} partie** : liaison entre les deux zones précédentes, elle est constituée de distributeurs, d'éléments de liaison (tuyaux) et d'éléments d'accessoires (appareils de mesure, de protection, de stockage d'énergie et de régulation).

Dans les transmissions hydrauliques, l'énergie primaire est mécanique (produite par un moteur électrique, thermique ...) et l'énergie fournie au récepteur est également mécanique. Cette énergie est transportée sous la forme débit x pression, ce qui explique la grande facilité de contrôle et de régulation que l'on a dans ces transmissions .

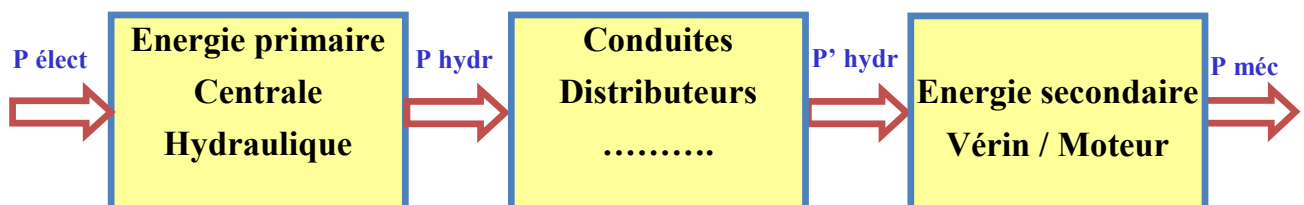


Fig II. 1 : Synoptique d'un circuit de transport des liquides.

II.3 Schématisation de circuit hydraulique

Pour transmettre et contrôler l'énergie par des fluides hydrauliques, un système de composants hydrauliques est nécessaire. Avant de comprendre le fonctionnement d'un système, la fonction et le fonctionnement de toutes les parties du système doivent être assimilées.

L'emplacement des composants hydrauliques dans un système type est représenté sur la figure ci-dessous

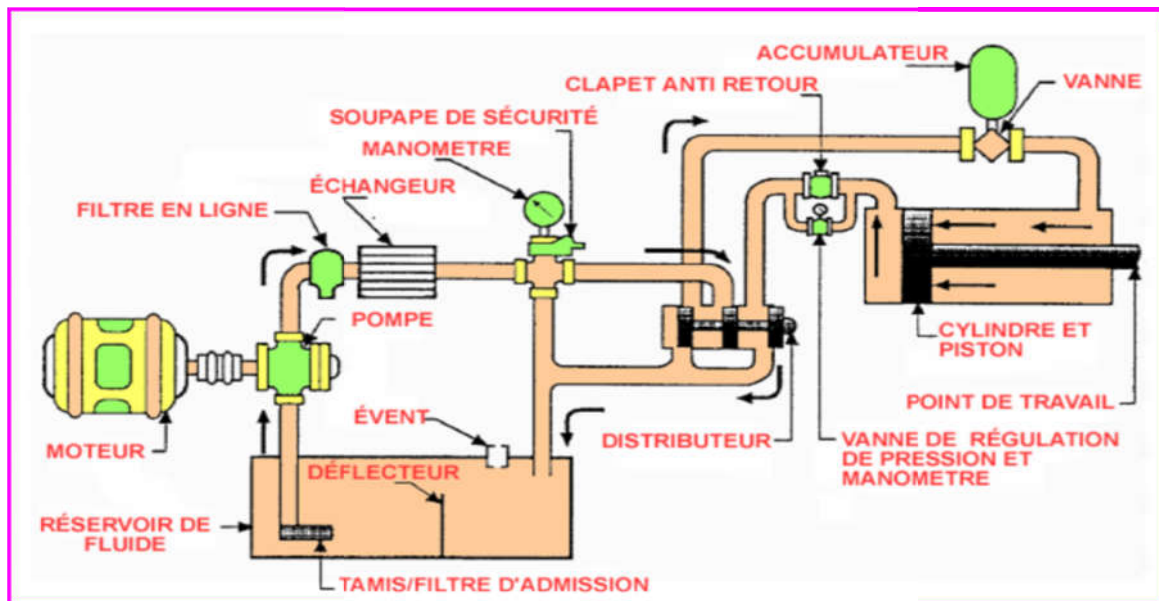


Fig II. 2 : Disposition d'un système hydraulique.

Un circuit d'hydraulique industriel est représenté schématiquement par des symboles conventionnels normalisés. Le rôle d'un schéma hydraulique est de donner un moyen pratique et simple de représentation d'une installation hydraulique.

Un schéma hydraulique représente toujours l'équipement en position repos ou initiale, il nous permet de comprendre le fonctionnement de l'installation d'une part et d'autre part ils nous aident à détecter les défaillances et par suite savoir où on doit intervenir.

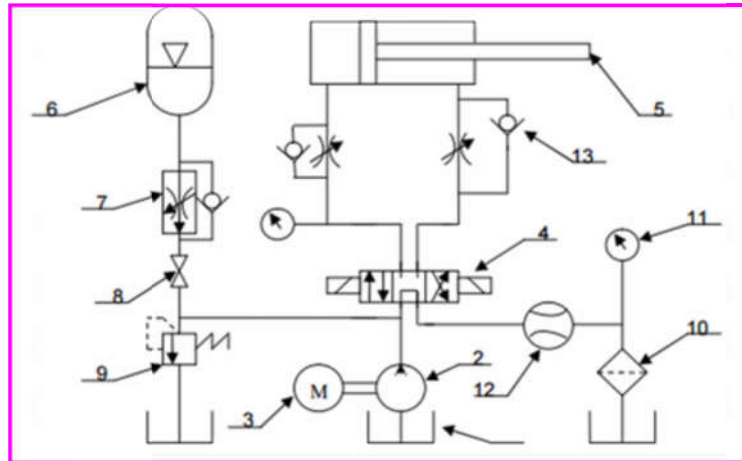


Fig II. 3 : Exemple d'un schéma d'une installation hydraulique.

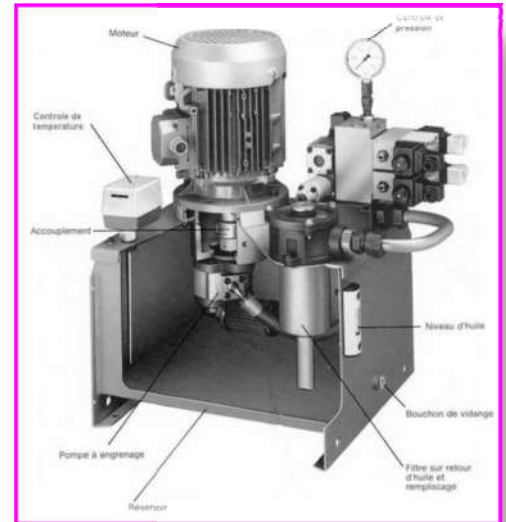
Tableau II. 1 Légende des constituants d'une installation hydraulique.

Rép	Désignation	Fonction
1	Réservoir	Stocker le fluide
2	Pompe hydraulique	Générer la puissance hydraulique
3	Moteur électrique	Actionner la pompe
4	Distributeur 4/3	Distribuer la puissance hydraulique au vérin
5	Vérin double effet	Transformer la puissance hydraulique en puissance mécanique
6	Accumulateur Stocker	l'énergie hydraulique et la restituer en cas de besoin
7	Régulateur de débit	Régler le débit et la vitesse du fluide
8	Vanne	Distribuer ou interrompre le passage du fluide
9	Limiteur de pression	Protéger l'installation contre les surpressions
10	Filtre	Empêcher les impuretés de s'infiltrer dans les organes sensibles
11	Manomètre	Indiquer la valeur de la pression
12	Débitmètre	Indiquer la valeur de débit
13	Clapet anti-retour	Autoriser le passage du fluide dans un seul sens

II.4 Centrale hydraulique

Le rôle d'une centrale hydraulique est la conversion de l'énergie mécanique en énergie hydraulique.

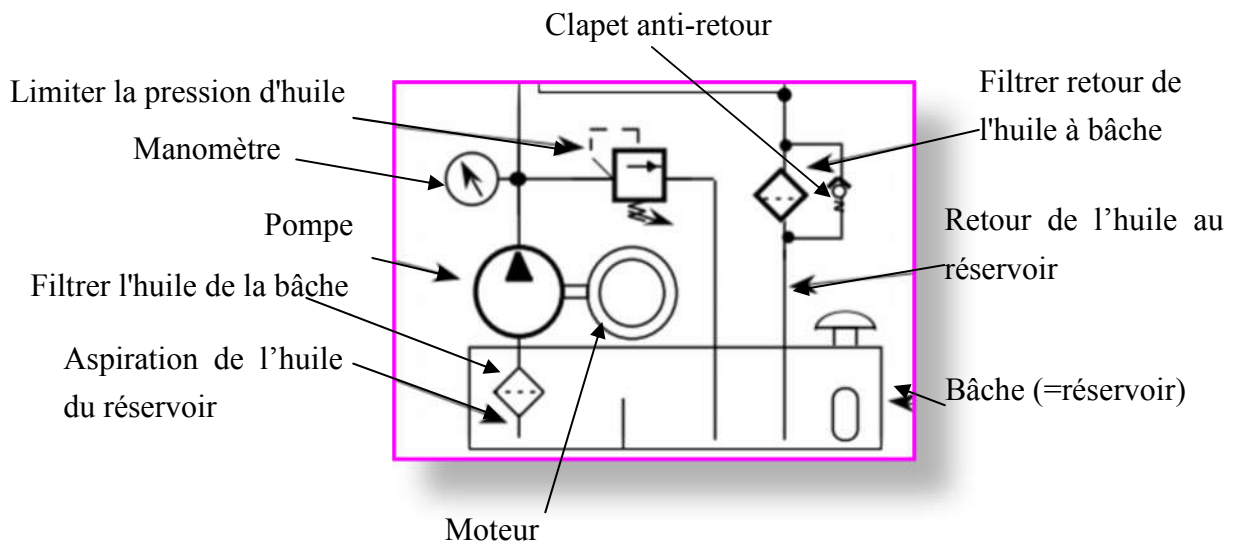
Elle est constituée essentiellement d'un réservoir d'huile, d'un moteur et d'une pompe, ainsi que des éléments accessoires tels que le réservoir, le système de filtration ou crépine et d'autres composantes.



a.

Synoptique

b. Photo



b. Schéma

Fig II. 4 : Centrale hydraulique.

- **Moteur** : entraîne l'arbre de la pompe en rotation. Il est électrique pour les installations fixes et il est thermique pour les installations mobiles.
- **Réservoir** : Le réservoir a pour rôle principalement de stocker l'huile et d'assurer l'alimentation de la pompe. Il permet aussi le refroidissement, la décantation (séparation des liquides et des solides) et la désémulsion de l'huile (séparation de gaz).

➤ **Filtre** : La plupart des pannes qui surviennent dans un système hydraulique proviennent du mauvais état de l'huile. La présence des impuretés dans l'huile entraîne une usure excessive des composants du circuit. Le filtre élimine ces impuretés.

Un filtre peut être placé soit à l'aspiration de la pompe (protège la pompe mais augmente la perte de charge) ou dans la canalisation de retour au réservoir (nécessité d'avoir un clapet by-pass pour éviter les surpressions dans les circuit en cas de colmatage) ou bien au refoulement (pour assurer la protection particulière d'un organe sensible)

➤ **Limiteur de pression** : Il est appelé aussi soupape de sûreté.

Son rôle est de protéger la pompe et les composants de circuit contre les surcharges. Il doit être toujours monté en dérivation avec le circuit. Il est fermé au repos et lorsqu'il y a surcharge (la pression à la sortie de la pompe est supérieure à celle de réglage), il s'ouvre et laisse passer l'huile au réservoir.

➤ **Manomètre** : Il permet la visualisation de la valeur de pression à fin d'assurer le réglage.

➤ **Pompe** : La pompe est destiné à transformer une énergie mécanique fournie par un moteur ,en énergie hydraulique , son rôle se limite à aspirer l'huile de réservoir et de la refouler.

Les pompes utilisées dans les circuits d'hydraulique industrielle sont de type volumétrique.

II.5 Les pompes volumétriques

Une pompe volumétrique transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique, elle aspire l'huile contenu dans le réservoir puis le refoule sous pression dans les tuyauteries.

La définition d'une pompe hydraulique

Toutes les pompes génèrent un débit. Elles fonctionnent sur un principe que l'on appelle la cylindrée.

La cylindrée est le volume de liquide déplacé durant chaque cycle (révolution) de la pompe, c'est-à-dire qu'elles prennent le fluide et le déplacent vers un autre point.

La cylindrée peut prendre deux formes :

➤ **Non volumétrique** : dans les quelles la chambre d'admission et la chambre de refoulement où le fluide est expulsé ne sont pas séparées l'une de l'autre par des pièces mécaniques rigides. Ces pompes n'ayant pas d'étanchéité interne ne permettent pas de gain de pression important. Elles fournissent des débits élevés sous de faibles pressions et sont surtout utilisées comme pompes de transfert. On les appelle aussi, les pompes centrifuges :

➤ **Volumétrique** : ou hydrodynamiques (volumétriques), dans lesquelles la chambre d'admission est séparée par des pièces mécaniques rigides de la chambre de refoulement, ce qui assure l'étanchéité entre ces deux chambres

En ce sens, il existe deux grandes catégories de pompes hydrauliques :

- **Les pompes à cylindrée fixe** : Elles déplacent le même volume de liquide à chaque cycle. Ce volume change uniquement lorsque l'on change la vitesse de la pompe.
- **Les pompes à cylindrée variable** : Elles peuvent varier le volume de liquide déplacé à chaque cycle, sans forcément changer de vitesse. Ces pompes disposent d'un mécanisme interne qui fait varier la puissance de sortie du liquide, généralement pour maintenir une pression constante dans le système.

Il existe plusieurs types de pompes hydrauliques volumétriques, mais le fonctionnement de tous les types de pompes repose sur le même principe:

- Lorsque la pompe est mise en marche par l'intermédiaire de sa source motrice (moteur électrique ou thermique), les pièces mobiles internes se déplacent et attirent l'air qui se trouve dans la canalisation du côté de l'admission de la pompe.
- Ce mouvement des pièces internes crée un vide partiel.
- La pression atmosphérique agit alors sur la surface du liquide contenu dans le réservoir en poussant ce fluide vers l'admission de la pompe.
- Le fluide est ensuite entraîné par les pièces mobiles et finalement refoulé vers le système hydraulique à actionner.

II.5.1 Caractéristiques des pompes volumétriques

Les grandeurs qui caractérisent les pompes sont:

II.5.1.a. La cylindrée:

C'est la quantité d'huile engendrée (aspirée ou refoulée) pendant un cycle. Elle s'exprime en volume/cycle comme par exemple : cm^3/tr (moteur et pompes).

Plus la cylindrée d'une pompe est grande, plus les dimensions géométriques de la pompe sont importantes.

La figure 1.2 vous montre trois pompes du même type, mais ayant des cylindrées différentes.



Fig II. 5 : Pompes de cylindrées différentes.

On distingue deux sortes de cylindrées:

- La **cylindrée géométrique (ou théorique)** qui est calculée sur plan à partir des dimensions et formes du composant. Cette cylindrée ne tient pas compte des fuites internes, c'est celle qu'aurait le composant s'il était parfait.
- La **cylindrée réelle** qui tient compte des fuites internes. Ces fuites dépendent de nombreux paramètres : viscosité de l'huile, pression d'utilisation, vitesse d'utilisation, âge du composant ... La cylindrée réelle est donc variable et fonction de ces paramètres. Ces cylindrées sont déterminées par les constructeurs (essais) et sont indiquées dans les catalogues en fonction des différents paramètres.

II.5.1.b. Le rendement volumétrique η_v

Il caractérise les fuites internes de ces composants et dépend évidemment des mêmes paramètres que la cylindrée réelle.

- Le **rendement mécanique $\eta_{méc}$** : caractérise les pertes par frottements et les pertes de charge internes.
- Le **rendement global η_g ou η** : Il caractérise le rapport entre la puissance entrant dans le composant et celle en ressortant (définition de tout rendement énergétique). Ce rendement ne peut être déterminé que par des essais et il est indiqué par les constructeurs sous forme de tableaux ou de courbes.

$$\eta_g = \eta_v \times \eta_m$$

II.5.1.c. Bilan

a) Cylindrée (Cyl) :

$$C_{yl} = V \cdot \eta_e \cdot \eta_c$$

Avec

- V : Volume d'un élément.
- η_e : nombre d'éléments.
- η_c : nombre de course par tour.

b) Débit théorique :

$$Q_{th} = C_{yl} \cdot N$$

Avec

- Q_{th} : Débit théorique en l/mn.
- C_{yl} : Cylindrée en l.
- N : Vitesse de rotation en tr/mn.

c) Débit réel :

$$Q_{réel} = Q_{th} \cdot \eta_v = C_{yl} \cdot N \cdot \eta_v$$

d) Couple d'entraînement :

C'est le couple nécessaire à l'entraînement de la pompe :

$$C.2 \pi = C_{yl} \cdot \Delta P$$

- C : Couple en mN.
- C_{yl} : Cylindrée en m³.
- ΔP : différence de pression entre l'aspiration et le refoulement en Pascal.

Dans le cas où la cylindrée C_{yl} est exprimée en l et ΔP en **bar** on a :

$$C.2 \pi = C_{yl} \cdot (10^{-3}) \cdot \Delta P \cdot (10^5) \Rightarrow C = (C_{yl} \cdot \Delta P \cdot (10^2) / 2 \pi) \Rightarrow C = 15.9 \cdot C_{yl} \cdot \Delta P$$

e) Rendement :

Les pertes sont au niveau hydraulique (fuites internes) et aussi au niveau mécanique (les frottements). Nous aurons donc :

$$\eta_g = \eta_v \cdot \eta_{méca}$$

Avec :

- η_g : Rendement global d'une pompe.
- η_v : Rendement volumétrique.
- $\eta_{méca}$: Rendement mécanique.

$$\eta_{méca} = C_{entrée} / C_{utilisé}$$

f) Puissance à l'entraînement:

$$P = C \cdot \omega = 15.9 \cdot C_{yl} \cdot \Delta P \cdot \pi \cdot N / 30$$

- ω : Vitesse d'entraînement en rd/s.
- N : Vitesse d'entraînement en tr/mn.

Or la cylindrée est :

$$C_{yl} = Q / N \Rightarrow P = C \cdot \omega = ((10^2) / 2 \pi) \cdot (Q / N) \cdot \Delta P \cdot \pi \cdot N / 30 \Rightarrow P = (Q \cdot \Delta P / 0.6)$$

Pour plus de commodité, la puissance théorique (en KW) :

$$P_{th} = (Q \cdot \Delta P / 600)$$

En tenant compte des rendements volumétrique et mécanique, la puissance à l'entrée d'une pompe sera donc :

$$P_e = (Q \cdot \Delta P / 600 \cdot \eta_g)$$



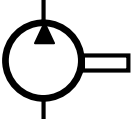
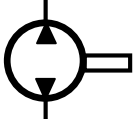
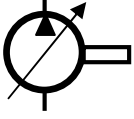
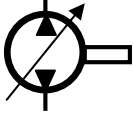
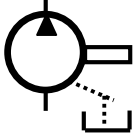
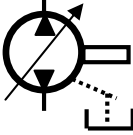
II.5.1.d. Symboles

Le symbole générale est donné par :

Le tableau suivant complète le symbole des pompes hydraulique tout en introduisant :

- Sens ,
- Cylindrée fixe ou variable,
- Avec ou sans drain.

Tableau II. 2 Symbole des pompes hydrauliques.

Pompe à débit constant		Pompe à débit variable		Pompe avec drain	
Pompe à un sens de flux à débit constant	Pompe à deux sens de flux à débit constant	Pompe à un sens de flux à débit variable	Pompe à deux sens de flux à débit variable	Pompe à un sens de flux à débit constant avec drain	Pompe à deux sens de flux à débit variable avec drain
					

II.5.2 Classification des pompes volumétriques

La pompe volumétrique, ou dite à capacité variable, est une pompe dans laquelle l'écoulement du fluide résulte de la variation d'une capacité occupée par le fluide. Son fonctionnement repose sur le principe du mouvement cyclique.

Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse.

On distingue deux types de pompes volumétriques :

- Les pompes alternatives ou à pistons,
- et les pompes rotatives.

Une pompe volumétrique est constituée :

- D'un corps fixe ou Stator,
- D'un ou de plusieurs éléments mobiles participant au déplacement du fluide à l'intérieur de la pompe, d'autres éléments mobiles destinés à mettre en mouvement les éléments précédents.

Pour ce type de pompes, l'entrée et la sortie sont non communicantes grâce à une étanchéité interne, ainsi les fuites seront minimales et les pressions importantes.

Plusieurs principes mécaniques sont mis en œuvre dans la réalisation des pompes, dans ce qui suit quelques réalisations simples seront étudiées.

II.5.2.a. Les pompes à engrenage

Les pompes à engrenages ont très peu de pièces mobiles. Elles sont constituées de deux roues dentées qui s'engrènent l'une dans l'autre. Ces pompes ont également un débit constant. Elles fonctionnent à des pressions comprises en général entre 50 et 210 bar. Les pompes à engrenage sont les pompes fonctionnant avec les vitesses les plus élevées, soit jusqu'à 3000-6000 tr/min.

- Elles sont parmi les plus anciens systèmes de pompage, d'une construction simple.
- Elles répondent aux applications de petite et moyenne puissance avec un prix compétitif.
- Elles appartiennent à la famille des pompes à cylindrée fixe.
- Cependant le niveau sonore de fonctionnement reste élevé.

Il existe deux types de pompes à engrenage : les pompes à engrenage externe et les pompes à engrenage interne.

