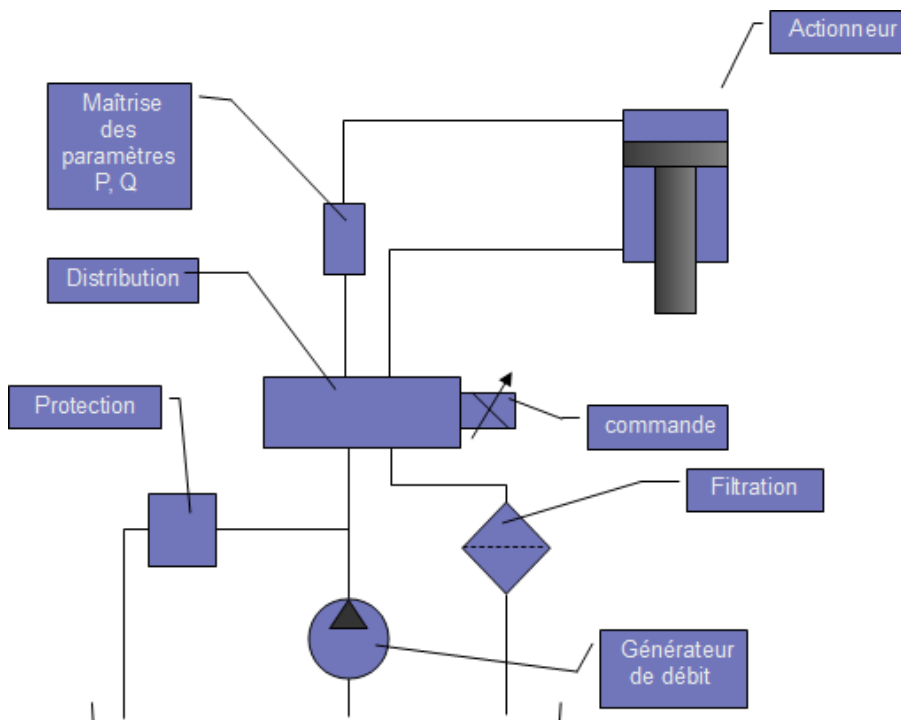


République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BEN YAHIA - JIJEL
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Génie Mécanique



Support de Cours (Ed. 2022/2023)

Systèmes Hydrauliques et Pneumatiques SHP



3^{ème} Année Licence Construction Mécanique

DELIOU Adel
Maître des Conférences A
E-Mail: deliouadel15@gmail.com

AVANT PROPOS

Le système hydraulique utilise l'action de circulation d'un fluide pour créer une action mécanique. Le fluide (liquide) est soumis à des pressions très élevées, entre 3 000 et 5 000 psi. Comme indiqué, la pneumatique utilise des pressions beaucoup plus faibles. En dépit des différences entre ces deux domaines, le concept est relativement simple à comprendre. La pneumatique utilise le même principe technologique, les gaz sont mise sous pression pour créer généré un mouvement mécanique. Le plus souvent, le gaz sous pression est simplement de l'air, qui peut être sec ou lubrifié. La force de la pression s'exerce sur un actionneur final (exemple un vérin).

Ce document photocopie constitue un support pour le cours systèmes hydrauliques et pneumatiques destiné aux étudiants de 3ème année Licence en Génie Mécanique spécialité Construction Mécanique.

Il est rédigé d'une manière pour introduire ces étudiants rapidement dans une discipline technologique et ainsi pour leur donner un support indispensable pour leurs études individuelles.

Ce document est composé de six chapitres, dans le premier chapitre une série de rappel sur la mécanique du fluide et les fluides hydrauliques. Dans le second, une présentation détaillée sur les différents types de pompes et compresseurs volumétriques et les moteurs hydrauliques. Le troisième chapitre est consacré à l'étude des vérins. Le quatrième chapitre expose une étude sur les différents accessoires et les composants secondaires d'une installation hydrauliques.

Le cinquième chapitre présente quelques exemples pratiques et réalisations.

Enfin, dans le dernier chapitre est consacré à la présentation du logiciel de simulation Automation Studio.