➤ Les pompes à engrenages extérieur

Les pompes à engrenage externe comportent:

- une roue dentée menée:
- La roue dentée menante reçoit son mouvement d'un moteur (électrique ou thermique).

Ces roues tournent en sens opposé en s'engrenant l'une dans l'autre. En face de l'orifice d'admission, les deux roues dentées se séparent en créant un vide partiel, ce dernier est remplacé par l'huile provenant du réservoir. L'huile est ensuite transportée par les alvéoles formées par le creux des dents et le corps de la pompe. Au fur et à mesure que les dents se réengagent, l'huile est évacuée vers l'orifice de refoulement.

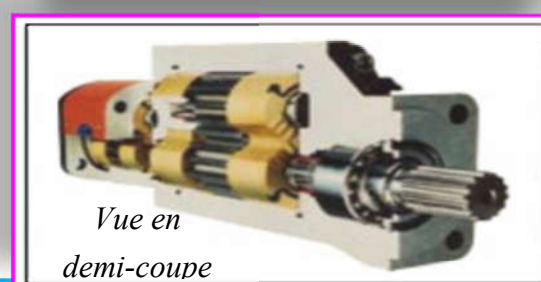
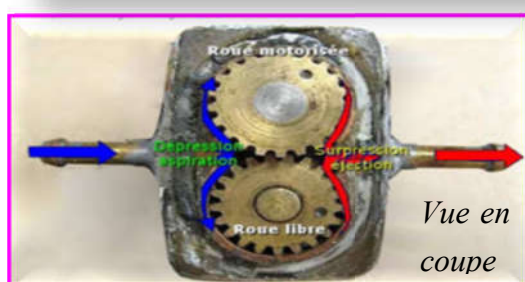
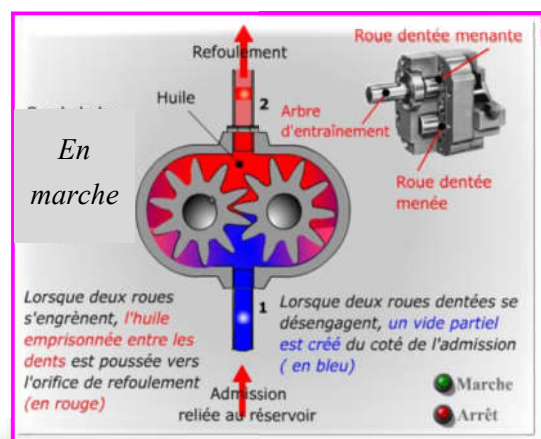
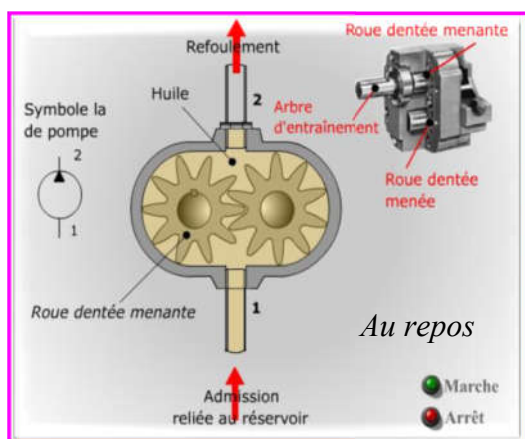


Fig II. 6 : Pompe à engrenage extérieur.

Remarque : Il existe également des pompes à engrenage externe double, rassemblant deux pompes à engrenage entraînées par le même arbre d'accouplement. Une pompe à engrenage externe double a l'avantage d'alimenter deux circuits hydrauliques indépendants mais aussi de fournir un débit plus important à un seul circuit.

Avantages :

- Robustes et économiques
- Faible encombrement
- Prix peu élevé
- Peu de pièces en mouvement, Débit régulier, Marche de la pompe réversible

Inconvénients :

- Bruyante
- Durée de vie moyenne (usure par frottements des engrenages dans le carter).

Caractéristiques :

- Cylindrée 250 cm³/tour maxi,
- Pression de service 200 bars maxi,
- Vitesse de rotation de 800 à 3500 tr/min,
- Rendement relativement faible de 0.7 à 0.8.

Cylindrée :

Dans le cas d'un engrenage à denture droite :

$$Cyl = (\pi \cdot (da^2 - a^2) \cdot b \cdot 10^{-6}) / 2$$

Avec

- Cyl : Cylindrée en l.
- da : Diamètre de tête des pignons en mm
- a : Entraxe entre les deux pignons en mm
- b : Largeur de la denture en mm

➤ Pompes à lobes

Le fonctionnement d'une pompe à lobes est semblable à celui d'une pompe à engrenage externe. Les lobes sont bien plus grands que des dents d'engrenage. Il y a deux ou trois lobes par rotor. Le fluide est emprisonné entre les lobes et le corps de la pompe et il est transmis de l'orifice d'entrée vers l'orifice de sortie. Les pompes à lobes « patinent » plus que les pompes à engrenages. Elles sont utilisées pour déplacer de grands volumes de fluide hydraulique à basse pression.

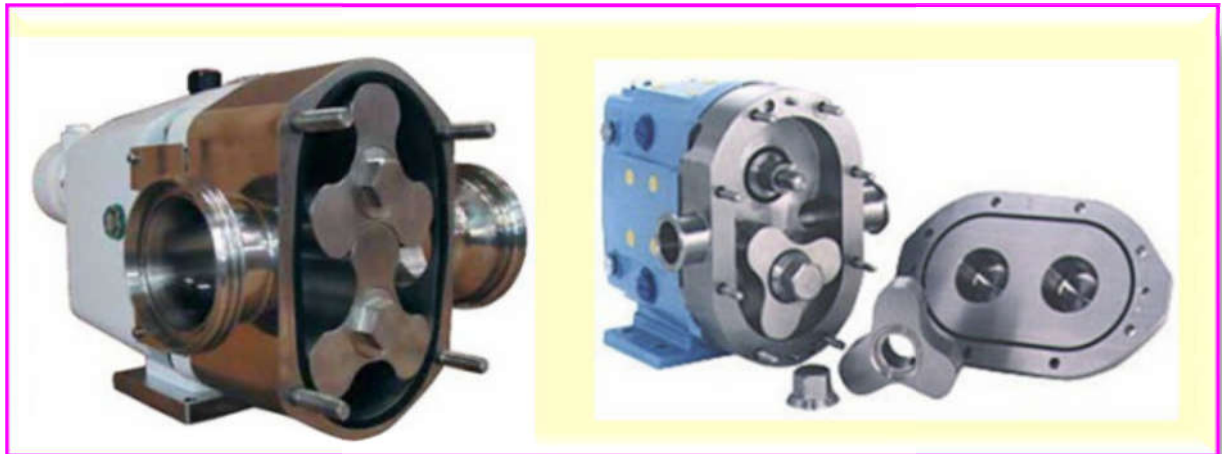


Fig II. 7 : Pompe à lobes.

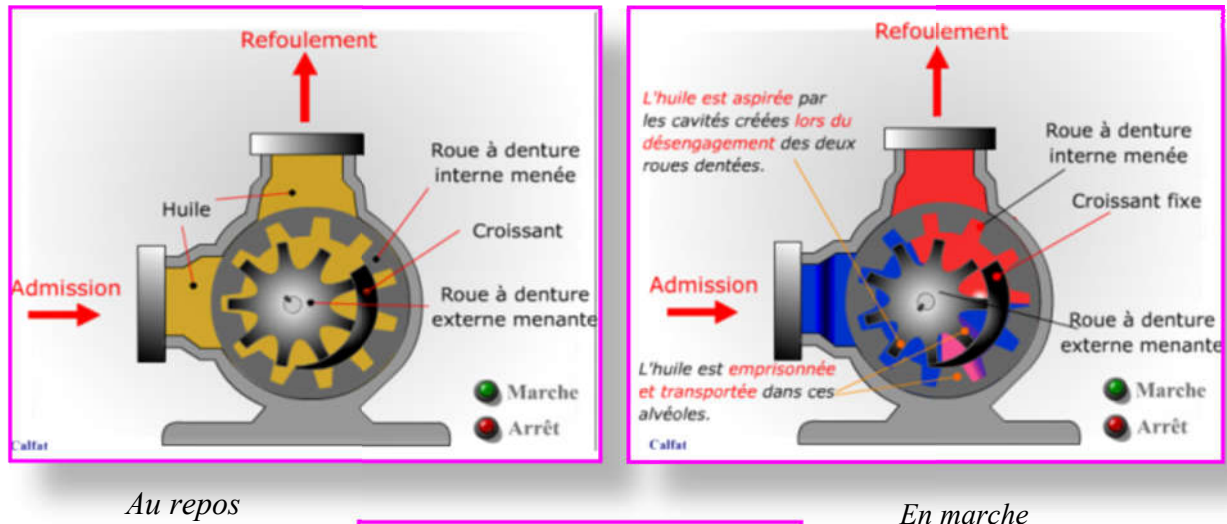
➤ Les pompes à engrenage intérieure

La pompe à engrenage interne à croissant comprend deux roues l'une à denture interne et l'autre à denture externe. Ces roues sont séparées par un croissant fixe qui va séparer entre l'entrée et la sortie. Ce séparateur maintient les pignons écartés et assure l'étanchéité entre les chambres d'admission et de refoulement.

- La roue à denture externe entraîne la roue à denture interne.
- la roue à denture externe est excentrique par rapport à la roue à denture interne;
- les deux roues dentées tournent dans le même sens et Les nombres de dents de la couronne est toujours supérieure de 1 au nombre de dents de la roue.

C'est cette différence du nombre de dents qui permet d'obtenir des chambres d'aspiration et des chambres de refoulement. L'axe de la roue est excentré par rapport à celui de la couronne. La roue est motrice, elle entraîne la couronne en rotation par engrènement des dents.

Elles sont utilisées en particulier dans l'hydraulique non mobile (par exemple, les machines-outils, les presses, etc.) et dans les véhicules qui fonctionnent dans un espace clos (chariots élévateurs électriques, etc.).



Au repos

En marche

Vue en coupe



Fig II. 8 : Pompe à engrenage intérieur.

Avantages :

- Débit régulier, Marche de la pompe réversible,
- Faible encombrement, Non bruyante,
- Prix peu élevé.

Inconvénients :

Nombreuses pièces d'usure, Pas de particules solides dans cette pompe, ni de produits abrasifs.

Caractéristiques :

Cylindrée 250 cm³/tour maxi, Pression de service 250 bars maxi, Vitesse de rotation de 300 à 3000 tr/min, Rendement acceptable 0.9.

➤ **Pompe à denture intérieure, (couronne planétaire) , Pompe Gérator**

On dit aussi pompe trochoïde, c'est une variante de la précédente, elle est constituée par :

- carter 1
- un pignon à denture intérieur 2, portant l'appellation de stator, qui tourne dans l'alésage du carter 1, les dents sont en forme de cames.
- Un pignon central à denture extérieure 3 appelé rotor ou roue, solidaire de l'arbre d'entraînement. Ce rotor comporte également des dents en forme de cames, il compte systématiquement une dent de moins que le stator.

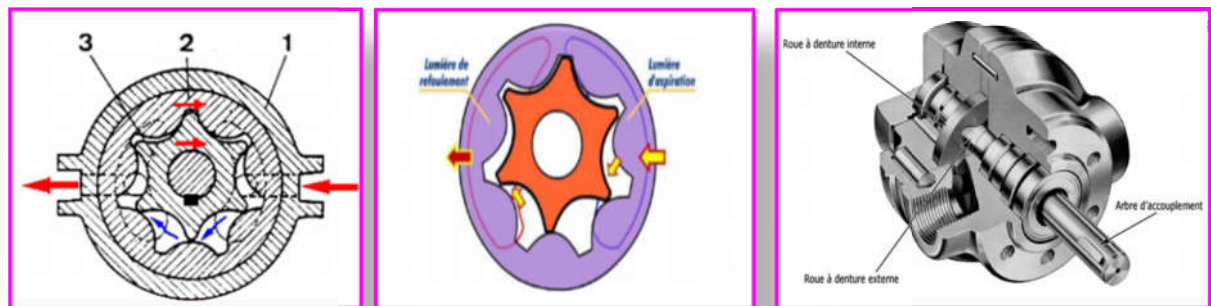


Fig II. 9 : Pompe à denture intérieure, type rotor.

Le nombre de dents de la couronne est toujours supérieur de 1 au nombre de dents de la roue. C'est cette différence du nombre de dents qui permet d'obtenir des chambres d'aspiration et des chambres de refoulement.

L'axe de la roue est excentré par rapport à celui de la couronne. La roue est motrice, elle entraîne la couronne en rotation par engrenement des dents.

Ces pompes peuvent tourner dans les deux sens (sauf indication contraire) mais en inversant le sens de rotation, il faut inverser les tuyauteries d'aspiration et de refoulement.

- Principe de fonctionnement

Le lobe en pointillé de gauche représente l'orifice de refoulement, tandis que celui de droite représente l'orifice d'admission (partie A), Fig(II.10).

La rotation des deux roues dentées se fait dans le sens des aiguilles d'une montre (sens horaire). Le fluide hydraulique est aspiré par la cavité créée lors du désengagement des deux roues dentées. Le désengagement s'effectue vis-à-vis de l'orifice d'admission (parties B et C). Le fluide devient prisonnier dans l'alvéole créée entre les roues à denture externe et interne (partie D). Lors du réengagement des deux roues à denture (parties E, F et G), le fluide est refoulé vers l'orifice de refoulement. Le cycle, ainsi complété, recommence.

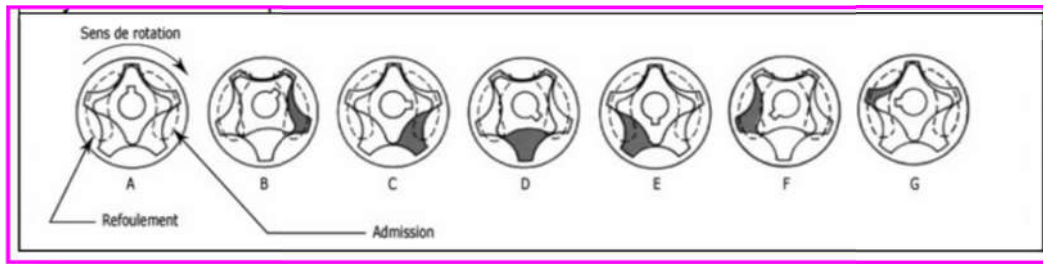


Fig II. 10 : principe de fonctionnement d'une pompe à denture intérieure –Gérator-.

II.5.2.b. Les pompes à palettes

Il existe deux catégories de pompes à palettes : à cylindrée fixe et à cylindrée variable.

Elle constitué de, Fig (II.11) :

- 1 : stator
- 2 : palette
- 3 : rotor
- R : lamage de refolement
- A : lamage d'aspiration

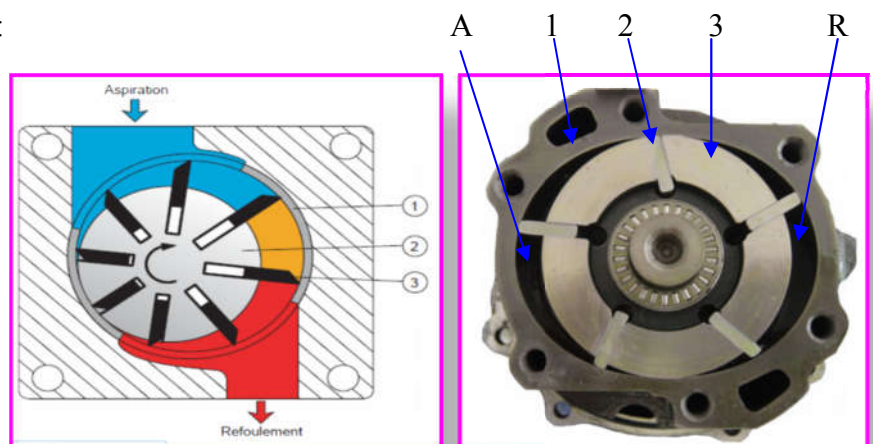


Fig II. 11 : Constituants d'une pompe à palettes.

- Principe de fonctionnement

Le stator est fixé dans le corps de pompe. Le rotor est muni de rainures dans lesquelles sont logées des palettes.

Le rotor tourne dans un anneau excentré. Le volume compris entre ces deux éléments est fractionné par des palettes coulissant dans des rainures radiales dans le rotor. C'est à dire les palettes peuvent se déplacer radialement.

La force centrifuge, ainsi créée, pousse les palettes contre une couronne circulaire. Lorsque le rotor tourne, les palettes suivent le contour de la couronne.

Sur un demi-tour le volume inter palettes augmente ; c'est l'aspiration. Sur l'autre demi-tour, le volume inter palettes diminue, c'est le refolement, Fig (II.12).

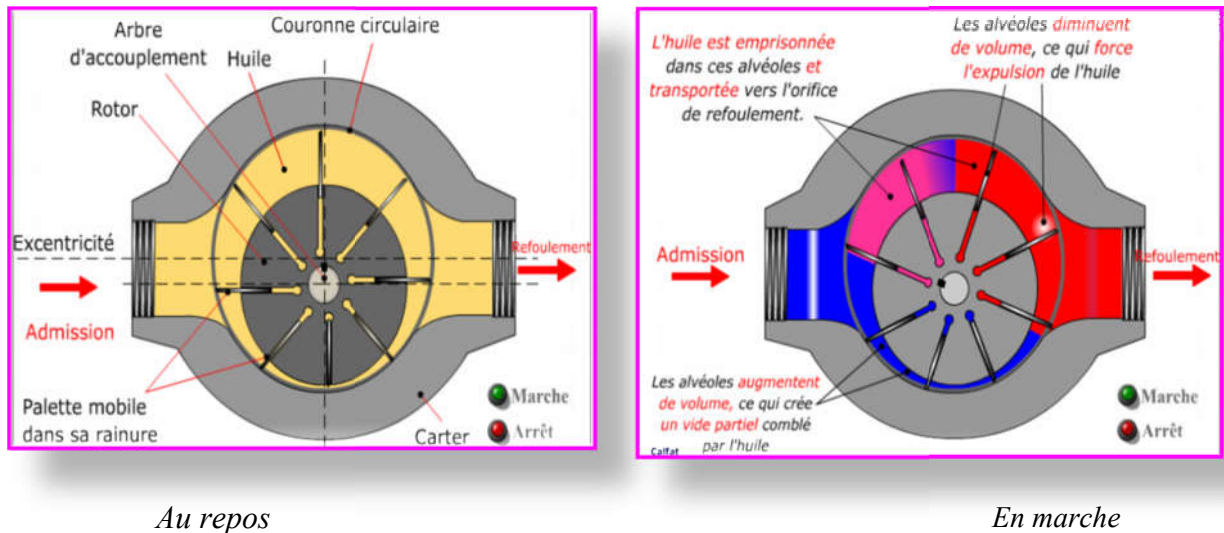


Fig II. 12 : Pompe à palettes.

Avantages :

- Construction robuste et rendement élevé
- Elles offrent généralement un meilleur rendement volumétrique que les pompes à engrenage.
- Elles produisent moins de bruit tout en maintenant une vitesse élevée (jusqu'à 3 000 tr/min).
- Elles peuvent être à cylindrée fixe et à cylindrée variable.
- Quand elles sont à cylindrée variable, on peut réduire le débit si nécessaire et donc réduire la consommation d'énergie.

Inconvénients :

- Elles sont plus coûteuses que les pompes à engrenages (et moins coûteuses que les pompes à pistons). et frais d'entretien plus élevés.
- Elles sont aussi fragiles car les palettes subissent des sollicitations de flexion à cause de la pression de refoulement.

Cylindrée :

Pour une pompe à n palettes disposées régulièrement, c'est-à-dire décalées d'un angle de $(2.\pi)/n$.

$$C_{yt} \approx 4.b.n.e.R_1$$

Avec :

- b : longueur des palettes en centimètre [cm].
- e : excentricité en centimètre [cm].
- R : rayon du stator

Cette formule est approximative car l'épaisseur des palettes est négligée.

II.5.2.c. Les pompes à vis

Le liquide enfermé dans le creux des filets est véhiculé parallèlement aux axes des vis. A chaque tour des vis, le déplacement est de un pas. Le fonctionnement est analogue à celui d'une vis d'Archimède.

On a donc deux vis dont l'une est motrice et l'autre menée, tournent en sens inverse, créant ainsi d'un côté une zone d'aspiration et de l'autre une zone de refoulement. Cette pompe existe aussi avec trois vis dont l'une est centrale, Fig (II.13).

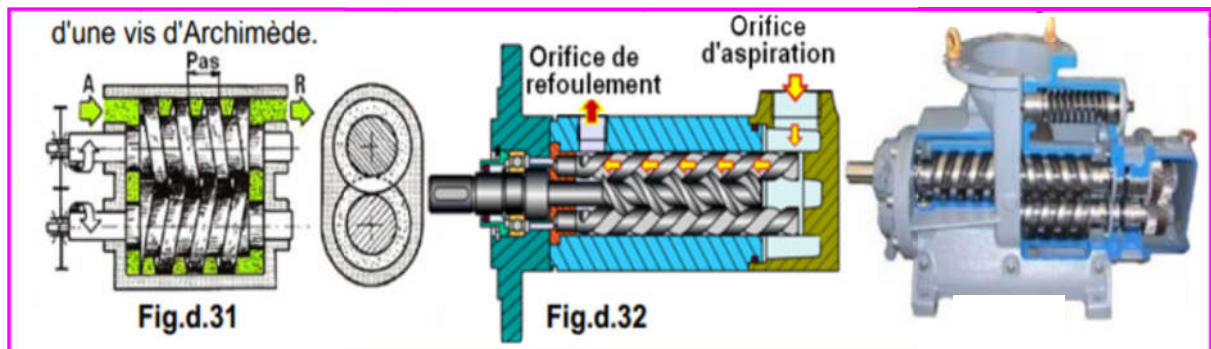


Fig II. 13 : Pompe à vis.

Avantages :

- Débit régulier,
- Assez silencieuse, Très bas niveau sonore ;
- Débit de sortie régulier ;
- Pression de service jusqu'à 200 bar ;
- Vitesse jusqu'à 3000 tr/min et Cylindrée de 3 à 3000 cm³ ;
- Peut être accouplé directement à un moteur électrique de à grand vitesse.

Inconvénients :

- Nombreuses pièces d'usure,
- Prix élevé.

Caractéristiques :

- Cylindrée 250 cm³/tour maxi,
- Pression de service 200 bars maxi,
- Vitesse de rotation de 300 à 3500 tr/min,
- Rendement acceptable 0.9.

II.5.2.d. Pompes à pistons

Elles fonctionnent grâce à des pistons animés d'un mouvement de va-et-vient continu et sont de conception globalement plus complexe par rapport aux pompes précédentes, et par

conséquent elles sont plus chères, elles peuvent être à débit constant ou variable. La pression de service peut atteindre les 300 bars car les propriétés d'étanchéité des pistons sont excellentes, avec de faibles fuites de fluide.

Les pompes à piston peuvent être à cylindrée fixe ou variable, elles sont classées en deux groupes, Fig (II.14).

- **Pompes à pistons axiaux ,**
- **Pompes à pistons radiaux .**

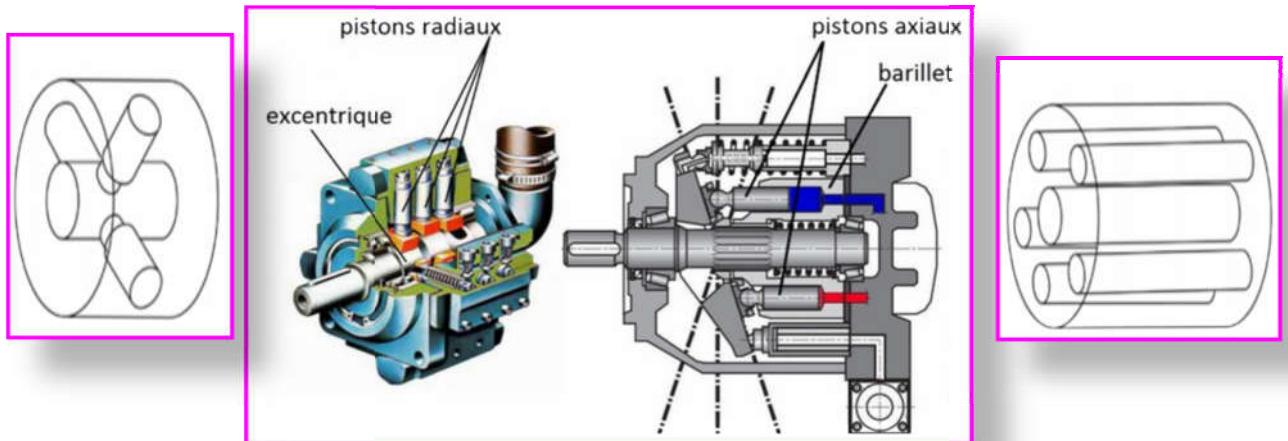


Fig II. 14 : Pompe à pistons.

Avantages :

- Elles offrent le meilleur rendement volumétrique global,
- Elles fournissent les plus hautes pressions,
- Elles sont fiables,
- Elles ont une forte densité de puissance.

Il existe des modèles à cylindrée variable et à cylindrée fixe

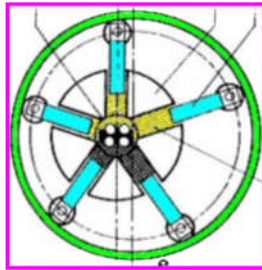
Inconvénients :

- Elles sont les plus coûteuses,
- Il existe deux principes de montage des pistons : le montage radial et le montage axial.

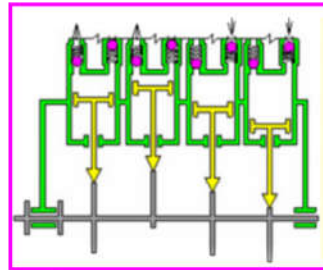
➤ **Pompes à pistons radiaux :**

Les pistons sont disposés radialement au stator, leurs axes sont perpendiculaires à l'arbre d'entraînement principal. Une bielle-excentrique de forme particulière communique un mouvement alternatif aux pistons permettant ainsi les phases d'admission et de refoulement du fluide.

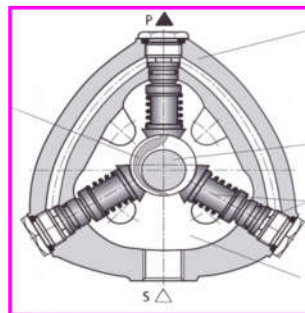
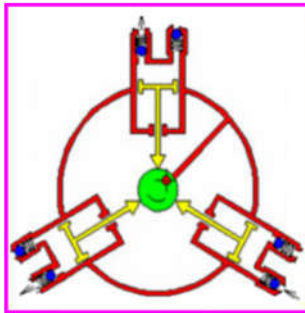
On trouve plusieurs types, Fig (II.15) :



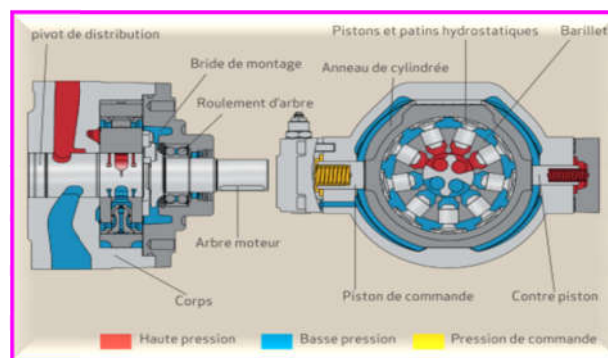
-1 Pompes à bloc cylindre tournant



- 2 Pompes à pistons radiaux en ligne



- 3 Pompes à pistons radiaux en étoile



4 Pompes à plusieurs pistons radiaux déphasés (multi-pistons)

Fig II. 15 : Pompe à pistons radiaux.

Pompes à pistons axiaux

Les pistons sont disposés parallèlement à l'axe de la pompe, Fig (II.16). Cette dernière se compose essentiellement de:

- 1 : corps
- 2 : plateau face ou inclinable
- 3 : patin de glissement
- 4 : piston
- 5 : barillet
- 6 : glace de distribution
- 7 : arbre de pompe .

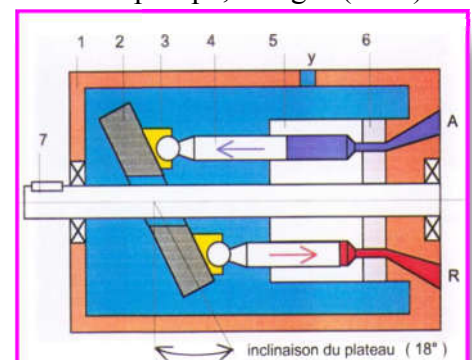


Fig II. 16 : Principe des pompes à pistons axiaux.

La variation de la cylindrée pour ce type de pompe est fonction de l'angle α donc de l'inclinaison du plateau rotatif. Ce sont des pompes qui ont en général un meilleur rapport qualité / prix que les produits utilisant la technologie à pistons radiaux pour des pressions de refoulement jusqu'à 500 bars.

On distingue deux configurations.

Le montage axial à un carter droit:

Dans la conception à plateau oscillant, les pistons rotatifs sont soutenus par un plateau oscillant ; l'angle du plateau oscillant détermine la course du piston, Fig (II.17).

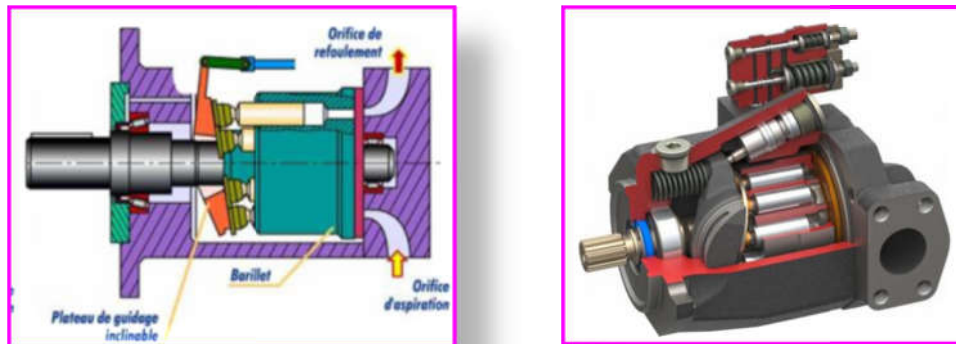


Fig II. 17 : Pompe à pistons axial à axe droit.

Le montage axial à carter incliné:

Cette pompe utilise le même principe que la pompe à plateau incliné, mais dans ce cas, c'est le barillet qui est incliné. Ces pompes sont ainsi plus compactes et réversibles. Le volume de déplacement dépend de l'angle de pivotement : les pistons se déplacent dans les cylindres lorsque l'arbre tourne, Fig (II.18).

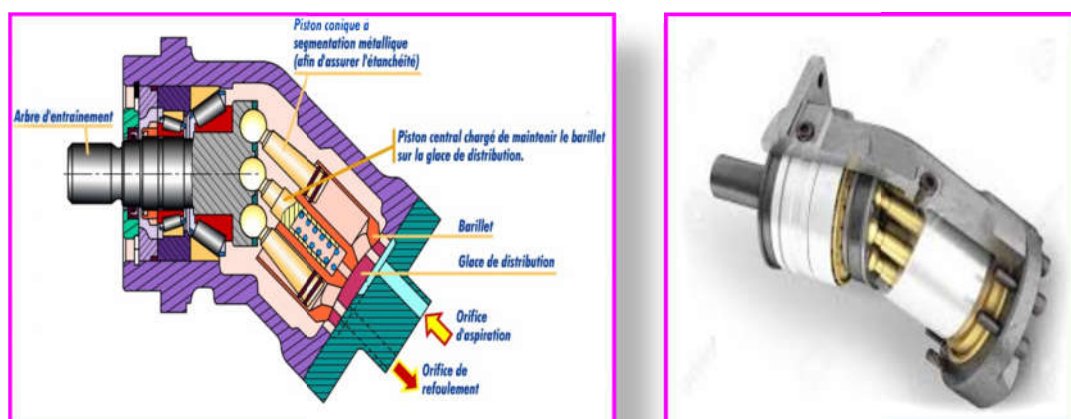


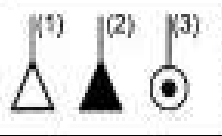
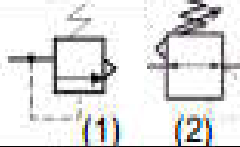




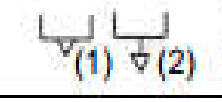
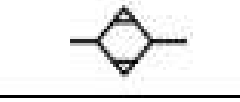


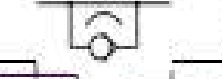









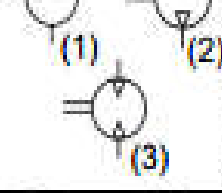
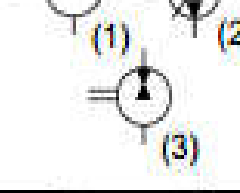






Fig II. 18 : Pompe à pistons axial à axe bt.risé.

Conduite d'alimentation, de travail et de retour		=====	
Conduite de pilotage		-----	
Conduite d'évacuation des fuites		
Encadrement de plusieurs appareils réunis dans un seul bloc		- - - - -	
Liaison mécanique		=====	
(1) Croisement des conduites			
(2) Raccordement des conduites			
	Sources de pression (1) pneumatique (2) hydraulique (3) ancien symbole		(1) Limiteur de pression (soupape de sécurité) (2) Régulateur de pression à pression réglable (détendeur)
	Clapet de non-retour (1) non taré (2) taré		Clapet de non-retour (1) piloté pour ouvrir (2) piloté pour fermer
	Limiteur de débit (1) non réglable (2) réglable		Purgeur (1) à commande manuelle (2) automatique
	Orifices d'évacuation (1) non connectable (2) connectable		Déshydrateur (Enlever d'un corps tout ou partie de l'eau qu'il renferme)
	Branchement rapide (1) sans clapet (2) avec clapet		Prises (1) bouchée (2) avec conduite branchée
	Clapet de non-retour avec étranglement		(1) Refroidisseur (2) Réchauffeur
	(1) Diviseur de débit (2) Sélecteur de circuit		Accumulateurs (1) à ressort à poids (2) hydropneumatique
	Robinet		Réservoir sous pression
	Filtre		Silencieux
	(1) Moteur électrique (2) Moteur thermique		(1) Conduite d'aspiration (2) Conduite de refoulement
	(1) Compresseur à un sens de flux (2) compresseur à deux sens de flux (3) Moteur pneumatique à deux sens de flux		(1) Pompes hydrauliques à un sens de flux (2) Pompes hydrauliques à deux sens de flux et à cylindrée variable (3) Pompe moteur à un sens de flux
	(1) Manomètre (2) Débitmètre		Groupe de conditionnement
	Lubrificateur		Contact électrique à pression

II.6 Les récepteurs hydrauliques

Les récepteurs hydrauliques transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique.

On distingue :

- Les récepteurs pour mouvement de translation : les vérins.
- Les récepteurs pour mouvement de rotation : les moteurs hydrauliques

II.6.1 Vérins hydrauliques

Le vérin hydraulique est un actionneur linéaire hydraulique, il transforme l'énergie provenant du liquide hydraulique (une **puissance hydraulique ($Q \times P$)**), qui est fourni par un accumulateur hydraulique ou une pompe hydraulique, en une force à effet linéaire (**puissance mécanique**).



Fig II. 19 : Fonction d'un vérin hydraulique..

Un vérin est un composant **économique et fiable** qui peut être fabriqué en grande dimension. Il est possible d'immobiliser en position la tige en isolant les 2 chambres, Fig (II.20).



Fig II. 20 : Exemples de vérins hydrauliques de grande taille.

Il y a d'innombrables formes de vérins hydrauliques dont les diamètres de pistons et de tiges sont aujourd'hui normalisés.

Les vérins sont classés en trois grandes familles :

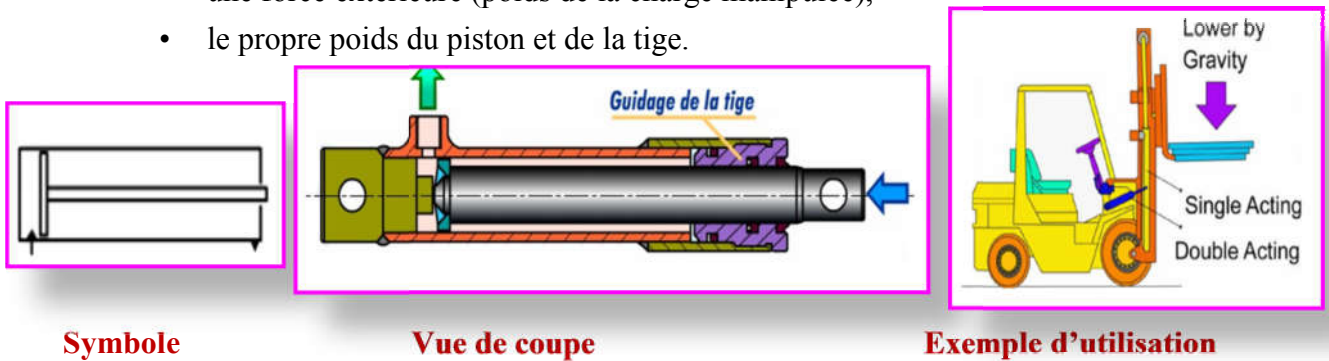
- Vérins à simple effet
- Vérins à double effet,
- Vérins spéciaux.

II.6.1.a. Les vérins hydrauliques à simple effet

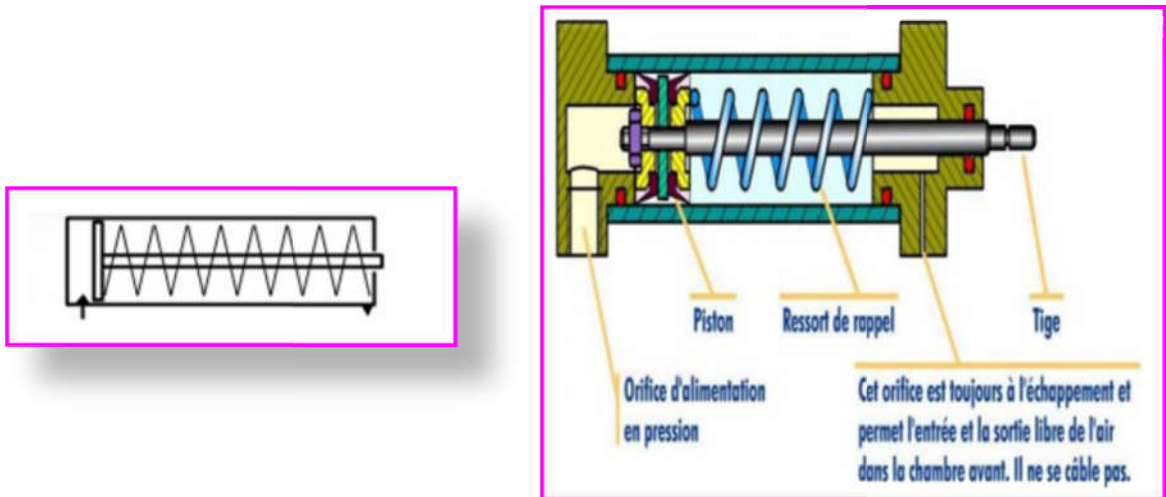
Le vérin simple effet n'est relié au distributeur que par une seule canalisation, donc le liquide sous pression entre uniquement par un seul côté du vérin, ce qui soulève la charge.

Le mouvement de retour du piston et de la tige est provoqué par, Fig (II.21) :

- un ressort,
- une force extérieure (poids de la charge manipulée),
- le propre poids du piston et de la tige.



a- Vérin simple effet sans ressort de rappel



Symbole

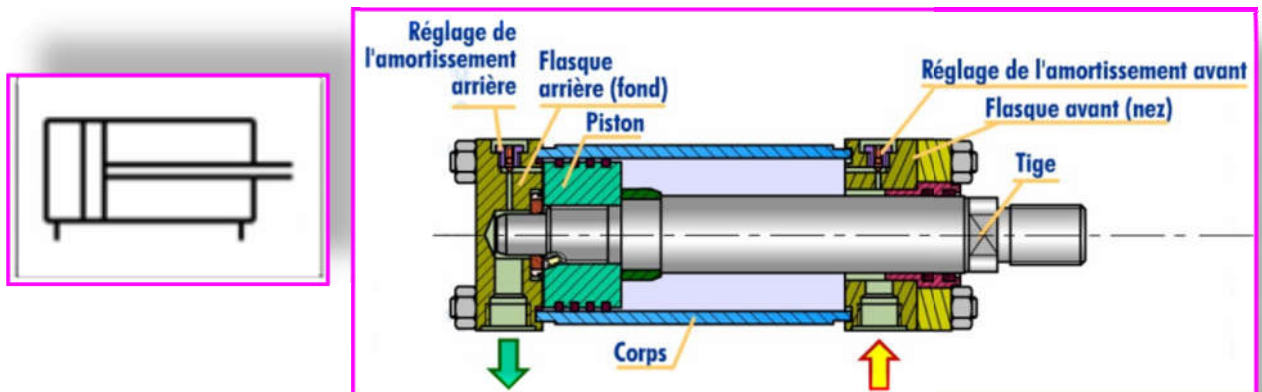
Vue de coupe

b- Vérin à simple effet avec ressort de rappel

Fig II. 21 : vérins hydrauliques à simple effet.

II.6.1.b. Les vérins hydrauliques à double effet

Le vérin à double effet est relié au distributeur par deux canalisations, L'ensemble tige plus piston peut se déplacer dans les deux sens sous l'action du fluide, Fig (II.22).



Symbole

Vue de coupe

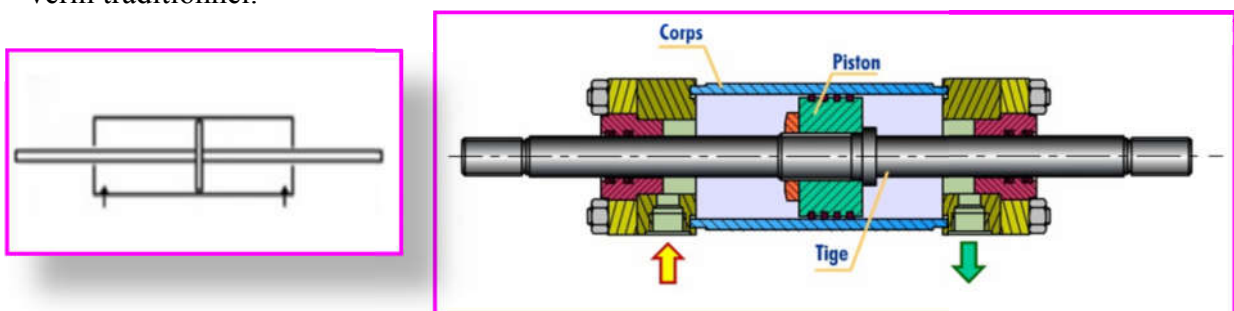
Fig II. 22 : vérins hydrauliques à double effet.