SOMMAIRE

AVANT PROPOS	1
SOMMAIRE	2
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION ET RAPPELS	
1.1. Les fluides hydrauliques	6
1.2. Les différents types de fluides hydrauliques	6
1.2.1. Huile minérale	7
1.2.2. Huile de synthèse et produit aqueux	8
1.3. Les caractéristiques des fluides hydrauliques	9
1.4. La viscosité	10
1.4.1. Influence de la température sur la viscosité	11
1.4.2. Influence de la pression sur la viscosité	12
1.5. Les régimes d'écoulement	12
1.6. Le nombre de Reynolds	12
1.7. Pertes de charge	13
1.8. Filtration	14
1.9. Qualité de l'air admis : humidité de l'air	14
1.10. Contamination de l'air par des particules solides	15
1.11. Types de filtres à air	18
Chapitre 2 : Les pompes et les compresseurs	
2.1. Les compresseurs	20
2.1.1. Classification des compresseurs	20
2.1.1.1. Compresseurs turbocompresseurs	21
2.1.1.2. Les compresseurs volumétriques	22
2.2. Les pompes hydrauliques	23
2.2.1. Caractéristiques générales d'une pompe hydraulique	23
2.2.2. Classification des pompes hydrauliques	25
2.2.2.1. Les pompes centrifuges	26
2.2.2.2. Les pompes volumétriques	27
<i>A. Les pompes volumétriques alternatives</i>	27
<i>A.1. Pompe à pistons axiaux</i>	28
<i>A.2. Pompes à pistons radiaux</i>	29
<i>A.3. Pompes à pistons en ligne</i>	29
<i>B. Les pompes volumétriques rotatives</i>	30
<i>B.1. Les pompes à palettes</i>	30
<i>B.2. Les pompes à engrenages</i>	31
<i>B.3. Les pompes à vis</i>	33
2.3. Les moteurs hydrauliques	34
2.3.1. Les différents types des moteurs	34
2.3.2. Les grandeurs associées aux moteurs hydrauliques	36
CHAPITRE 3 LES VERINS	
3.1. Définition	41

3.2. Classification de vérins	42
3.2.1. Vérin simple effet	43
3.2.2. Vérin double effet simple	43
3.2.3. Vérin double effets différentiel	44
3.2.4. Vérin double effets, double tige	44
3.2.5. Vérin télescopique	44
3.2.6. Vérin rotatif	45
3.3. Raideur d'un vérin, expression de la raideur	45
3.4. L'amortissement pneumatique	46
3.5. Flambage des vérins	47
3.6. Fixations et montage des vérins	48

CHAPITRE 4: CANALISATIONS HYDRAULIQUES

4.1. Les canalisations	50
4.2. Types de canalisations	50
4.2.1. Canalisations rigides	50
4.2.2. Canalisations souples	51
4.2.3. Tube et raccords	52
4.3. Dimensions	52
4.4. Appareils de contrôle de la pression	53
4.4.1. Limiteurs de pression	53
4.4.1.1. Limiteur de pression à action directe	54
4.4.1.2. Le limiteur de pression à commande indirecte	54
4.4.2. Réducteurs de pression	55
4.5. Appareils de contrôle du débit	55
4.5.1. Limiteurs de débit	56
4.5.2. Régulateurs de débit	56
4.6. Les clapets anti-retour	57
4.7. Les distributeurs	58
4.8. Les accumulateurs	60

CHAPITRE5 : EXEMPLES PRATIQUES

5.1. Commande d'un moteur pneumatique	62
5.2. Commande d'un moteur hydraulique à deux sens de rotation	63
5.3. Réglage de la vitesse d'une tige de vérin	64
5.4. Réalisation d'un circuit hydraulique	66

CHAPITRE 06 : LOGICIELS DE SIMULATION

6.1. Présentation du Logiciel de simulation : Automation Studio	70
6.2. Version professionnelle	70
6.2.1. Conception	70
6.2.2. Simulation	70
6.3. Version éducative	70
6.4. Bibliothèques	71
6.5. Présentation de quelque modules	71
6.6. Les barres d'outils d'AUTOMATION STUDIO	72
6.7. Barre d'outils « Projet »	73
6.8. Barre d'outils Simulation:	74
6.9. Barre d'outils « Enregistrement Vidéo »	75
6.10. Barre d'outils « Affichage »	75
6.11. Barre d'outils « Explorateur de bibliothèques »	76

6.12. Un exemple étudié

76

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

78

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION ET RAPPELS

1.1. Les fluides hydrauliques

Les fluides hydrauliques sont les agents de transmission du mouvement et de la force. Ils doivent également assurer la lubrification des organes en mouvement. Outre cela, ils doivent aussi être adaptés aux conditions d'utilisation et être compatible avec les éléments du circuit (matériaux des appareils, joints....).