II.6.1.c. Les vérins hydrauliques spéciaux

➤ Vérin à double tige

Le vérin à double tige comporte une tige traversant la totalité du corps et un piston placé en son milieu. Si la pression est la même dans les deux chambres, il n'y a pas de déplacement de la tige car les deux surfaces du piston en contact avec l'huile sont de même dimension. La charge est maintenue immobile.

Cependant, l'encombrement d'un tel vérin est nettement supérieur à l'encombrement d'un vérin traditionnel.



Symbole

Vue de coupe

Fig II. 23 : vérins hydrauliques à double tige.

➤ Vérin à tige télescopique

Le vérin télescopique est un vérin particulier dont les dimensions, en position rentrée (repos), sont plus courtes qu'un vérin traditionnel pour une course identique.

Il est constitué d'une suite de deux à cinq pistons étagés qui se déploient successivement.

On retrouve ce type de vérin dans les élévateurs et monte-charges ainsi que sur de nombreux engins de chantier...

Sous l'action de la pression de l'huile, les pistons du vérin se déploient successivement. Celui qui a la plus grosse surface utile se déploie en premier.

Lorsque la chambre arrière est mise à l'échappement, le retour à la position repliée se fait grâce au poids de l'élément déplacé. Pour contrôler la vitesse de retour, il faut placer un régulateur de débit à l'échappement, Fig (II.24).

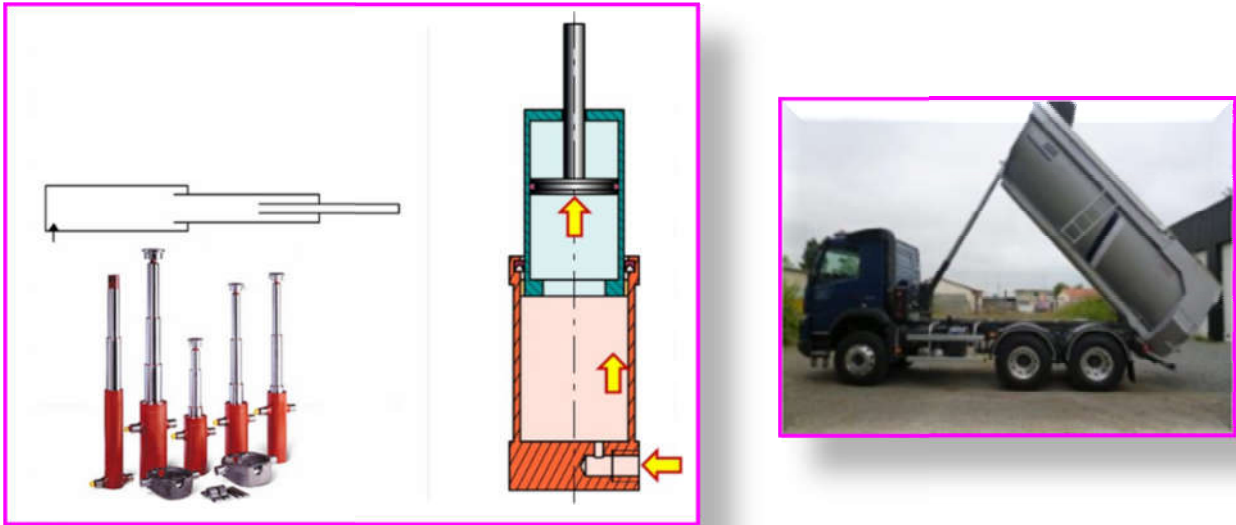


Fig II. 24 : vérins hydrauliques à tige télescopique.

II.7 Caractéristiques des actionneurs hydrauliques

Le point de départ pour le choix d'un vérin est le travail qui lui est demandé :

- la force **F**
- la pression **P** du fluide qui dépend de l'effort à développer.
- sa course qui dépend de la longueur du déplacement à assurer
- son diamètre

$$F = P \cdot A$$

Cette expression permet de définir le diamètre du piston. A cette occasion, il convient de considérer le rendement hydromécanique η_{hm} . Ce rendement est fonction de la rugosité du tube de vérin, de la tige de piston et du système d'étanchéité. Il se situe entre 0.85 et 0.95 le diamètre du piston d est obtenu à partir de l'expression :

$$d = \sqrt[4]{\frac{4F}{p \cdot \eta_{hm} \cdot \pi}}$$

Dans cette formule on n'a pas pris en considération les fuites volumétriques ($\eta_v=1$).

- Le diamètre intérieur du cylindre = dK
- La surface du piston = AK
- Le diamètre de la tige = dST
- La surface annulaire du piston = $AKR = AK - AST$
- Le rapport de surfaces $\phi = AK / AKR$

Expression de la force

Dans un système hydraulique, la force (F) développée par les actionneurs s'exprime en newtons dans le système international (SI).

Système international :

$$F = P * A$$

A = mètre carré (m^2)

F = newton (N)

P = pascal (Pa)

La force est directement proportionnelle à la pression et à l'aire de la section sur laquelle la pression est appliquée.

Donc, la force développée par un piston est égale au produit de la pression par l'aire du piston.

La figure ci-dessous met en lumière l'évaluation de la force d'un vérin linéaire.

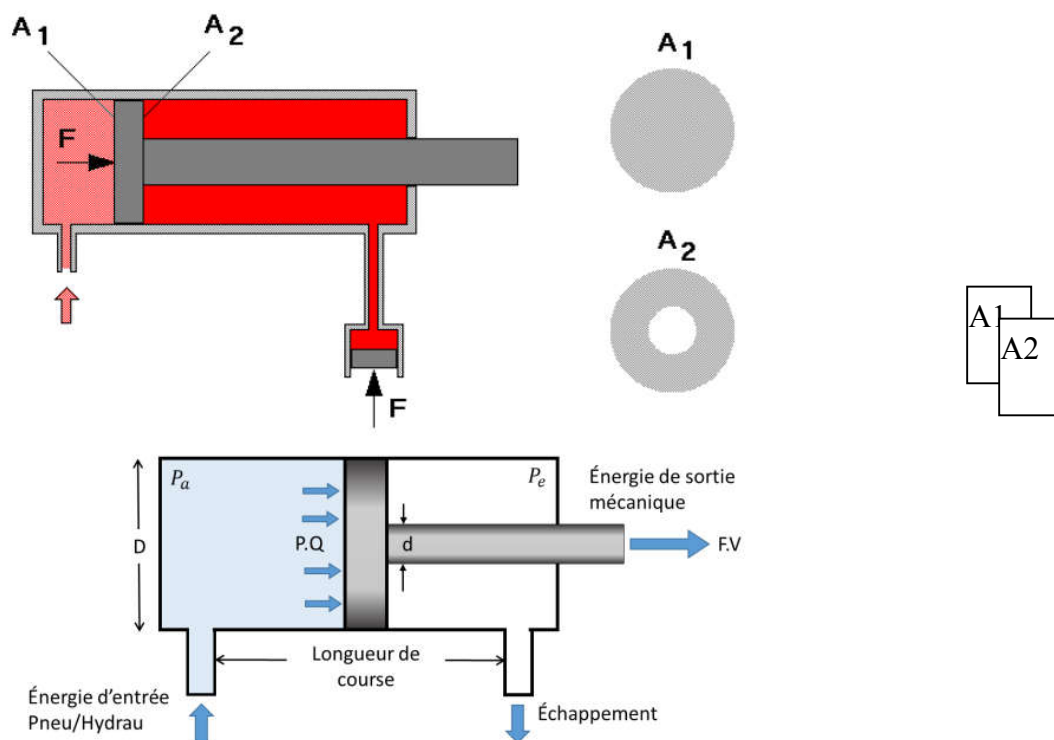


Fig II. 25 : Calcul de la force d'un vérins hydrauliques.

Force de sortie

$$F(+) = p * A1$$

$$F(+) = 0.7854 * d12 * p$$

Dans le même ordre d'idées, la force de rentrée de la tige est égale à:

$$F(-) = p * A2$$

$$F(-) = 0.7854 * (d12 - d22) * p$$

Ces formules permettent, par exemple, de trouver la force développée par un vérin linéaire.

Exemple :

Prenons le cas d'un vérin hydraulique aux caractéristiques mécaniques suivantes:

- diamètre d'alésage : 80 mm.

- diamètre de la tige : 40 mm.

Le travail est exécuté avec une pression de 3 MPA. Quelle force en newtons peut développer ce vérin en rétroaction, c'est à dire en rentrant ?

La formule à utiliser sera :

$$F(-) = p * A2$$

$$F(-) = p * 0.7854 * (d12 - d22)$$

La pression en pascals (pa) sera : $P = 3 * 10^6$ pa

L'aire de la couronne en mètres carrés (m²) sera :

$$A = 0.7854 (0.0802 - 0.0402) \text{ m}^2$$

$$A = 0.7854 (0.0064 - 0.0016) \text{ m}^2$$

$$A = 0.7854 (0.0048) \text{ m}^2$$

$$A = 0.003769 \text{ m}^2$$

$$A = 3769 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

F(-) sera donc égale à :

$$F(-) = 3 * 10^6 \text{ pa} * 3769 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F(-) = 11307 \text{ newtons}$$

II.7.1.a. Exemple 1 : Commande d'une pompe

Calcul d'un vérin

Poussée

La poussée exercée par un vérin est fonction de la pression d'alimentation, du diamètre du vérin et de la résistance de frottement des joints.

La poussée théorique est déterminée à l'aide de la formule

$$F_{th} = S * p$$

Dans laquelle :

F_{th} = poussée théorique (daN)

S = surface utile du piston (cm²)

p = pression de service (bar)

Dans la pratique il faut connaître la poussée réelle. Pour déterminer la poussée réelle, il faut tenir compte de la résistance de frottement. Dans des conditions normales de service (plage de pression de 4 à 8 bars), on peut supposer que les forces de frottement représentent 3 à 20% environ de la poussée obtenue.

Vérin simple effet

$F_n = S \times p - (F_r + F_f)$

Vérin double effet (course avant) Vérin double effet (rappel)

$F_n = S \times p - F_f$ $F_n = S' \times p - F_f$

F_n = poussée réelle (N)

S = surface utile du piston (cm²) ($\pi D^2/4$)

S' = surface utile du piston, côté tige (cm²) ($(\pi/4) \times (D^2 - d^2)$)

p = pression de service (bars)

F_f = force de frottement (3-20%) (N)

F_r = force du ressort de rappel (N)

D = diamètre du vérin

d = diamètre de la tige de piston

Caractéristiques principales

Les moteurs hydrauliques sont utilisés pour de multiples applications pour lesquelles on recherche principalement :

- des couples importants,
- une grande robustesse,
- et une protection contre les surcharges.

II.7.2 Actionneurs rotatifs : les moteurs hydrauliques

Caractéristiques principales

- Raccordement : drainage des carters et protection
- Raccordement : contre-pression en sortie des moteurs
- Technologies des moteurs rapides
- Technologies des moteurs lents

Types de moteurs

Les moteurs hydrauliques peuvent être de type rapide ou lent. L'hydraulique apporte un avantage le plus net par rapport à d'autres technologies avec les moteurs lents. En effet, ils permettent de produire des couples sur l'arbre de sortie très importants. De plus, l'absence d'éléments intermédiaires tels que les réducteurs de vitesse, l'inertie rapportée à leur arbre est faible et autorise des accélérations et des freinages rapides.

Caractéristiques des moteurs hydrauliques

Les moteurs hydrauliques peuvent supporter des charges radiales très importantes, ils sont caractérisés par :

- le type de cylindrée : fixe ou variable,
- le moteur est à 1 ou 2 sens de rotation

Les formules de calcul de couple et de vitesse sont identiques à celles démontrées pour les pompes.

On retrouve ici les mêmes technologies que celle des pompes réversibles (utilisable en pompe ou moteur) :

Moteurs à engrenage

Ils ne diffèrent pas des pompes à engrenages, sauf pour le drainage qui est obligatoire pour pouvoir l'alimenter par chaque orifice (aspiration ou refoulement de la pompe) afin d'obtenir les deux sens de rotation.

Moteurs à palettes

Ils sont identiques aux pompes à palettes, excepté pour le plaquage des palettes contre le stator qui doit être assuré à l'arrêt pour le moteur. On ajoute donc des ressorts sous chaque palette.

Moteurs à pistons axiaux

Ils ont les meilleurs rendements et des pressions de travail plus élevées qu'avec les 2 technologies précédentes.

Moteurs à engrenages orbitaux

Ces moteurs sont constitués d'un pignon fixe spécial à denture interne et d'un pignon conjugué à denture externe, animé d'un mouvement orbital. Cette configuration permet de réaliser des moteurs compacts à rapport élevé cylindrée / encombrement.

II.8 Appareils de protection et de régulation

II.8.1 Limiteur de pression

Dans la centrale hydraulique, la pompe débite un débit de « Q » en l/min à une pression « p » bars. Si ce débit et cette pression ne se réalisent pas pour une raison quelconque, il va se produire une augmentation significative de la pression qu'il va falloir évacuer sous peine de faire courir de graves dangers aux personnes et aux biens. (Éclatement de conduite,...) . En pratique cette situation se rencontre fréquemment, il faut donc installer un appareil capable de libérer cette surpression, ce sera le rôle du limiteur de pression ou aussi appelé soupape de sécurité.

Sa fonction principale: assurer la sécurité d'un circuit ou d'une partie de circuit en limitant la pression à un maximum. Il fait retourner au bac le débit excédentaire. L'appareil est installé en dérivation entre la ligne de circuit et le réservoir d'huile, Figure (II. 26).

II.8.1.a Fonctionnement

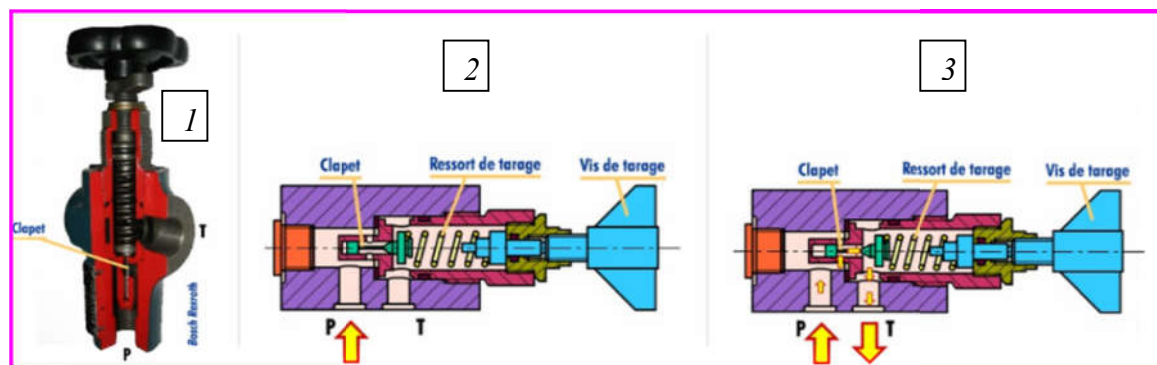


Fig II. 26 : Limiteur de pression.

1- Vue en coupe limiteur de pression.

2- Le ressort de tarage permet de maintenir le clapet sur son siège. Tant que la pression (en P) est inférieure à la pression de tarage, le clapet reste en position.

3- Lorsque la pression augmente et dépasse la valeur de tarage, le clapet est déplacé par le fluide qui peut s'échapper vers le réservoir (orifice T).

II.8.1.b Symbole :

Le limiteur de pression peut être réglable ou fixe, Figure (II. 27).

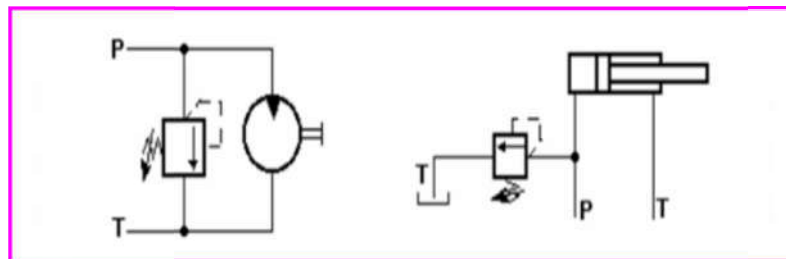


Limiteur de pression fixe Limiteur de pression réglable

Fig II. 27 : Symbole limiteur de pression.

II.8.1.c Exemples de montage:

Le limiteur de pression ou soupape de sûreté, est monté en dérivation avec le circuit et relié au réservoir.



Limitation du couple moteur Limitation de la charge exercée par le vérin

Fig II. 28 : Exemples de montages du limiteur de pression.

II.8.2 Réducteur de pression

La fonction d'un réducteur de pression est de maintenir dans une partie B du circuit une pression inférieure à la pression d'alimentation en P ou à inférieure celles d'autres parties A. En conséquence, un réducteur de pression est toujours normalement ouvert, Figure (II. 29).

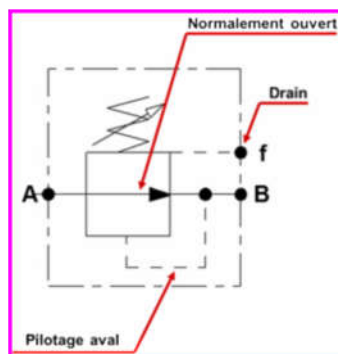


Fig II. 29 : Symbole réducteur de pression.

Chapitre III LES CIRCUITS D'AUTOMATISMES PNEUMATIQUES

III.1 Structure générale d'un circuit de puissance pneumatique

Un sein de chaque chaîne d'action, l'énergie transite depuis sa source jusqu'à l'actionneur auquel elle est destinée. Ce cheminement s'effectue au travers d'un circuit de puissance.

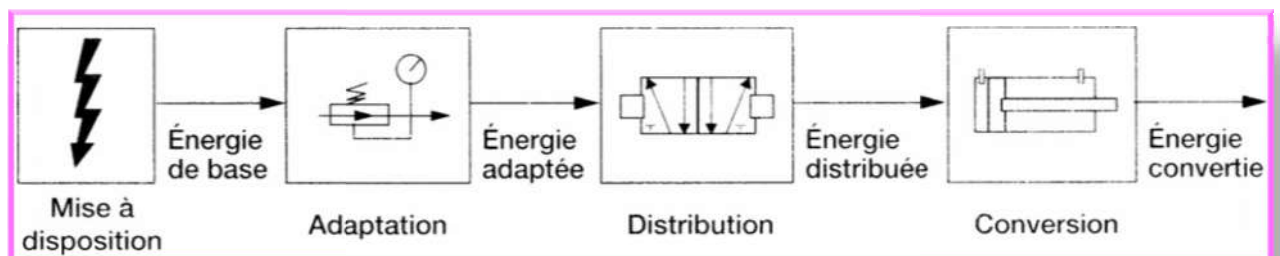


Fig III. 1: Organes récepteurs.

La plupart des ateliers industriels sont équipés d'un réseau de distribution d'air comprimé qui permet d'alimenter et d'animer les systèmes automatisés et les outillages pneumatiques.

La production de l'énergie pneumatique est assurée par des compresseurs, qui convertissent l'énergie électrique mise à disposition par le réseau. Cette énergie pneumatique est ensuite adaptée (filtrage, régulation, lubrification) et stockée (réservoir). Ce stockage évite le fonctionnement en continu du compresseur, son volume est fonction de la consommation de l'installation. Un réseau de distribution (conduites rigides ou souples, distributeurs) permet d'alimenter les actionneurs.

III.2 Organes récepteurs

Un actionneur est un élément qui convertit une énergie d'entrée non directement utilisable par les mécanismes agissant sur la matière d'œuvre en une énergie de sortie utilisable par ces mécanismes pour obtenir une action définie.

Afin d'agir sur la matière d'œuvre, la partie opérative a besoin d'énergie de haut niveau.

L'énergie source employée est pneumatique, parfois hydraulique. Cette énergie source n'est pas directement utilisable et doit être convertie (en général en énergie mécanique) : c'est la fonction des actionneurs.

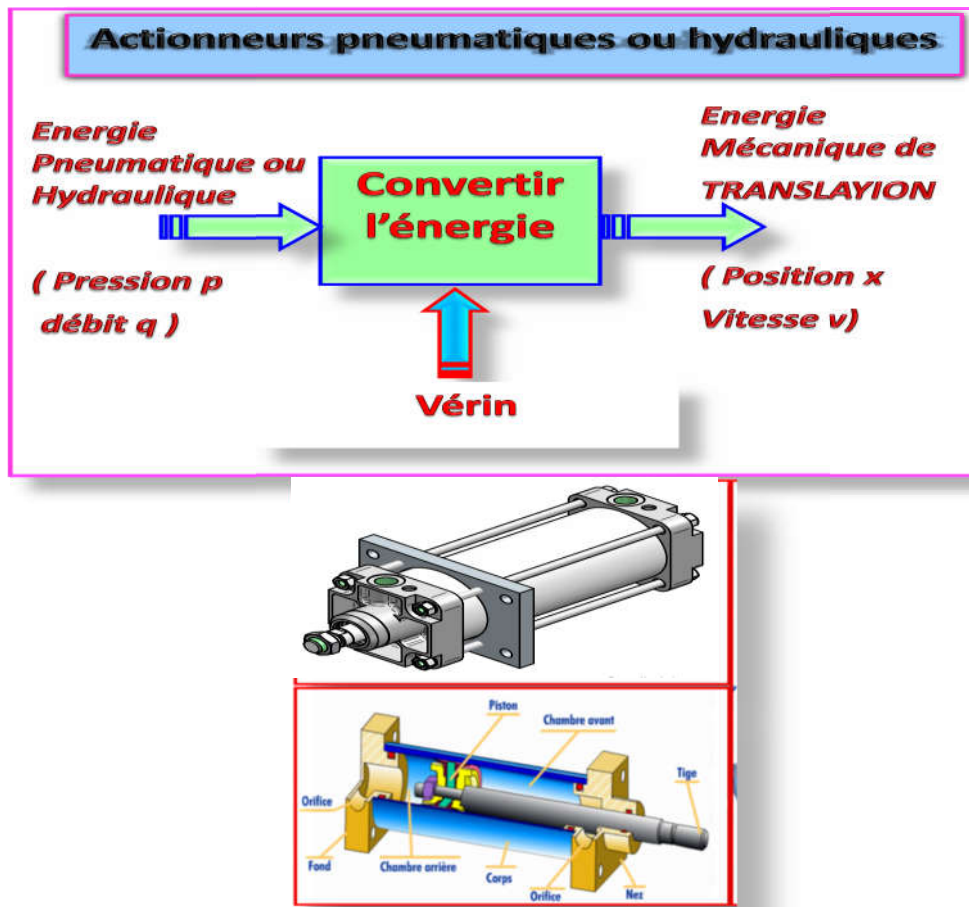


Fig III. 2: Organes récepteurs.