-Définition d'un fluide : Les fluides sont des corps dont les molécules sont très mobiles les unes par rapport aux autres [1].

Un fluide prend automatiquement la forme du récipient qui le contient. On peut classer les fluides en deux groupes : des liquides et des gaz.

Les liquides ont un volume propre tant que les gaz occupent tout le volume qui lui sont offert

-Compressibilité des fluides : on appelle un fluide incompressible lorsque la masse volumique ρ est indépendante de la pression P et de la température T . les liquides sont très peu compressibles.

Pratiquement ; on considère que les liquides sont incompressibles et les gaz sont compressibles.

-Fluide parfait- fluide réel

Un fluide parfait est un fluide dont les molécules se déplacent sans aucun frottement les uns par rapport aux autres, donc sans viscosité $\mu=0$, (c'est théorique).

Un fluide est réel lorsque la viscosité $\mu \neq 0$ [2].

1.2. Les différents types de fluides hydrauliques

Il existe 3 types de fluide :

- les produits aqueux (à base d'eau)
- les huiles minérales
- les huiles de synthèse

-Les produits aqueux sont des liquides à base d'eau.

-L'huile de synthèse est composée d'une structure moléculaire unique.

1.2.1. Huile minérale

Dans le terrain d'application hydraulique on trouve également que les huiles minérales sont les plus répandues, elles sont issues du raffinage du pétrole brut. Ces huiles sont caractérisées par une large gamme de viscosité et on peut modifier ces caractéristiques en ajoutant des additifs.

- **les huiles de type HH** : Ce sont des huiles minérales sans additifs, elles sont caractérisées par un pouvoir lubrifiant très important.
- **Les huiles de type HL** : Ce sont des fluides minérales avec des additifs qui font augmenter les propriétés des huiles contre l'oxydation et la corrosion notamment.
- **Les huiles de type HM** : Ce sont des fluides qui font partie de type HL et qui ont particulièrement la propriété anti-usure.
- **Les huiles de type HV** : Ce sont des fluides qui font partie de type HM. Ils sont caractérisés principalement par la dépendance positive de leur viscosité avec la température.

Remarque : Les huiles minérales les plus utilisés dernièrement sont celles de type HM et HV.

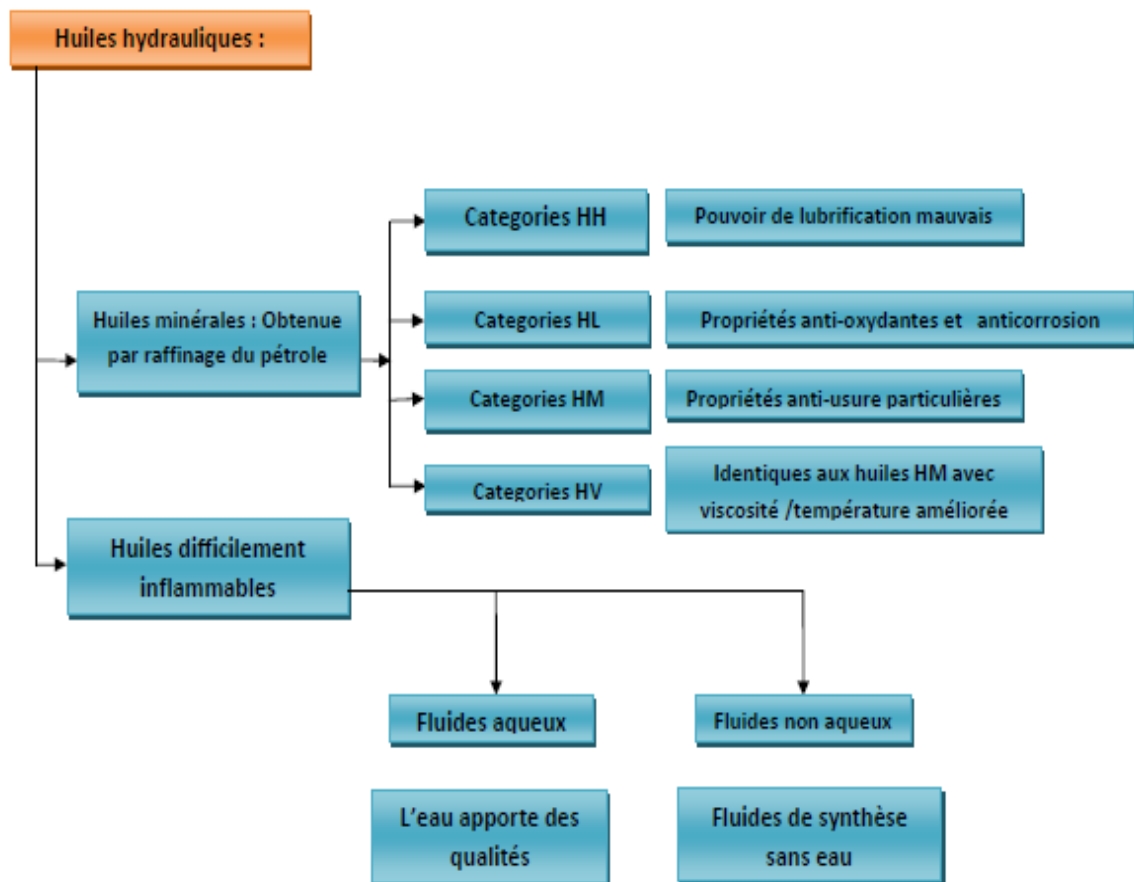


Fig.1.1: Classification des huiles [1]

1.2.2. Huile de synthèse et produit aqueux (Fluides difficilement inflammables)

Les fluides difficilement inflammables pour les circuits hydrauliques sont regroupés en deux groupes selon la composition :

A. Huiles de synthèse

Ces huiles sont radicalement différentes des huiles minérales : pour la production d'huile minérale on extrait du pétrole certaines catégories de molécules. Mais le procédé n'est pas parfait: les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite ses possibilités d'application. Des produits indésirables restent également dans cette huile de base (paraffines, solvants légers...). On rajoute ensuite les additifs nécessaires pour répondre à un service voulu. Ces huiles ont des performances élevées, en particulier pour des objectifs et des conditions de service difficiles. Cependant, elles sont chères à produire et leur disponibilité dans le monde est limitée. De plus, le choix d'un lubrifiant synthétique dépend du problème posé. Les mélanges d'huiles de base d'origines différentes sont parfois possibles, toutefois une huile dite "synthétique" doit contenir moins de 15% d'huile minérale.

B. Produits aqueux

L'eau est le fluide qui remplit le mieux la caractéristique d'inflammabilité. On y rajoutait souvent de la glycérine pour abaisser sa température de congélation ainsi qu'améliorer son pouvoir graissant. Aujourd'hui c'est le glycol qui remplace la glycérine.

A noter : Le principal problème est l'évaporation de l'eau. Cela change les propriétés initiales du fluide, il faut donc vérifier régulièrement les proportions du mélange et rajouter de l'eau.

Les produits eau + glycol sont utilisés dans les systèmes agroalimentaires. Ils retrouvent aujourd'hui aussi un intérêt dans les systèmes "écologiques".

Rôle des fluides hydrauliques :

Les fluides hydrauliques ont pour rôle de transmettre l'énergie fournie par la pompe aux organes récepteurs tels que les vérins et les moteurs hydrauliques. Ils doivent présenter des qualités suffisantes pour assurer un bon fonctionnement avec un rendement optimum :

Le fluide a donc deux fonctions possibles :

- Transmettre l'énergie
- Lubrifier et protéger.

Pour remplir ses deux fonctions L'huile doit avoir les caractéristiques suivantes :

1.3. Les caractéristiques des fluides hydrauliques

Parmi les nombreuses caractéristiques des huiles hydrauliques, on retiendra particulièrement quelques propriétés importantes :

Résistance à l'oxydation : éviter la dégradation chimique de l'huile influencée par le vieillissement, la chaleur, la lumière, le contact avec l'air ...

Faible compressibilité : cette propriété influence sur la précision de la transmission d'efforts et de mouvements.