III.3 Stockage et alimentation en énergie

Pour obtenir de l'énergie pneumatique, on utilise un compresseur. L'énergie hydraulique est obtenue grâce à des pompes.

Les pompes ou les compresseurs sont actionnés par un moteur électrique ou thermique. Dans les systèmes pneumatiques, la circulation d'air se fait généralement en circuit ouvert. Dans le cas des systèmes hydrauliques, le fluide est en circuit fermé. Cela impose des conditions sur les constituants des réseaux.



Fig III. 3: Association moteur et pompe.

III.3.1 Système de stockage

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



Fig III. 4: Stockage de l'énergie.

III.3.2 Système de conditionnement

Il est nécessaire de conditionner le fluide avant de la faire circuler dans le circuit. Dans le cas de l'énergie pneumatique, il est indispensable de s'assurer de la pureté de l'air ainsi que d'un faible taux d'humidité. Pour cela on utilise d'une part des filtres permettant de filtrer l'air entrant dans le réseau en amont et en aval du compresseur. Il est aussi nécessaire d'utiliser d'un refroidisseur assécheur permettant de réduire le taux d'humidité.

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

L'utilisation d'un filtre, d'un régulateur et d'un lubrificateur pour la préparation de l'air est fortement recommandée. Une préparation correcte de l'air permet d'améliorer la performance des outils et d'en accroître leur durée de vie

III.3.2.a. Filtre

Le filtre sépare les impuretés telles que l'eau et les particules solides afin de protéger les équipements de l'installation.

Selon la cartouche filtrante choisie pour le filtre, les impuretés retenues varieront de 0,01 μm à 40 μm . Il convient de vider régulièrement le bol de la condensation récupérée et de nettoyer la cartouche des impuretés qui pourraient obturer ses pores.

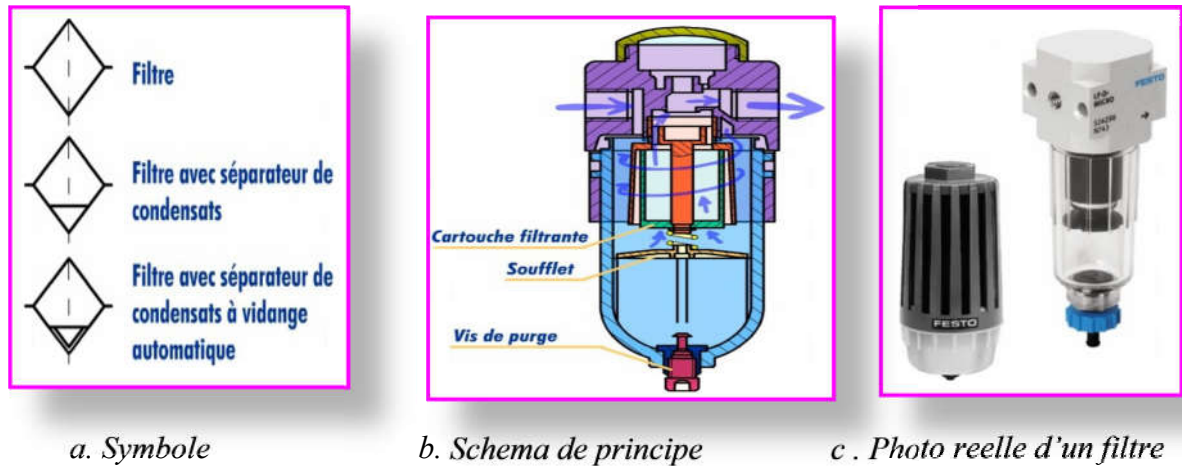


Fig III. 5: Filtre.

III.3.2.b. Régulateur

Le régulateur de pression, ou détendeur, permet de garantir une pression de travail (pression du secondaire) aussi régulière que possible tant que la pression d'alimentation (pression du primaire) est supérieure à la pression demandée.

Le réglage de la pression souhaitée se fait manuellement.

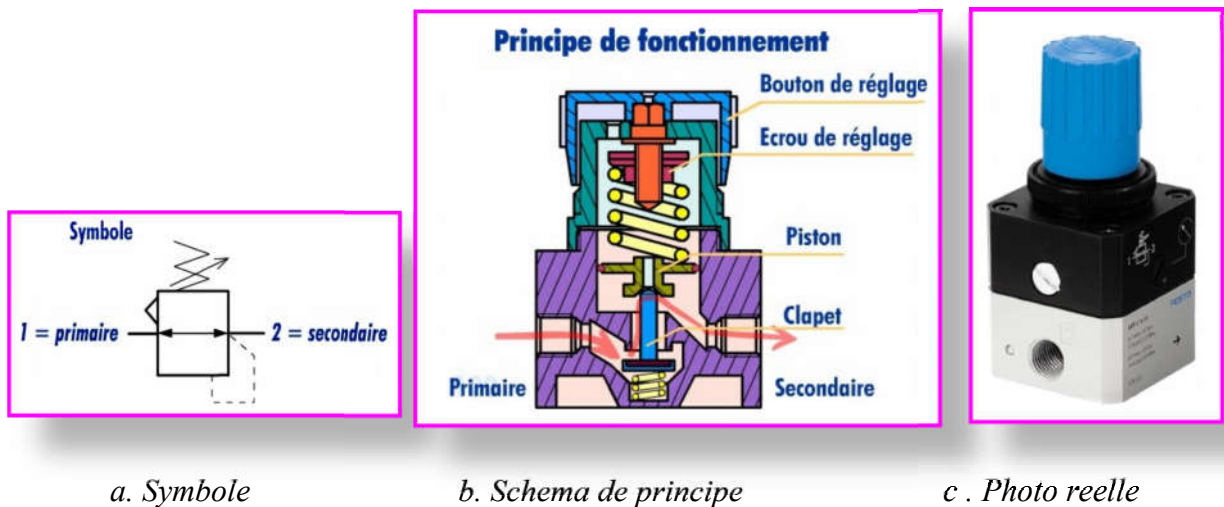


Fig III. 6: Régulateur.

III.3.2.c. Mono-détendeur

C'est un régulateur associé à un manomètre, La majorité des détendeurs sont équipés d'un manomètre permettant de visualiser la pression relative délivrée au secondaire.



Fig III. 7: Mono-détendeur.

III.3.2.d. Lubrificateur

Il est chargé de lubrifier l'air comprimé en injectant un brouillard d'huile dans le fluide afin de prévenir l'usure et la corrosion et de réduire les forces de frottement.. Le type de lubrificateur le plus répandu est le lubrificateur par brouillard d'huile. Il pulvérise des gouttes d'huile dans le tuyau d'air.

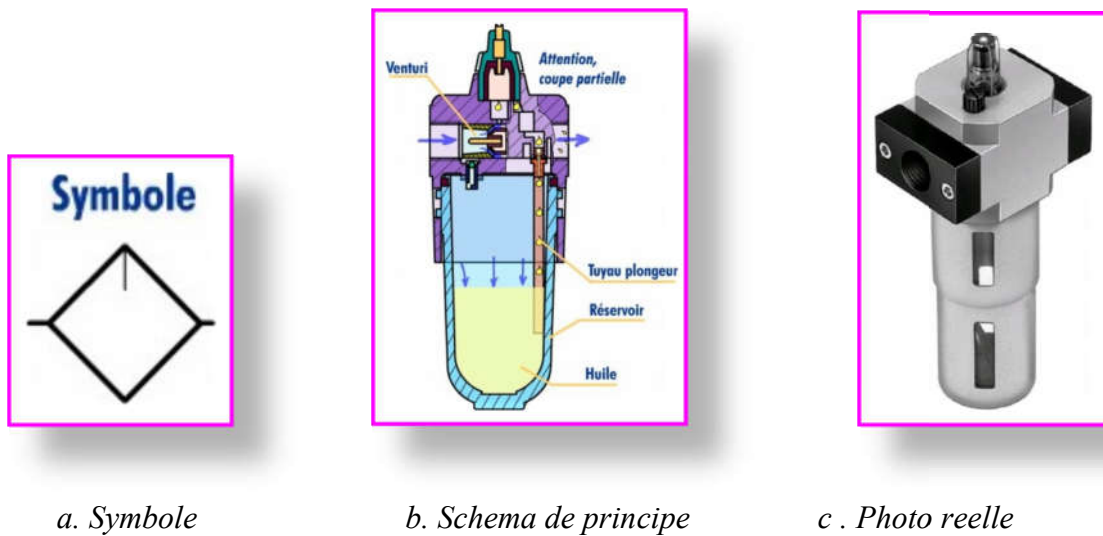


Fig III. 8: Lubrificateur.

III.3.2.e. Unité de conditionnement

En général, une unité de conditionnement d'air est composée d'un filtre, d'un régulateur de pression et parfois d'un lubrificateur.

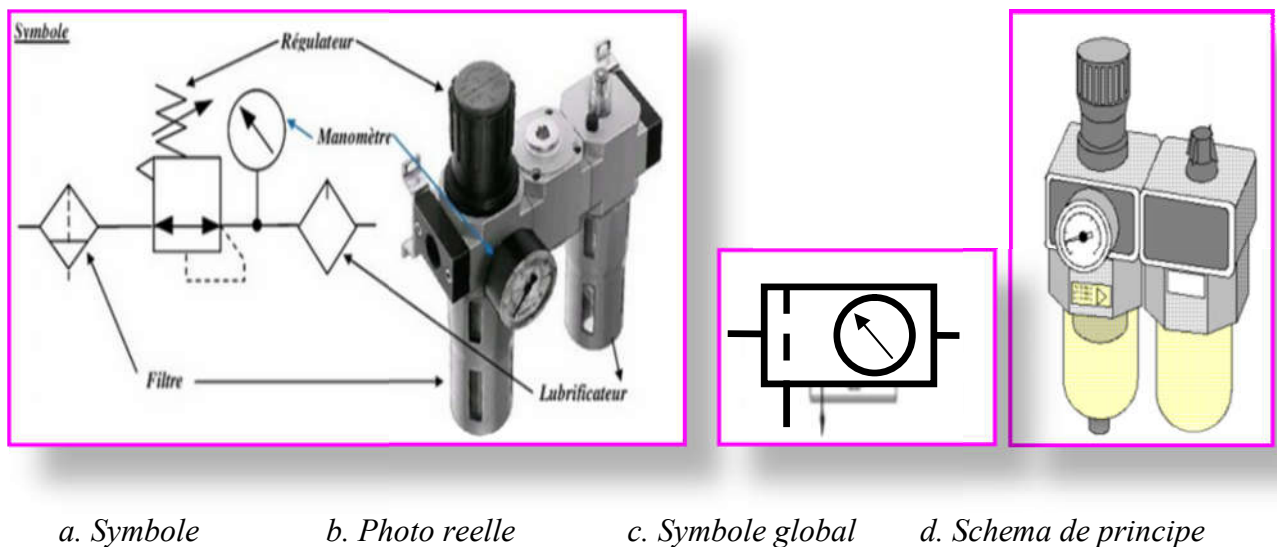


Fig III. 9: Unité de conditionnement.

III.3.2.f. Systèmes de sécurité

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

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



Fig III. 10: Régulateurs de débit.

III.3.2.g. Systèmes de mesure « Manomètres »

Le manomètre est l'appareil de mesure des pressions. Les manomètres les plus courants sont à aiguille (*ils indiquent la pression relative dans le circuit : l'air comprimé agit sur un tube qui se déforme et provoque la déviation de l'aiguille*).

Des manomètres numériques sont aussi présents sur le marché. Certains disposent d'interfaces qui permettent d'acquérir leur mesure sur un ordinateur ou un automate.

La mesure est faite en bars ou parfois en PSI (Pound per Square Inch, unité de pression américaine) $1 \text{ PSI} = 0,07 \text{ bar}$.



a. Symbole b. Manomètre à aiguille c. Manomètre digital

Fig III. 11: Manomètre.

III.4 Type des convertisseurs d'énergie

III.4.1 Convertisseurs linéaires -Les vérins-

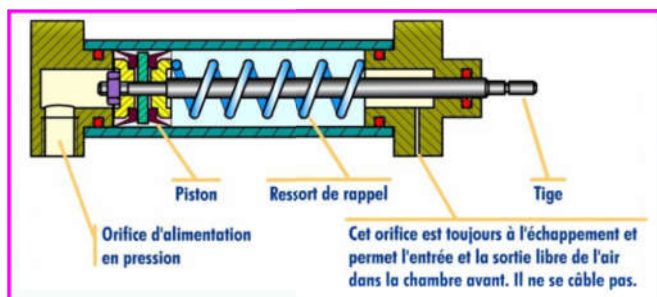
Un vérin est un actionneur utilisant de l'énergie d'un fluide sous pression (pneumatique ou hydraulique) pour produire une énergie mécanique lors d'un déplacement linéaire ou rotatif limité à sa course. Le vérin permet de convertir de l'énergie pneumatique (ou hydraulique) en énergie mécanique. Il peut soulever, pousser, tirer, serrer, tourner, bloquer, percuter, ...

III.4.1.a. Vérins simple effet

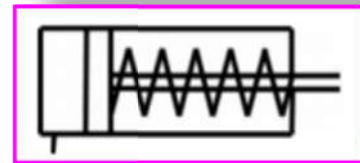
L'ensemble tige-piston se déplace dans un seul sens sous l'action du fluide sous pression. Le retour est effectué par un autre moyen que l'air comprimé : ressort, charge, ... Pendant le retour, l'orifice d'admission de l'air comprimé est mis à l'échappement.

Le retour du vérin en position se fait par le ressort ou la charge.

- Avantage : économique.
- Inconvénient : encombrant, course réduite.
- Utilisation : serrage, éjection, levage.



a. Vue de coupe (constituants)



b. Symbole normalisé

Fig III. 12: Vérin simple effet.

➤ Fonctionnement

Un vérin simple effet ne travaille que dans un sens.

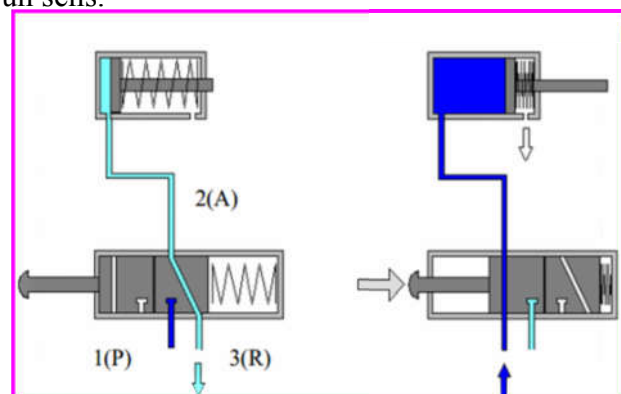


Fig III. 13: Fonctionnement d'un vérin simple effet.

L'arrivée de la pression ne se fait que sur un seul orifice d'alimentation ce qui entraîne le piston dans un seul sens, son retour s'effectuant sous l'action d'un ressort. Un distributeur à une seule sortie est donc suffisant. L'emploi de ces vérins reste limité aux faibles courses.

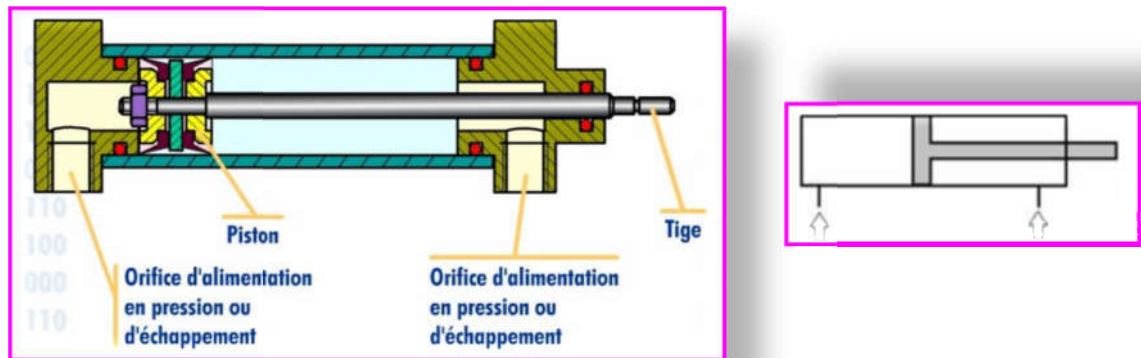
III.4.1.b. Vérins double effet

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.

L'ensemble tige piston peut se déplacer dans les 2 sens par l'action du fluide.

L'effort est plus faible en tirant (rentrée de la tige) qu'en poussant (sortie de tige).

- Avantages : plus souple, réglage simple de la vitesse.
- Inconvénient : + cher que le vérin simple effet.
- Utilisation : grand nombre d'applications industrielles.



a. Vue de coupe (constituants)

b. Symbole normalisé

Fig III. 14: Vérin double effet.

➤ Fonctionnement

Un vérin double effet a deux directions de travail.

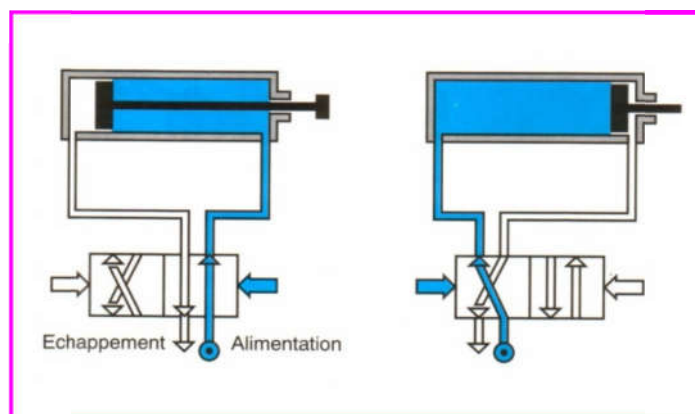


Fig III. 15: Fonctionnement d'un vérin double effet.

Il comporte deux orifices d'alimentation et la pression est appliquée alternativement de chaque côté du piston ce qui entraîne son déplacement dans un sens puis dans l'autre. L'air comprimé est distribué par un distributeur à deux sorties.

➤ Caractérisation des flux d'énergie entrant et sortant

➤ Puissance pneumatique ou hydraulique à l'admission du vérin :

$$P_e = Q \cdot p$$

Avec :

- P_e en W
- Q (en m³/s): débit de fluide admis dans le vérin
- p (en Pa): pression du fluide à l'admission

➤ Puissance mécanique de translation disponible sur la tige du vérin :

$$P_s = F \cdot V$$

Où :

- P_s en W
- F (en N): force disponible tige-corps
- V (en m/s): vitesse de la tige / corps

➤ La puissance est toujours un produit entre une grandeur flux et une grandeur potentielle.

- Q et F sont des grandeurs flux.
- p et V sont des grandeurs potentielles.

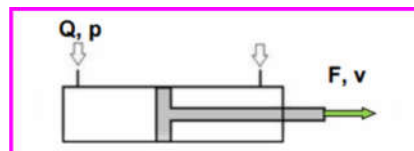


Fig III. 16: flux d'énergie entrant et sortant.

III.4.2 Convertisseurs rotatifs

III.4.2.a. Vérin rotatif ou moteur oscillant

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

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°.

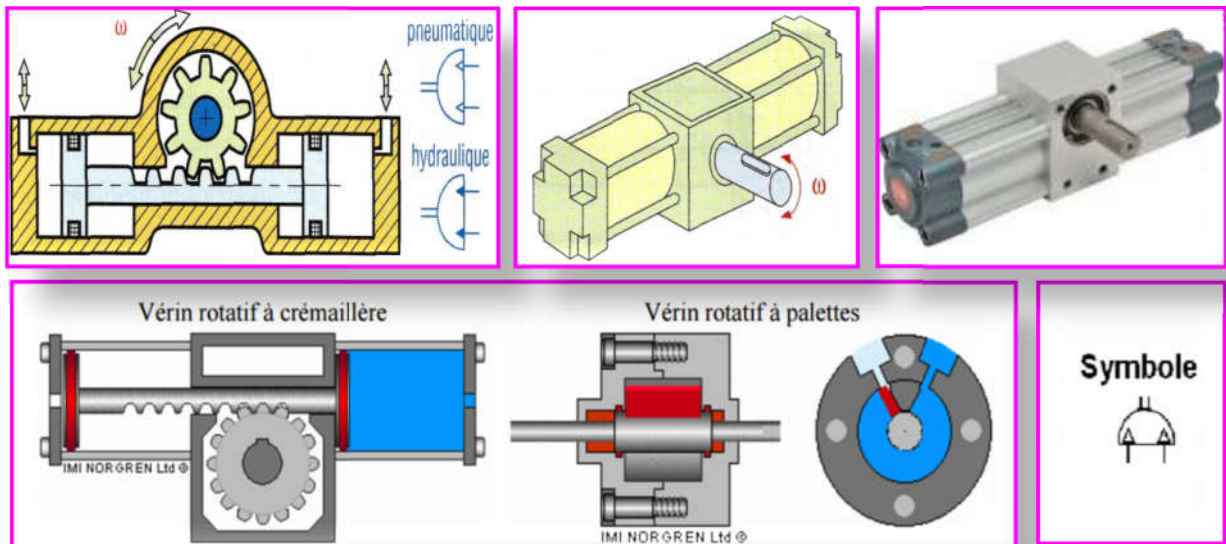


Fig III. 17: Vérin rotatif.