Faible absorption de l'air : la présence de bulles d'air dans l'huile modifie son comportement (sa compressibilité augmente, les commandes deviennent « spongieuses »). L'huile doit être capable d'évacuer rapidement les bulles d'air qui peuvent se trouver en suspension.

Faible dilatation thermique : le volume du fluide augmente avec la température (0,7% par 10° pour les huiles minérales).

Compatibilité avec l'environnement : le fluide doit être recyclable, non polluant, non toxique, biodégradable, inodore... Toutes les huiles industrielles ne répondent pas à l'ensemble de ces critères.

Coût et disponibilité : il convient d'utiliser les huiles les plus économiques et les plus largement diffusées lorsque l'application.

Fonctions d'un fluide hydraulique

Dans une installation hydraulique, le fluide (essentiellement de l'huile) assure plusieurs fonctions :

- **Transmission des forces et mouvements**

L'huile étant incompressible, elle est le transmetteur idéal des énergies entre la pompe et le récepteur (vérin, moteur hydraulique...)

- **Lubrification**

L'huile, à condition d'avoir une viscosité adaptée, forme une couche mince entre les pièces en mouvement et assure ainsi l'autolubrification des mécanismes.

- **Dissipation de la chaleur**

L'huile en circulation absorbe la chaleur produite par les frottements dans les mécanismes et la dirige vers le refroidisseur et le réservoir.

- **Drainage des impuretés**

L'huile en circulation entraîne avec elle les impuretés qui pourraient détériorer les surfaces de contact des mécanismes en mouvement. Ces impuretés seront ensuite

déposées dans le fond du réservoir.

1.4. La viscosité

C'est une propriété sélective interne d'un fluide. Elle est l'ensemble des propriétés physiques et chimiques de résistance à l'écoulement se manifestant dans la masse d'une matière. Prenons l'exemple d'un écoulement uniforme et laminaire, quand la viscosité diminue, la capacité de fluide à s'écouler augmente. L'unité de la viscosité en système international (SI) est le Poiseuille.

Les différentes formes de la viscosité :

La viscosité dynamique μ [3-4]

Est une grandeur physique qui quantifie précisément la résistance à l'écoulement laminaire d'un fluide newtonien et incompressible.

Note : le fluide newtonien a une viscosité dynamique indépendante du gradient de vitesse figure 1.2.

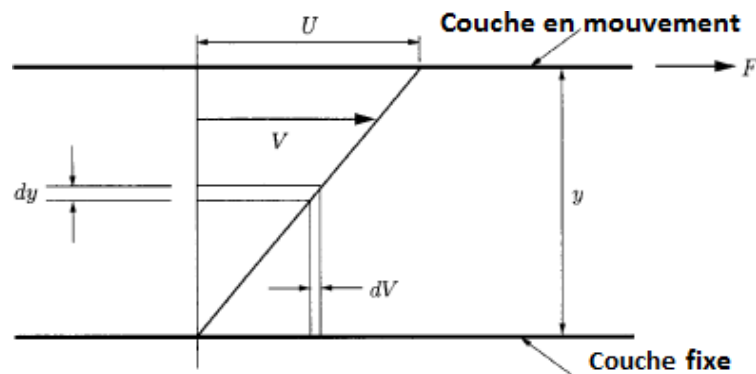


Fig. 1.2: La variation du profil de vitesse entre deux couches limites

Avec:
$$\mu = \frac{\tau}{\left(\frac{dv}{dy}\right)} \quad (1.1)$$

τ : Contrainte de cisaillement.

$\frac{dv}{dy}$: Gradient de cisaillement

L'unité de la viscosité dynamique en système international (SI) est le Poiseuille (Pl) ou en Pascal seconde (Pa. s)

La viscosité cinématique (ν)

C'est une grandeur qui lie la viscosité dynamique et la masse volumique du fluide.

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$, tous les fluides réels ont une valeur précise de viscosité.

Dans certains cas théoriques on considère que le fluide est parfait ce qui veut dire que les molécules de ce fluide se déplacent sans aucun frottement les unes par rapport aux autres ; d'où $\mu = 0$.

Le coefficient de viscosité cinématique exprimé dans le système international en mètre carré par seconde (m^2/s). On utilise souvent le stokes (St).

D'où : $1\text{st} = 10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$.

Mesure de la viscosité

La viscosité d'un fluide (généralement liquide) peut être mesurée de plusieurs façons à l'aide d'un dispositif qui s'appelle viscosimètre. En effet, la technique adoptée par le viscosimètre pour mesurer la viscosité est nombreuse. On prend par exemple le viscosimètre à chute de bille. Ceci permet de mesurer la viscosité caractérisant d'un liquide selon la loi de Stokes (figure 1.4).

$$V = \frac{2r^2 g \Delta(\rho)}{9\mu} \quad (1.2)$$

V : vitesse de chute de sphère (m/s).

r : rayon de sphère (m).

g : accélération gravitationnelle (m/s^2).

$\Delta(\rho)$: différence de masse volumique entre la sphère et le fluide (kg/m^3).

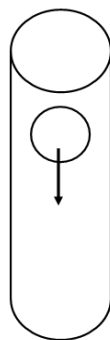


Fig. 1.3: Chute d'une sphère dans un fluide [4]

1.4.1. Influence de la température sur la viscosité

Quand il y a élévation de température la viscosité diminue pour les liquides, et augmente pour les gaz.

1.4.2. Influence de la pression sur la viscosité

Quand il y a élévation de pression la viscosité augmente pour les liquides et les gaz.

1.5. Les régimes d'écoulement

Expérience :

Soit un courant d'eau qui circule dans une conduite à section circulaire. On introduit un filet de colorant dans l'axe de cette conduite. Suivant la vitesse d'écoulement de l'eau, on peut observer les phénomènes suivants.

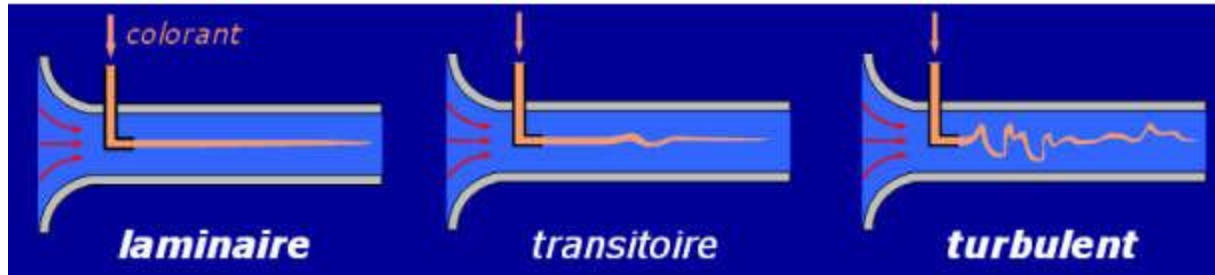


Fig.1.4: Types de régimes d'écoulement

- ✓ Pour des vitesses faibles, le filet colorant traverse le long de la conduite en position centrale.
- ✓ Pour des vitesses plus élevées, le filet colorant se mélange brusquement dans l'eau après avoir parcouru une distance.
- ✓ Pour des vitesses très élevées, le colorant se mélange immédiatement dans l'eau.

1. Régime laminaire : (cas a) le fluide s'écoule en couches cylindriques coaxiales ayant pour axe le centre de la conduite.

2. Régime transitoire : (cas b) c'est une transition entre le régime laminaire et ce lui turbulent.

3. Régime turbulent : (cas c) formation de mouvement tourbillonnant dans le fluide. Cette expérience est faite par Reynolds en faisant varier le diamètre de la conduite, la température, le débit, etc..., pour des divers fluides. La détermination du régime d'écoulement est par le calcul d'un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds (Re).

1.6. Le nombre de Reynolds

La détermination du régime d'écoulement se fait par le calcul d'un nombre sans dimensions appelé nombre de Reynolds Re :

$$Re = \frac{DU\rho}{\mu} = \frac{DU}{\nu} \quad (1.3)$$

Avec :

D : Diamètre de la conduite (en m) ;

U : Vitesse moyenne d'écoulement (en m/S)

ρ : Masse volumique du fluide (en kg/m³)

μ : Coefficient de viscosité dynamique (en Pa.S)

ν : Coefficient de viscosité cinématique (en m²/S)

- Si $Re < 2000$, le régime est laminaire.
- Si $Re > 3000$, le régime est turbulent.
- Si $2000 < Re < 3000$, le régime est transitoire.