III.4.2.b. Moteur pneumatique ou hydraulique

Si on souhaite une rotation continue, on utilise un moteur. Il existe plusieurs moyens pour produire un mouvement de rotation continu à l'aide d'un débit d'air comprimé ou de l'huile sous pression.

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

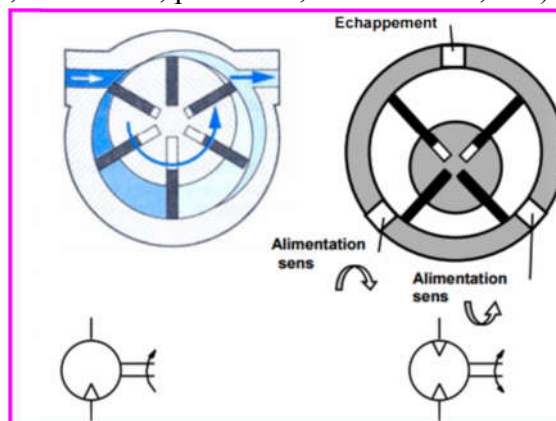


Fig III. 18: Exemple de moteur pneumatique (ou hydraulique) : moteur à palettes 1 et 2 sens.

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.

➤ **Puissances dans un moteur pneumatique ou hydraulique**

Puissance hydraulique ou pneumatique disponible à l'entrée de la pompe (W): $P_e = Q \cdot (p - p_r)$

- Q (en m³/s) : débit en sortie de pompe
- p (en Pa) : pression du fluide à l'admission
- p_r (en Pa) : pression du fluide à l'échappement

Puissance mécanique en rotation disponible à la sortie (en W) : $P_s = T \cdot \Omega$

- T (en N.m) : couple disponible à l'arbre de sortie,
- Ω (en rad/s) : vitesse de rotation de la pompe.

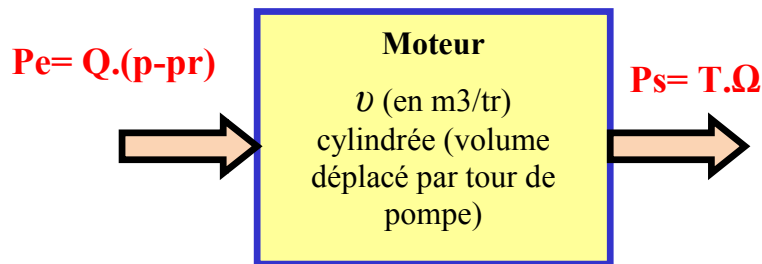


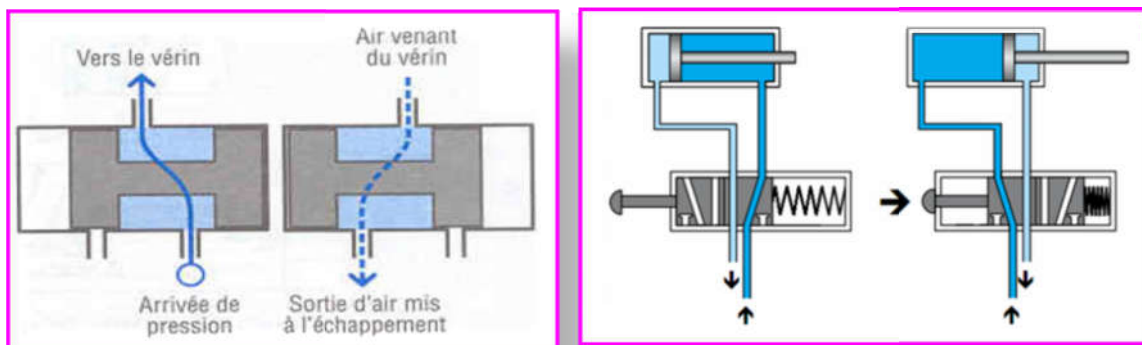
Fig III. 19: Exemple de moteur pneumatique (ou hydraulique)

III.5 Distributeurs (Modulateurs) d'énergie pneumatique ou hydraulique

III.5.1 Fonction

Les distributeurs sont les préactionneurs des vérins pneumatiques et hydrauliques. La fonction "distribuer" consiste à acheminer l'air ou l'huile vers l'actionneur en fonction des ordres de la commande, ce qui se traduit par un contrôle du mouvement de la tige d'un vérin ou la rotation d'un moteur hydraulique ou pneumatique (distributeurs de puissance).

Ils servent d'«aiguillages» en dirigeant le fluide dans certaines directions à la réception d'un signal de commande qui peut être mécanique, électrique ou pneumatique. Les plus utilisés sont les distributeurs à tiroir.



a. Principe de travail d'un distributeur b. Commande d'un vérin par distributeur 5/2

Fig III. 20: Principe d'utilisation d'un distributeur.

III.5.2 Symbolisation

Un distributeur est caractérisé par :

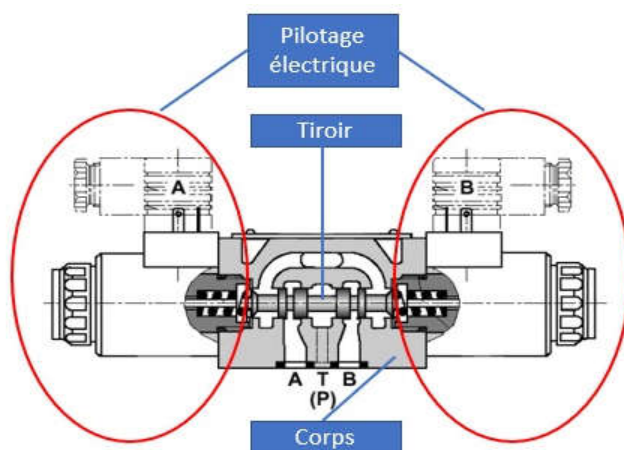
- **le nombre des orifices** : 2, 3, 4 ou 5 ;
- **le nombre de positions** : 2 ou 3 ;
- **le type de commande du pilotage assurant le changement de position** :
 - ✓ simple pilotage avec rappel par ressort : monostable
 - ✓ double pilotage : bistable
 - ✓ double pilotage avec éventuellement rappel au centre par ressort dans le cas des distributeurs à 3 positions ;
- **le nombre de positions stables** qu'il possède : monostable ;
 - ✓ **Monostable** : possède une seule position stable, soit celle de repos. Le mode d'actionnement doit être activé en permanence pour toute la durée de l'actionnement du distributeur. C'est le cas d'un modèle à bouton –poussoir et à rappel à ressort.
 - ✓ **Bistable** : possède deux états stables, ce qui signifie qu'un actionnement momentané ou une seule impulsion sert à commuter le distributeur. On dit que le distributeur agit comme une mémoire, car il a la capacité de conserver sa position. C'est le cas d'un modèle muni d'un pilotage pneumatique de chaque coté

La désignation complète d'un distributeur est comme suit :

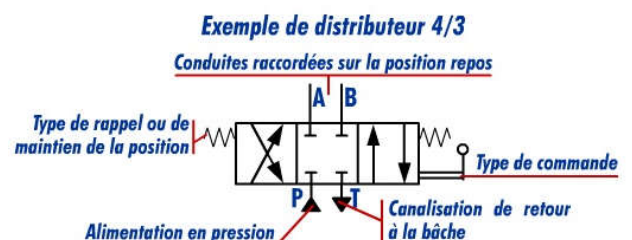
Distributeur : **nombre des orifices/ nombre de positions à pilotage (type) monostable ou bistable**

Remarque :

- Aucune indication n'est donnée en ce qui concerne sa technologie de construction, l'accent étant mis uniquement sur ses fonctions.
- La taille d'un distributeur ainsi que la grosseur de ses orifices doivent être adaptés au débit qui le traverse.



a. Constituants




b. Symbolisation

Fig III. 21: Constituant et symbolisation d'un distributeur.

III.5.2.a. Représentation symbolique :

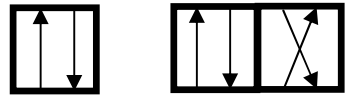
On représente les distributeurs à l'aide de symboles. Chaque symbole est constitué d'une case rectangulaire à l'intérieur de laquelle on trouve deux ou trois carrés désignent le nombre de positions que peut prendre le distributeur symbolisé. A l'intérieur de chaque carré, des flèches indiquent le sens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

➤ **Règles de schématisation**

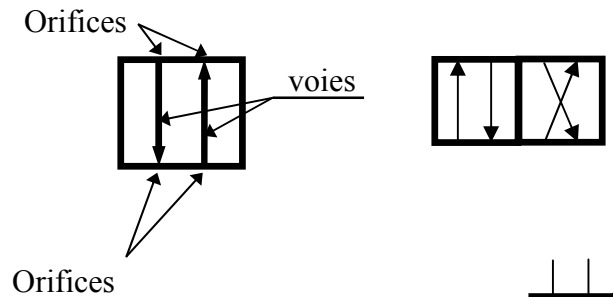
- Chaque **position** du tiroir du distributeur est représentée par une case carrée : 
- Puisque le tiroir peut occuper **deux ou trois positions**, on dessinera **deux ou trois cases** :



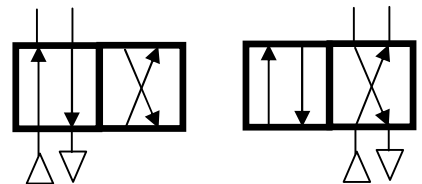
- Les **canalisations** sont représentées par **des flèches** dont le sens indique le **passage de l'air comprimé**.



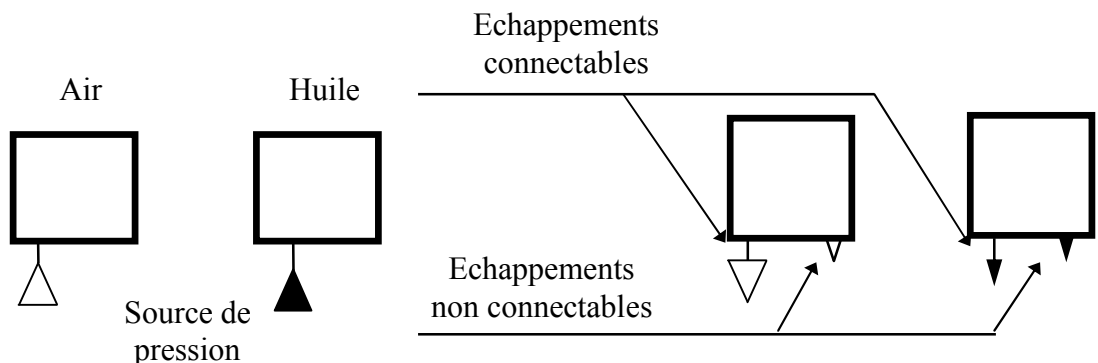
- Les extrémités des flèches correspondent aux orifices sont placées en regard des tuyaux qui vont vers les **chambres du vérin**, de **l'alimentation en air** et de **l'échappement**.

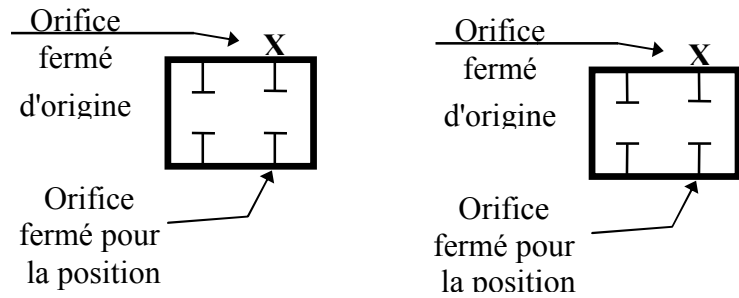


- A un instant donné, seule **une des deux cases est utilisée**.



- l'alimentation peut être de l'air comprimé ou de l'huile sous pression





➤ **Les pilotages (la commande des distributeurs)**

Chaque distributeur est muni d'un moyen de commande et d'un moyen de rappel :
 - Le moyen de commande constitue le mode d'actionnement et se dessine, par convention, à gauche du symbole du distributeur.
 - Le moyen de rappel constitue le mode de désactivation du distributeur et se dessine, à la droite du symbole. Ce second pilotage est, soit de même nature que le premier, soit un **ressort**

Il existe un grand nombre de pilotages possibles, mais les plus courants sont les suivants :

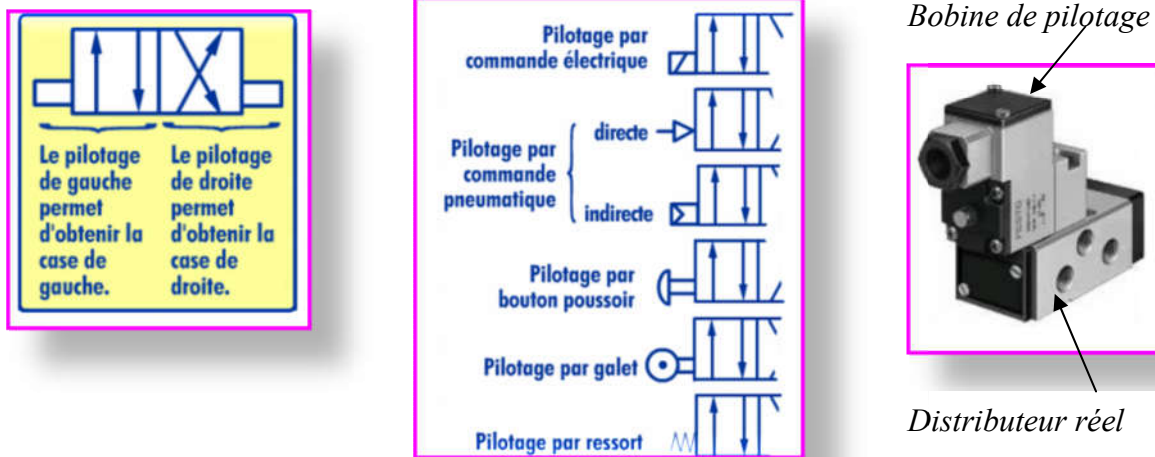


Fig III. 22: Exemples de Pilotage des distributeurs.

➤ **Distributeurs monostables et bistables**

Si le distributeur possède **une commande par ressort**, il est **monostable** (ou à simple pilotage). Seule la position obtenue grâce au ressort est stable : en l'**absence d'un signal** de pilotage extérieur, le tiroir se déplace automatiquement dans **la position du ressort**.



Si le distributeur possède **deux pilotages de même nature**, il est **bistable** (ou à double pilotage). Les deux positions sont des positions **stables** : en l'**absence d'un signal** de commande extérieur, **le tiroir ne bouge pas** et reste dans la position qu'il occupe.



➤ **Distributeur monostable :**

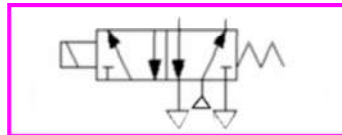
Un distributeur est dit monostable lorsqu'il y a un déficit entre le nombre de positions que peut prendre ce distributeur et le nombre de commandes pilotables. Un (ou des) ressort active la position surnuméraire

• **Exemples**

Distributeur 5/2 monostable à commande électrique.

Le rappel se fait par ressort.

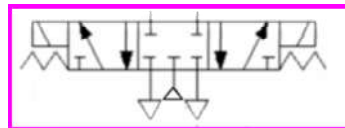
La position stable est la position repos (ressort détendu).



Distributeur 5/3 monostable à commande électrique.

Le rappel en position stable se fait par ressort.

La position stable est la position centrale (ressorts détendus).



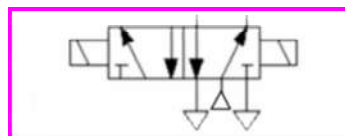
➤ **Distributeur bistable :**

Autant de positions que de commandes pilotables

• **Exemples**

Distributeur 5/2 bistable à commandes électriques.

Il n'y a pas de ressort et il y a deux positions stables.



Le tableau I. 3 représente un exemple des distributeurs couramment utilisés

Tableau III. 1 : Exemples de distributeurs.

	Distributeur 2/2 (2 orifices, 2 positions) à commande manuelle		Distributeur 3/3 (3 orifices, 3 positions) à commande électromagnétique avec rappel par ressort
	Distributeur 2/2 (2 orifices, 2 positions) à commande par pression avec rappel par ressort		Distributeur 4/2 (4 orifices, 2 positions) à commande par pression accouplée à un distributeur pilote avec rappel par ressort
	Distributeur 3/2 (3 orifices, 2 positions) à commande par pression des deux côtés		Distributeur 5/2 (5 orifices, 2 positions) à commande par pression des deux côtés

➤ **Codification des orifices d'un distributeur**

Le repérage ainsi que la codification des différents orifices d'un distributeur suivent une règle normalisée.

Ainsi, le repérage des connexions sera identique d'un fabricant à un autre. L'alimentation en pression est repérée 1.

Les orifices d'échappement sont repérés 3 et 5 (lorsqu'il n'y en a qu'un, c'est le numéro 3 qui est conservé).

Les orifices d'alimentation des chambres du vérin sont repérés 2 et 4 (lorsqu'il n'y en a qu'un, c'est le numéro 2 qui est conservé).

Les pilotages sont repérés 12 et 14 :

- Le pilotage 12 permet de mettre en relation l'alimentation 1 avec la chambre 2
- Le pilotage 14 permet de mettre en relation l'alimentation 1 avec la chambre 4
-

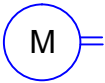
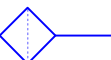
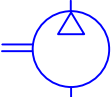





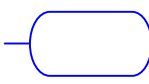

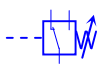





Fig III. 23: Repérage des orifices d'un distributeur.





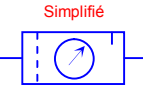
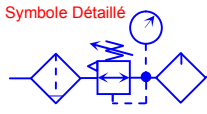
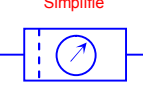
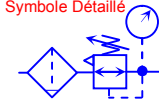
III.6 Schématisation conventionnelles des éléments hydrauliques et pneumatiques

Le tableau III.2 montre les symboles des éléments les plus utilisés en pneumatique et hydraulique.

Tableau III. 2 : Symboles pneumatique.

Repère	Symbole	Désignation	Fonction
01		Moteur électrique	Entraîne en rotation le compresseur.
02		Buse d'aspiration	Permet de filtrer les plus grosses poussières avant qu'elles pénètrent dans le compresseur.
03		Compresseur à cylindrée fixe à un sens de flux	Permet de compresser l'air ambiant.
04		Refroidisseur	Permet de refroidir le circuit. (La compression fait chauffer l'air comprimé).
05		Purgeur à commande manuelle	Recueil les condensas.
06		Vanne Robinet	Permet d'ouvrir ou de fermer le passage de l'air comprimé dans les circuit. Elle permet de libérer les condensas.
07		Limiteur de pression (Soupape de sûreté)	Limite la pression de l'air comprimé. Lorsque la pression est atteinte, le limiteur de pression ou soupape de sûreté libère l'excédant à l'atmosphère. C'est un élément de sécurité.
08		Clapet anti-retour (clapet de non-retour)	Empêche le retour de l'air comprimé. Dans le cas présent, empêche le retour de l'air comprimé dans le compresseur.
09		Réservoir sous pression Accumulateur	Permet de stocker l'air comprimé.
10		Manomètre	Indique la pression de l'air comprimé dans la cuve et dans les circuits.
11		Pressostat	Coupe l'alimentation du moteur électrique du compresseur, lorsque le réservoir atteint la pression demandée. Il la remet en service lorsque la pression a baissée.
12		Filtre	Permet de filtrer l'air comprimé dans les circuits pneumatiques en éliminant les particules lourdes.

13		Régulateur de pression	Permet d'abaisser et de réguler la pression dans les circuits pneumatiques.
14		Lubrificateur	Permet de lubrifier l'air comprimé des circuits de puissance. La portée du lubrificateur ne doit pas excéder 6 à 8 mètres.

Repère	Symbole	Désignation	Fonction	
15		Déshydrateur	Permet de sécher l'air comprimé afin de réduire l'eau issue de la condensation.	
16	<p>Accouplé </p> <p>Désaccouplé </p>	Raccord rapide avec clapet de non-retour	Permet le raccordement d'une canalisation flexible. Le clapet anti-retour permet de débrancher et rebrancher une canalisation flexible lorsque le circuit est sous pression.	
17		Évacuation d'air avec connexion	Indique le sens d'écoulement de l'air dans les circuit. Indique également la présence d'un échappement connectable.	
18		Unité de conditionnement d'air comprimé F.R.L	<p>Symbole Détaillé </p>	Composé d'un Filtre, d'un Régulateur de pression, d'un manomètre et d'un Lubrificateur, il permet d'assurer une pression d'air propre, lubrifiée et constante pour les circuits de puissance.
19		Unité de conditionnement d'air comprimé F.R	<p>Symbole Détaillé </p>	Composé d'un Filtre, d'un Régulateur de pression, et d'un manomètre, il permet d'assurer une pression d'air propre et constante pour les circuits de commande.

Chapitre IV **LES SYSTÈMES AUTOMATISÉS DE PRODUCTIONS (SAP)**

IV.1 Introduction

L'automatisme industriel a connu, une mutation très importante en devenant une technologie incontournable aujourd'hui grâce notamment à son utilisation dans tous les domaines de fabrication. Cette évolution est due d'une part, au défi économique mondial auquel l'industrie est confrontée ces dernières années, le perfectionnement des 'appareils de productions s'avère indispensable: automatiser, par exemple, devient est obligation pour obtenir une compétitivité meilleure des produits fabriqués et assurer des performances parfaites, et d'autre part à la mise en œuvre de la micro-électronique et des techniques de l'informatique pour le contrôle-commande des processus industriels, ont conduit à un formidable essor des systèmes automatisés, et de l'informatique industriel

IV.2 Système automatisé de production

Un système de automatisé de production est un système à caractère industriel ayant pour but de traiter une matière d'œuvre pour lui apporter une valeur ajoutée de façon reproductible et rentable.

Un système de production répond au besoin d'élaborer des produits, de l'énergie ou de l'information à un coût rentable pour l'utilisateur du système.

IV.2.1 Définitions

IV.2.1.a. Système

Un système est ensemble de constituants en interaction dynamique, organisés pour atteindre un but. C'est la *FONCTION GLOBALE* du système.

IV.2.1.b. Automatique

On appelle système automatique un système pour lequel tout ou partie du savoir-faire est confié à une machine, en d'autres termes, C'est l'ensemble des sciences et des techniques utilisées dans la conception et la réalisation des systèmes automatisés (SA).

IV.2.1.c. Automatisation

C'est l'exécution automatique de tâches sans interventions humaines.

IV.2.1.d. Informatique industriel

L'informatique industrielle comme étant une branche de l'informatique appliquée qui couvre l'ensemble des techniques de conception et de programmation de systèmes informatisés à vocation industrielle qui ne sont pas des ordinateurs.

IV.2.2 Fonction globale d'un système automatisé de production

La fonction globale de tout système est de conférer une valeur ajoutée, à un ensemble de matières d'œuvre dans un environnement ou un contexte donné. Les résultats obtenus peuvent être :

- ✓ soit des produits finis, directement commercialisables.
- ✓ soit des produits intermédiaires servant à la réalisation des produits finis.

De plus, un système de production est dit « industriel » si l'obtention de cette valeur ajoutée, pour un ensemble de matières d'œuvre donné, a un caractère reproductible et peut être exprimée et quantifiée en termes économiques, (Figure I.1).

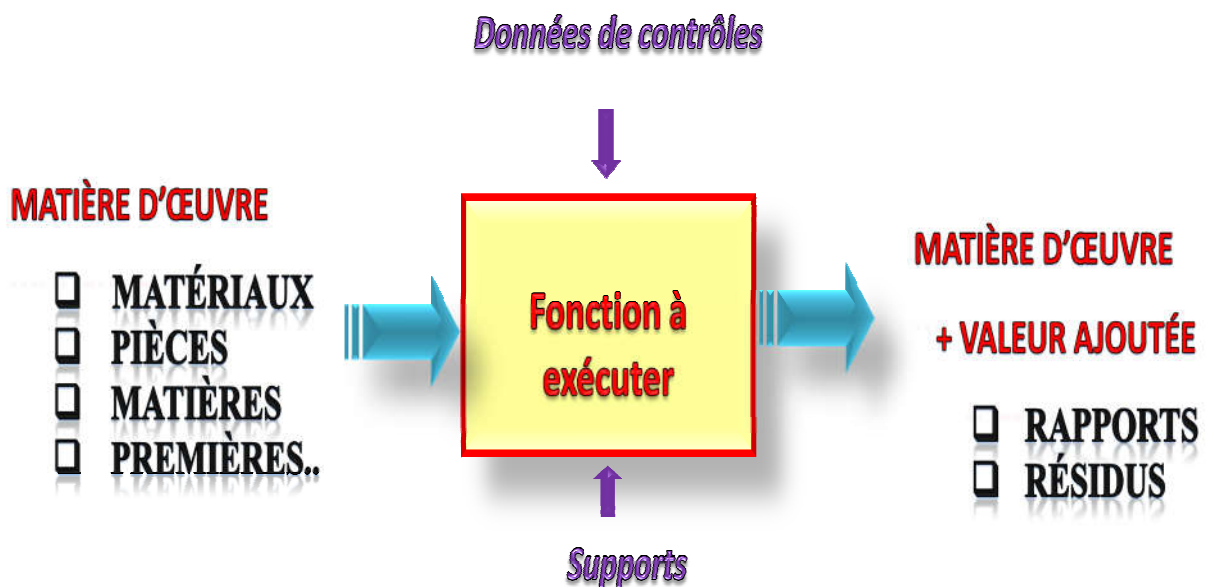


Fig IV. 1: Fonction globale d'un système.

IV.2.2.a. Objectifs de l'automatisation

Les objectifs principaux de l'automatisation des systèmes industriels de production sont :

- ✓ réduire les coûts de production et améliorer la qualité d'un produit,
- ✓ accroître la productivité du système c'est-à-dire augmenté la quantité de produits fabriqués, d'où obtention d'une meilleure rentabilité et compétitivité.
- ✓ améliorer la qualité du produit et améliorer la flexibilité de production

- ✓ supprimer les travaux dangereux ou pénibles,
- ✓ réaliser des opérations humainement impossibles,
- ✓ possibilité de réaliser des travaux dans des milieux hostiles pour l'homme (environnement salin, spatial, nucléaire...),
- ✓ augmenter la sécurité.

Remarque : Les inconvénients qui peuvent se présenter lors de l'automatisation sont:

- ✓ La complexité de la maintenance : elle doit être structurée ;
- ✓ La suppression d'emplois.

IV.2.3 Constituants d'un système

IV.2.3.a. Matières d'œuvre

Une matière d'œuvre peut avoir plusieurs aspects, à titre d'exemple :

- **Une matière**, c'est un à- produit, à l'état solide, liquide ou gazeux, et sous une forme plus ou moins transformée :
 - ✓ produits techniques : tôles, pièces brute non usinées, ...etc
 - ✓ produits chimiques : pétrole, matière plastiques...etc
 - ✓ produits textiles : fibre, tissu, etc
 - ✓ produits électroniques : transistor, puce, microprocesseur, ...etc
- **Une énergie**
 - ✓ sous forme : électrique, thermique, hydraulique,...etc, qu'il faut : produire, stocker, transporter, convertir, utiliser,...
- **Une information**
 - ✓ sous forme écrite, physique, audiovisuelle,...etc, qu'il faut : produire, stocker, transporter, transmettre, communiquer, utiliser,...etc

IV.2.3.b. Valeur ajoutée

La valeur ajoutée à des matières d'œuvre est le but global pour lequel a été conçu le système, Cette dernière peut résulter par exemple :

- d'une modification physique des matières d'œuvre :
 - ✓ traitement mécanique : usinage, formage, broyage, impression...,
 - ✓ traitement chimique ou biologique,
 - ✓ conversion d'énergie,
 - ✓ traitement thermique : cuisson, congélation... ,
 - ✓ traitement superficiel : peinture, teinture...
- d'un arrangement particulier, sans modification des matières d'œuvre :
 - ✓ montage, emballage, assemblage... ,
 - ✓ couture, collage...
- d'une mise en position particulière, ou d'un transfert, de ces matières d'œuvre ;
 - ✓ manutention, transport, stockage,

- ✓ commerce,
- ✓ communication.
- d'un prélèvement d'information sur ces matières d'œuvre :
 - contrôle mesure lecture examens...

IV.2.3.c. Données de contrôles

C'est l'ensemble des données nécessaires au bon fonctionnement d'un système automatisé. On peut les classer dans quatre grandes catégories :

- ✓ les énergies,
- ✓ les consignes venant de l'utilisateur,
- ✓ les réglages
- ✓ les programmes.

IV.3 Structure d'un système automatisé de production

Tous les systèmes automatisés possèdent une structure générale composée de 3 parties fondamentales :

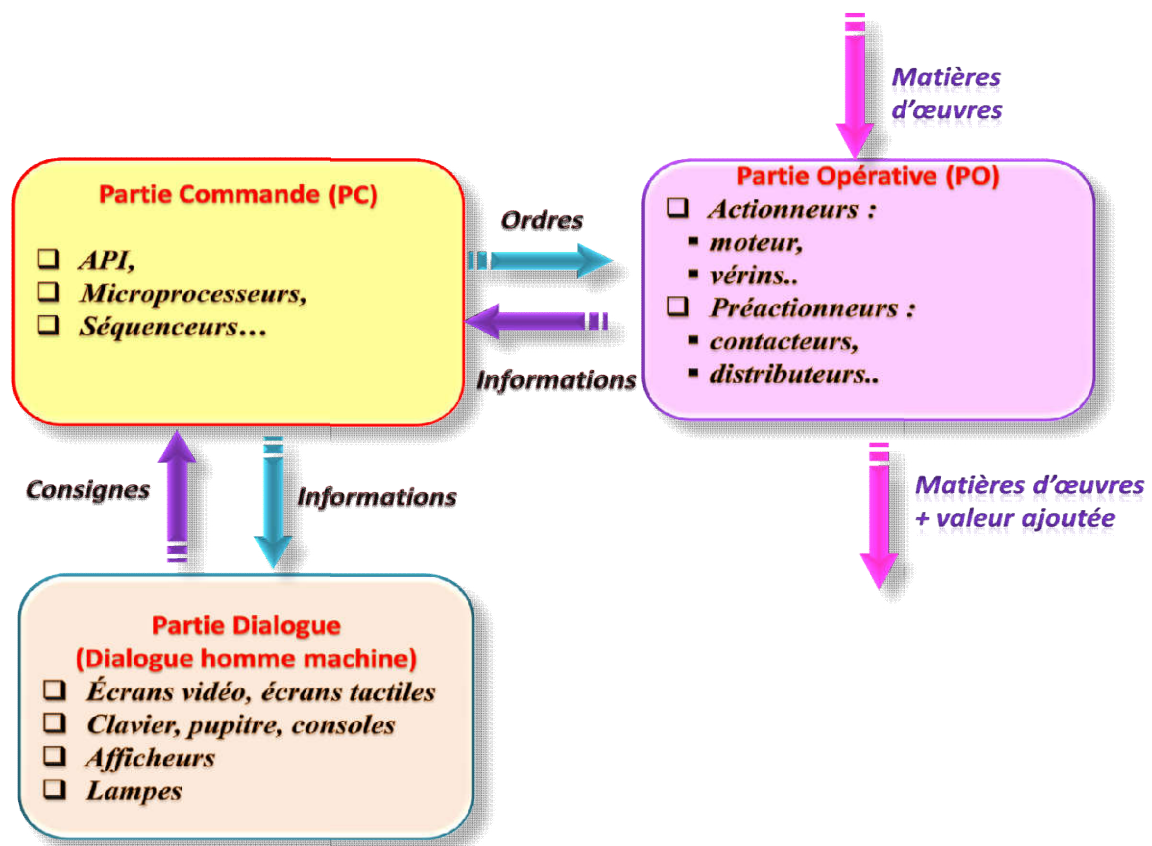


Fig IV. 2: Structure d'un système automatisé.

IV.3.1.a. Partie opérative (PO)

On l'appelle également partie puissance, c'est la partie visible du système (corps) qui permet de transformer la matière d'œuvre entrante pour lui apporter sa valeur ajoutée, elle

est composée d'éléments mécaniques, d'actionneurs (vérins, moteurs), de préactionneurs (distributeurs et contacteurs) et des éléments de détection (capteurs, détecteurs). Pour réaliser les mouvements il est nécessaire de fournir une énergie à la PO.:

- Electrique
- Pneumatique (air sous pression).
- Hydraulique (huile sous pression).

C'est la partie visible du système. Elle comporte les éléments mécaniques du mécanisme avec:

- des pré-actionneurs (distributeurs, contacteurs), lesquels reçoivent des ordres de la partie commande;
- des actionneurs (vérins-moteurs) qui ont pour rôle d'exécuter ces ordres. Ils transforment l'énergie pneumatique (air comprimé), hydraulique (huile sous pression) ou électrique en énergie mécanique. Ils se présentent sous différentes formes comme :
 - ✓ Moteurs: hydraulique, pneumatique, électriques,
 - ✓ Vérins : linéaires (1 ou 2 tiges) rotatifs, sans tige;
- des capteurs qui informent la partie commande de l'exécution du travail. Ils existent sous différents types comme :
 - ✓ Capteurs mécaniques, pneumatiques ou électriques;
 - ✓ Capteurs magnétiques montés sur es vérins,
 - ✓ Capteurs pneumatiques à chute de pression.

Dans un système automatisé de production, ce secteur de détection représente le service de surveillance et renseignement du mécanisme. Il contrôle, mesure, surveille et informe la PC sur l'évolution du système.

IV.3.1.b. Partie Commande (PC)

Appelée aussi système de contrôle/commande (SCC), c'est la partie qui traite les informations, elle gère et contrôle le déroulement du cycle en coordonnant la succession des actions sur la Partie Opérative avec la finalité d'obtenir cette valeur ajoutée, elle est caractérisée par le fait qu'elle

- Reproduit le savoir-faire des concepteurs
- Émet des ordres vers la partie opérative et reçoit des comptes rendus
- Composée de l'ensemble les moyens logiciels et d'informations
- Elle coordonne :

- ✓ Le dialogue avec la machine : commande des actionneurs via les pré-actionneurs et l'acquisition des signaux des capteurs
- ✓ Assure le dialogue homme machine : le personnel émet des consignes pour exploiter, régler et dépanner la machine.
- ✓ Assure le dialogue avec d'autres machines : afin de coordonner les machines pouvant coopérer dans une même production.

Réalisation matérielle de la PC:

Elle peut être réalisée soit

- **en logique câblée** (séquenceurs), avec
 - ✓ technologie électronique
 - ✓ technologie électrique
 - ✓ technologie pneumatique

L'inconvénient de cette technique c'est le fait qu'elle est figée, toute modification de commande nécessite un recâblage de cette partie.

- **en logique programmée**

Elle peut être réalisée soit par :

- ✓ Automates Programmables Industriels (API)
- ✓ μ -ordinateurs industriels
- ✓ cartes électroniques à μ p où à μ -contrôleurs

L'avantage de cette technique c'est d'être une structure flexible (ou souple), toute modification est simple suivie par une modification du programme.

IV.3.1.a. Partie dialogue (PD)

Connue aussi sous le nom de pupitre, elle permet d'intervenir sur le système (marche, arrêt, arrêt d'urgence...) et de visualiser son état (voyants).

Les échanges d'information entre la PC et la PO sont de deux types:

- -émission des ordres aux signaux de commande vers les préactionneurs de la PO,
- -réception des comptes rendus de la PC par l'intermédiaire d'organes de saisie d'information (capteurs).
- Tout ce qui entre dans la partie commande sera considéré par celle-ci comme un compte-rendu et tout ce qui sort comme un ordre.

La figure ci-dessous montre les différentes parties d'un système automatisé avec les éléments qui peuvent composer les PC, PO et PR

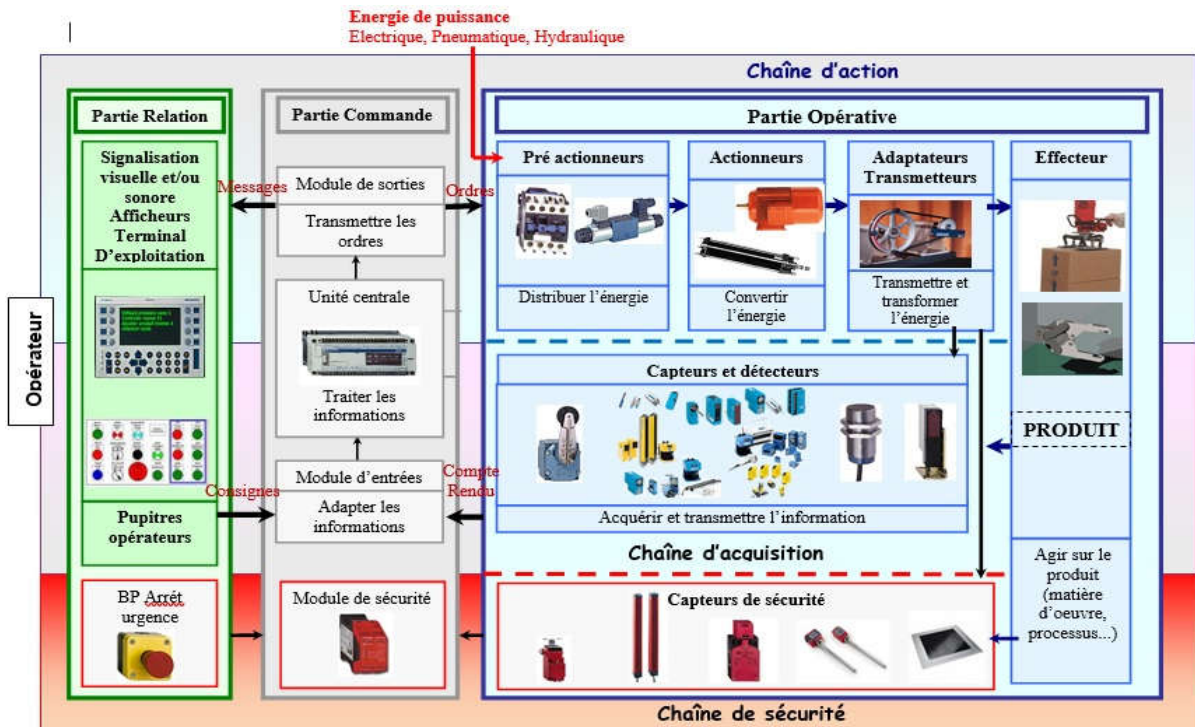


Fig IV. 3: les composants des différentes parties d'un système automatisé.

la figure (IV . 4) présente un exemple de SAP « palettisation » avec visualisation des éléments qui le composent :

Exemple de SAP: chaîne de palettisation.

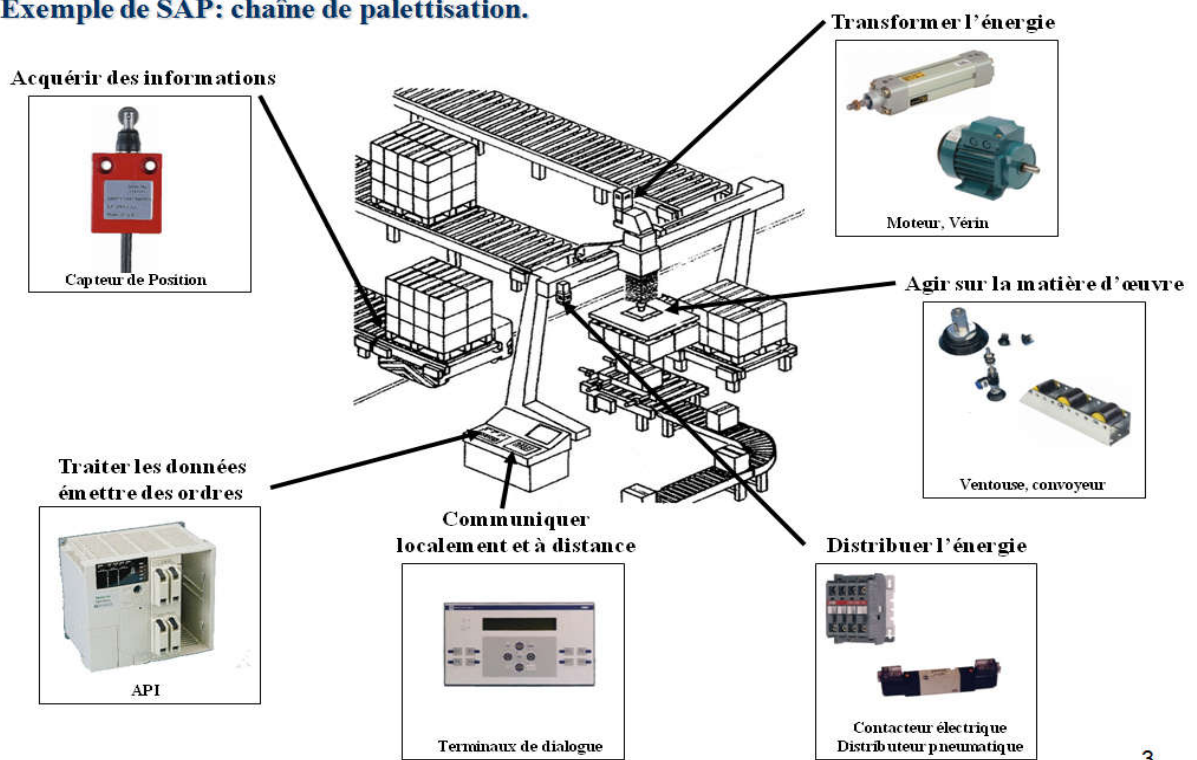


Fig IV. 4: Exemple d'un SAP « Chaîne de Palettisation » .

Exemple de capteurs utilisés des les SAP.