1.7. Pertes de charge

Les pertes de charge sont les pertes d'énergie du fluide lorsqu'il se déplace. Cette perte peut être due aux frottements (viscosité) des particules sur les parois des conduites « pertes de charge régulières » ou aux accidents de parcours (coude par exemple, « pertes de charge singulières »).

Cette perte d'énergie se traduit :

_ Soit par une chute de pression ΔP en [Pa] ou [J/m³]

_ Soit par une chute de hauteur Δh en [m]

_ Soit par une perte d'énergie massique ΔE en [J/kg].

Pertes de charge singulières

Elles sont fonction de la singularité des formes de la conduite (coude, rétrécissement...)

$$J_{AB} = \xi \cdot \frac{v^2}{2} \quad (1.4)$$

Où : ξ (khi): coefficient de singularité

Pertes de charge régulières

Elles correspondent aux pertes par frottement entre les molécules du fluide et avec la paroi de la conduite.

Elles sont fonction de la longueur de la conduite (AB) et le type d'écoulement :

Régime laminaire ($Re < 2000$) : $J_{AB} = \frac{64}{Re} \cdot \left(\frac{v^2 \cdot L}{2 \cdot d} \right)$

$$\text{Régime turbulent lisse : } J_{AB} = 0,316 \cdot \text{Re}^{-0,25} \cdot \left(\frac{v^2 \cdot L}{2 \cdot d} \right) \quad (1.5)$$

$$\text{Régime turbulent lisse : } J_{AB} = 0,79 \cdot \sqrt{\varepsilon/d} \cdot \left(\frac{v^2 \cdot L}{2 \cdot d} \right)$$

Avec ε la rugosité de la conduite.

1.8. Filtration

L'air comprimé est formé en comprimant l'air ambiant. Durant ce processus, des substances sont prises avec l'air ambiant et, lors de la compression et de la livraison de cet air, d'autres substances s'y ajoutent.

L'air comprimé inclus des corps étrangers comme l'humidité (vapeur d'eau, gouttes d'eau), l'huile ou des débris. Si les gouttes d'eau, l'huile et les débris peuvent être éliminés en utilisant des filtres à air, des filtres microniques. Le but de la filtration est de faire chuter la concentration en particules aéroportées.

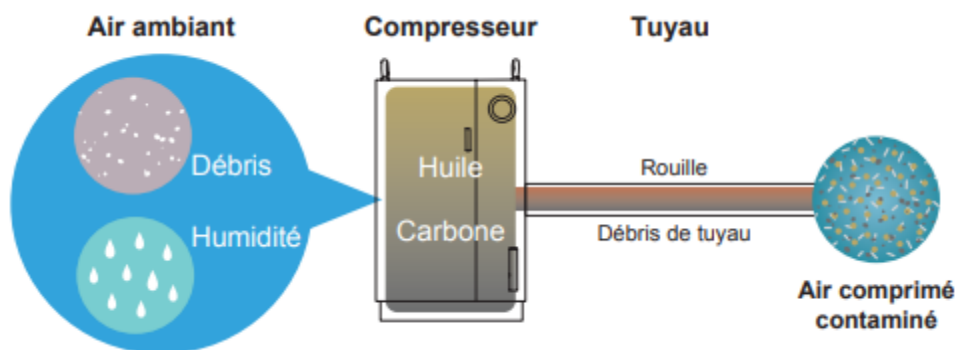


Fig.1.5: La contamination de l'air comprimé

L'air comprimé inclus des corps étrangers comme l'humidité (vapeur d'eau, gouttes d'eau), l'huile ou des débris. Si les gouttes d'eau, l'huile et les débris peuvent être éliminés en utilisant des filtres à air, des filtres microniques. Le but de la filtration est de faire chuter la concentration en particules aéroportées.

1.9. Qualité de l'air admis : humidité de l'air

L'air humide est un mélange de gaz contenant de la vapeur d'eau. Les propriétés thermodynamiques de ce mélange sont fortement influencées par la présence de la vapeur d'eau, qui peut également se condenser sous certaines conditions de température et de pression.