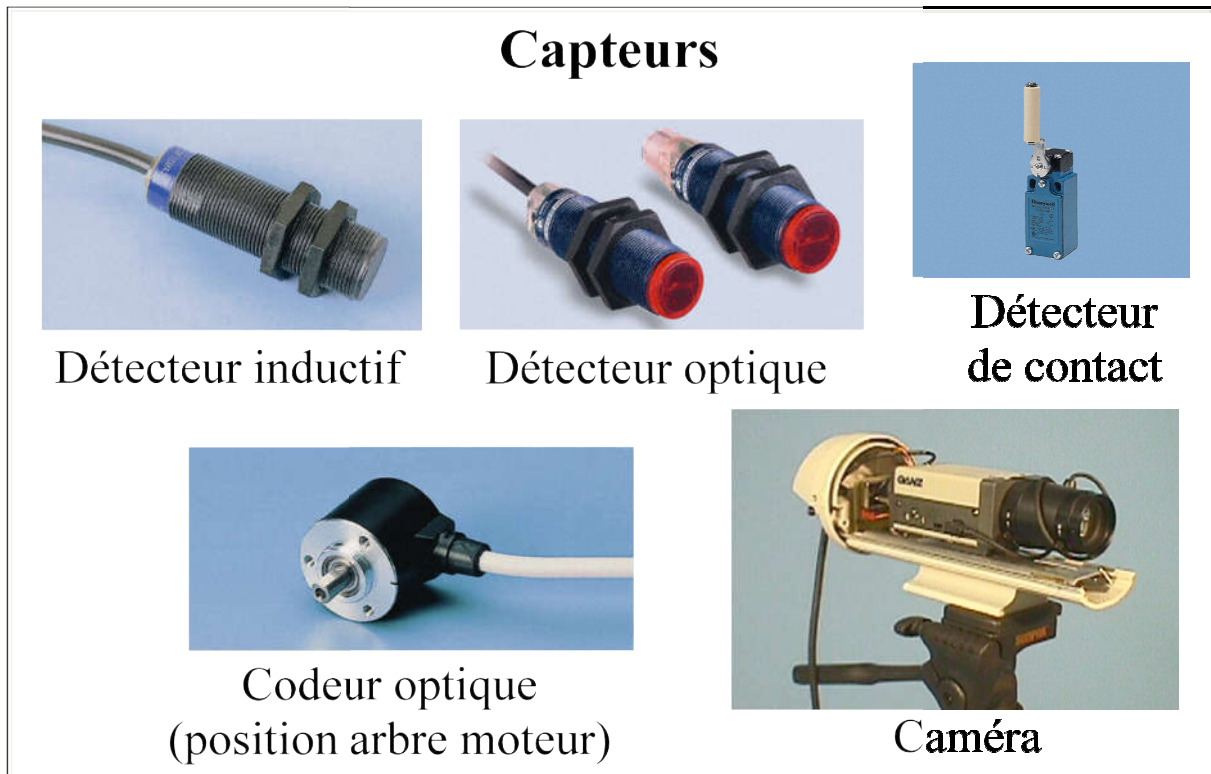


Fig IV. 5: Exemple de capteurs utilisés dans SAP.

IV.4 Différents types de commande

Ils existent sur les SAP différents types de commandes.

IV.4.1 Système automatisé combinatoire

A un état d'entrées, correspond un et un seul état en sortie. Aucune mémoire des états précédents des entrées et des sorties n'est conservée. La logique associée est appelée logique combinatoire.



Fig IV. 6: Schéma de principe d'un système combinatoire.

Les grandeurs y sont manipulées sous formes d'états binaires, ce qui justifie l'utilisation de l'algèbre de Boole, et des notions liées au codage de l'information.

Les outils utilisés pour les concevoir sont l'algèbre de Boole, les tables de vérité, les tableaux de KARNAUGH.

Remarque : Les systèmes automatisés à logique combinatoire sont aujourd'hui très peu utilisés. L'usage de ces derniers est effectué pour des systèmes simples où le nombre d'actions à réaliser est limité. Ils présentent en plus l'avantage de n'utiliser que très peu de composants (vérins, distributeurs, capteurs, cellules).

Exemple 1 : Si la présence de la boîte à transférer est détectée par le capteur de présence "P", alors le vérin A transférera la boîte vers le tapis roulants 2.

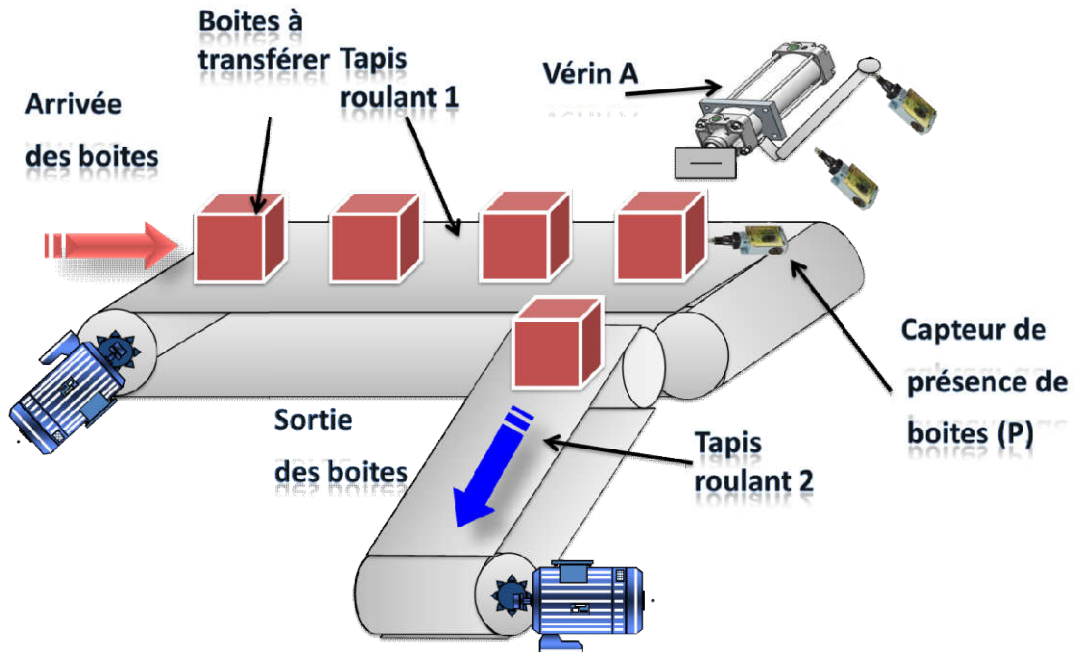


Fig IV. 7: Système automatisé combinatoire, exemple transfert de boîtes.

IV.4.2 Système automatisé séquentiel (ou à événements discrets) :

La sortie du système est obtenue à partir des signaux logiques d'entrée mais elle prend en considération la mémorisation de l'état logique de sortie précédent. Les états précédents des entrées et des sorties sont mémorisés, et influent sur l'évolution du système. A une combinaison d'entrées, peuvent correspondre plusieurs combinaisons des sorties.

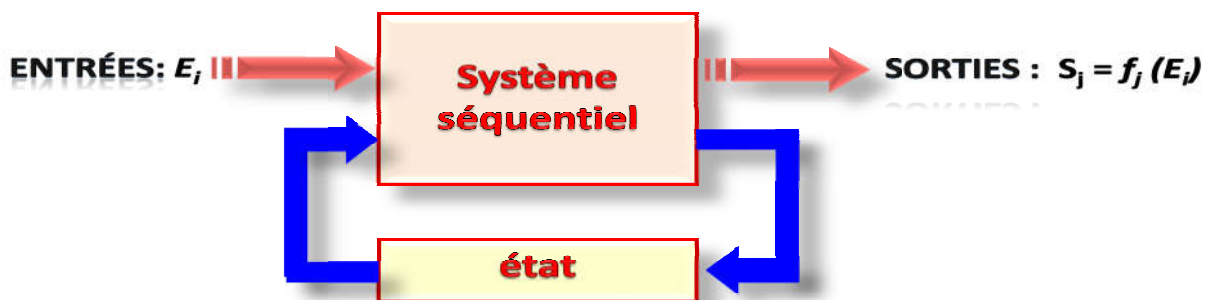


Fig IV. 8: Schéma de principe d'un système séquentiel.

Exemple 2 : Exemple (Fig.1.8) : Le système place des boîtes côte à côte 3 par 3, sur un tapis d'évacuation 2. Ainsi placées, les boîtes sont emmenées vers un dispositif de conditionnement sous film plastique rétractable (non représenté)..

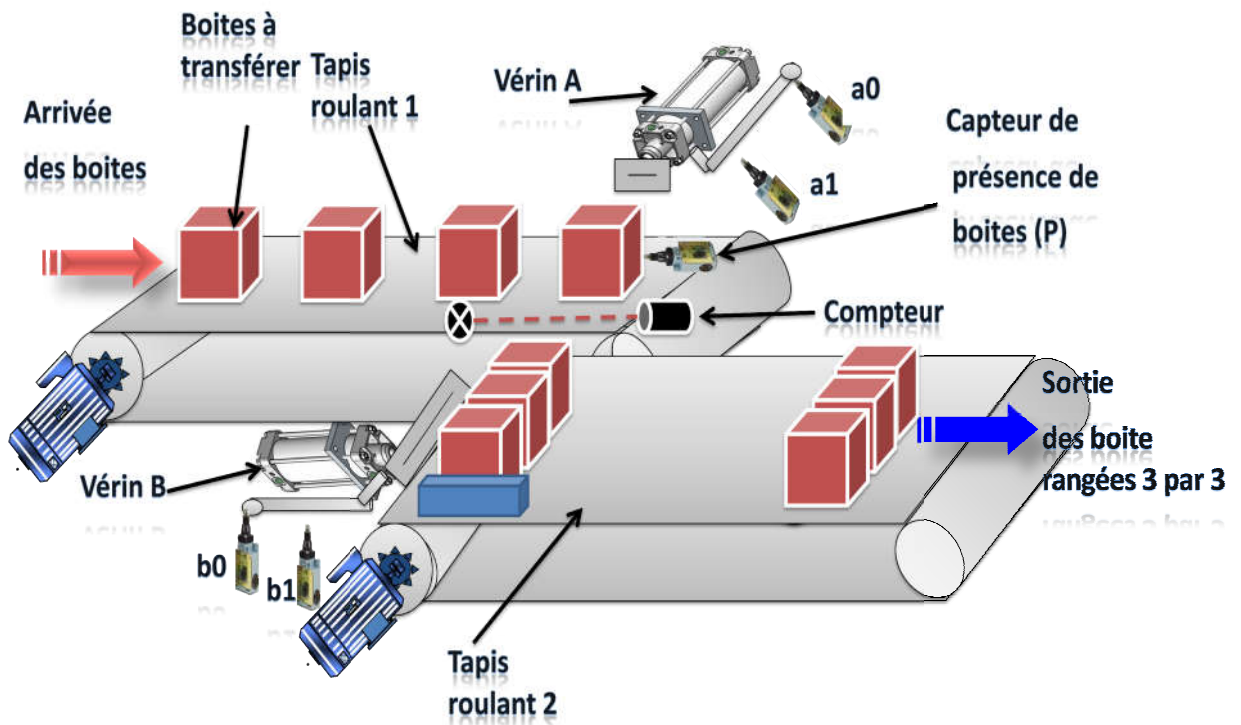


Fig IV. 9: Système automatisé, exemple transfert et rangement de boîtes 3 par 3.

IV.5 Automate Programmable Industriel API

IV.5.1 Introduction

Les Automates Programmables Industriels (API) ou encore PLC (programmable logic controller) sont apparus aux Etats-Unis vers 1969 où ils répondaient aux désirs des industries de l'automobile de développer des chaînes de fabrication automatisées qui pourraient suivre l'évolution des techniques et des modèles fabriqués.

Un Automate Programmable Industriel (en abrégé : API) est une ensemble électronique programmable par un personnel non informaticien et destiné commander un processus industriel (agro-alimentaire, fonderie, centre de tri, etc...). L'API (logique programmée) s'est substitué aux armoires à relais (logique câblée) en raison de sa souplesse dans la mise en œuvre, mais aussi parce que dans les coûts de câblage et de maintenance devenaient trop élevés.

IV.5.2 Fonctionnement

L'automate programmable reçoit les informations relatives au système, il traite ces informations en fonction du jeu d'instruction et modifie l'état de ses sorties qui commandent les pré-actionneurs. Les fonctions que l'API doit remplir sont, Figure (V.5) :

- ✓ **Recevoir** : nécessité d'informations d'entrées.
- ✓ **Traiter** : notion de programme et de microprocesseur.
- ✓ **Jeu d'instructions** : notion de stockage donc de mémoire.
- ✓ **Commander** : notion de sortie afin de donner des ordres.

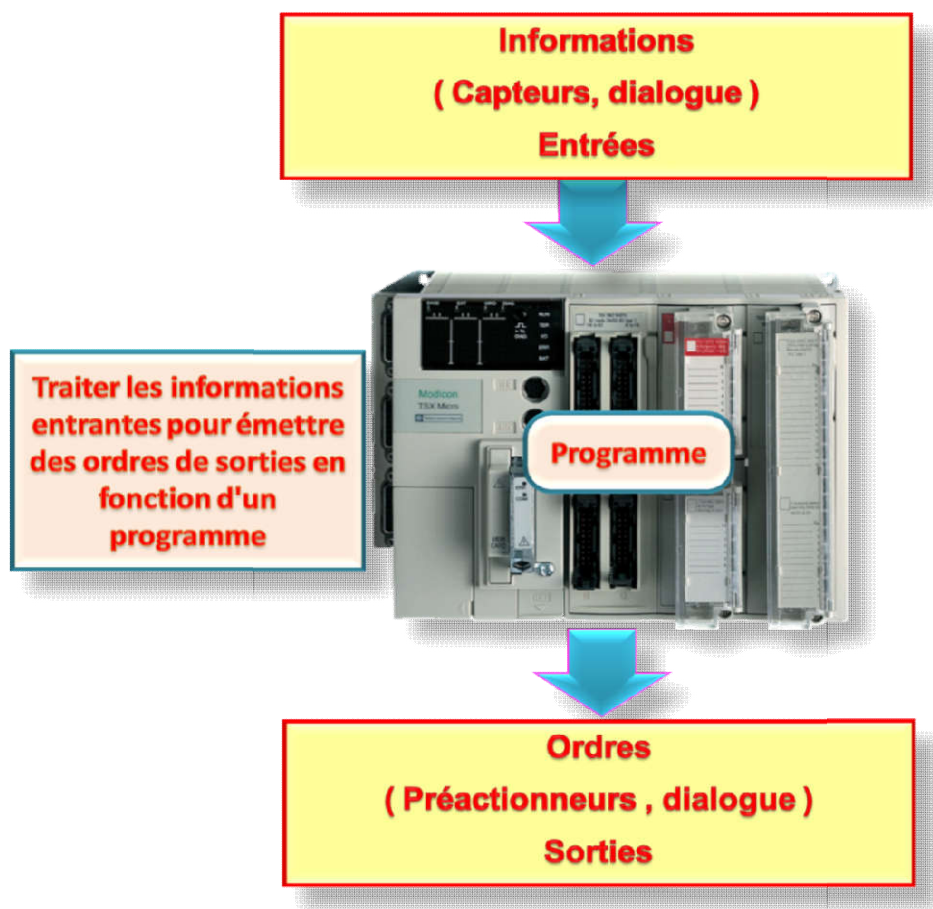


Fig IV. 10: Principe d'Automate.

IV.5.3 Aspect extérieur des API

Les automates programmables industriels peuvent être de type compact ou modulaire.

IV.5.3.a. Type compact

Le processeur, l'alimentation, les cartes d'entrées et sorties sont intégrés dans un seul boîtier (rack) et peuvent recevoir des extensions en nombre limité. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage, E/S analogiques ...) et recevoir

des extensions en nombre limité. Ces API sont caractérisés par un fonctionnement simple, et leurs utilisations est réservée à la commande de petits automatismes.



Fig IV. 11: API compacts.

IV.5.3.b. Type modulaire

Ce type d'API est formé un ensemble de modules fonctionnels. Généralement, chacun des éléments : processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties est intégré dans des modules séparés et sont fixés sur un ou plusieurs coffret appelé racks .La communication entre ces différents modules est assurée un bus interne.

Ce type d'automate est intégré dans les automatismes complexes qui sont caractérisés par une grande : puissance, capacité de traitement et flexibilité, figure(V.7).



Fig IV. 12: API modulaires.

IV.5.4 Insertion de l'API dans un système automatisé

L'insertion de l'API dans milieu automatisé est donnée par la figure (V.8), l'automate programmable reçoit les informations relatives à l'état du système et puis commande les pré-actionneurs suivant le programme inscrit dans sa mémoire, figure(V.7).

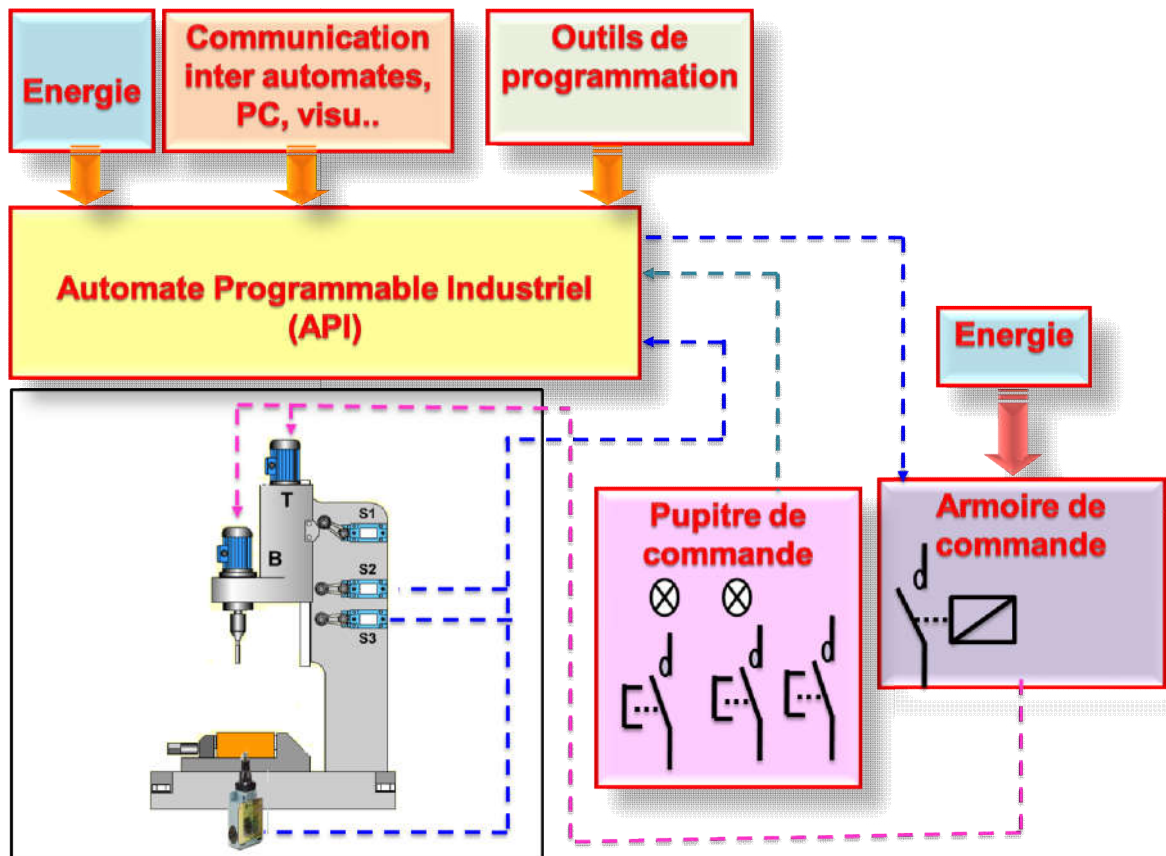


Fig IV. 13: API dans un milieu industriel.

IV.5.5 Structure d'un A.P.I

IV.5.5.a. Structure externe

L'aspect externe d'un API est composé, titre d'exemple, pour un API modulaire Siemens :

- | | |
|---|------------------------------|
| 1 Module d'alimentation | 6 Carte mémoire |
| 2 Pile de sauvegarde | 7 Interface multipoint (MPI) |
| 3 Connexion au 24V cc | 8 Connecteur frontal |
| 4 Commutateur de mode (à clé) | 9 Volet en face avant |
| 5 LED de signalisation d'état et de défauts | |

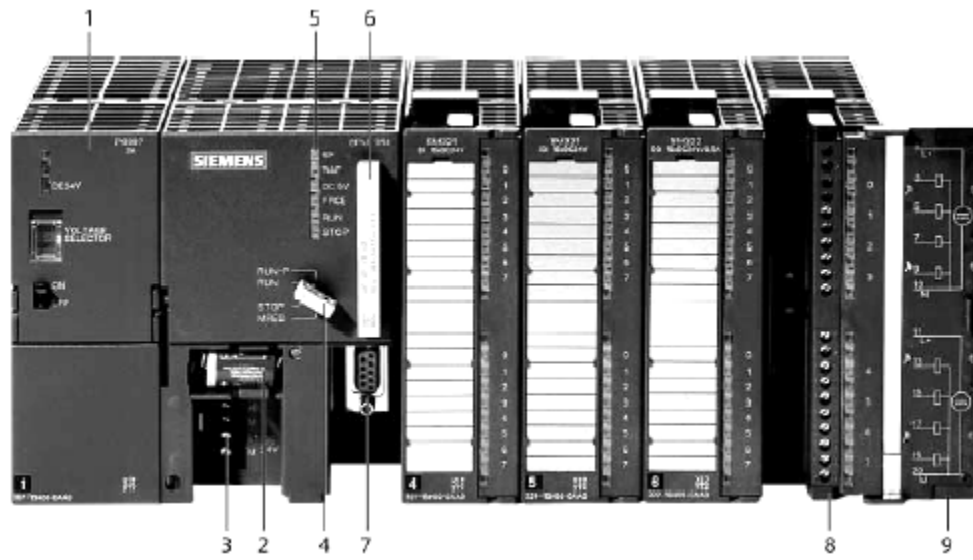


Fig IV. 14: Structure externe d'API lieu industriel.

Références

1. Xavier PESSOLES , chapitre 12 – analyse des systèmes hydrauliques et pneumatiques, Sciences Industrielles de l'Ingénieur
2. J. Perrin, F. Binet, J.-J. Dumery, C. Merlaud, J.-P. Trichard, Automatique et Informatique Industrielle – Bases théoriques, éthodologiques et techniques, Éditions Nathan Technique, 2004.
3. Guide des Automatismes Industriels.
4. Leila FERCHICHI , SCHÉMATISATION HYDRAULIQUE ET PNEUMATIQUE ;
5. Sami Bellalah, Chapitre II : L'hydraulique Industriel
6. Jean-Jacques VEUX, hydraulique industrielle