Il est nécessaire de conditionner le fluide avant de le 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 un refroidisseur-assécheur permettant de réduire le taux d'humidité. Dans le cas d'un système hydraulique, l'huile (fluide) est filtrée afin d'éliminer les impuretés.

1.10. Contamination de l'air par des particules solides

Types de polluants rencontrés et origine

Les circuits hydrauliques modernes fonctionnent généralement à des pressions élevées. Il faut donc s'assurer que les fluides hydrauliques conservent leurs qualités à ces pressions et soient débarrassées de pollutions qui peuvent être de nature différentes :

- ***Particules de matières solides à arrêtes vives***

Ce type de pollution est à **éliminer** ou à limiter en **priorité** par un système de filtration.

- ***Particules tendres et gélatineuses***

Ces particules sont à priori plutôt inoffensives. Cependant elles peuvent s'accumuler dans des dispositifs d'équilibrage et de graissage et perturber la réalisation de ces fonctions. De plus, elles contribuent à colmater rapidement les éléments de filtration.

- ***Substances solubles dans le fluide***

Ces substances ne provoquent pas d'usure directement mais contribuent à modifier les propriétés du fluide (propriétés lubrifiantes, module de compressibilité). Elles peuvent également provoquer le vieillissement prématuré du fluide, la formation de calamine et la dégradation de son aptitude à être filtrée.

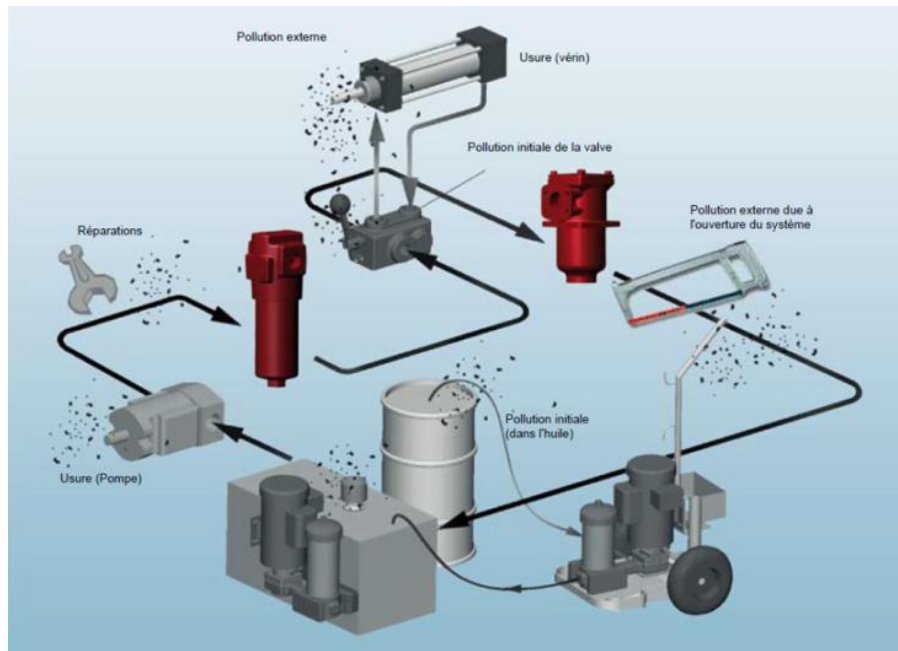


Fig.1.6: Origines possibles des pollutions

Caractérisation de la pollution par particules solides

Il existe plusieurs systèmes de classification de ce type de pollution. Dans tous les cas on compte les particules d'une taille définie dans 100 millilitres de fluide. On ne définira dans ce paragraphe que la classification selon la norme européenne ISO 4406 [5].

Classification suivant la norme ISO 4406

Le taux de pollution est défini par 3 chiffres indiquant indirectement le nombre de particules solides de taille supérieure à :

- 4 micromètres pour le premier chiffre,
- 6 micromètres pour le deuxième chiffre,
- 14 micromètres pour le troisième chiffre,

Exemple: Pollution 20/13/9 suivant la norme ISO 4406;

En lisant dans le tableau ci-dessous, le fluide hydraulique a un niveau de pollution par des particules solides caractérisé par :

- 500 000 à 1 000 000 de particules de 4 micromètres,
- 4 000 à 8 000 particules de 6 micromètres,
- 250 à 500 particules de 14 micromètres.

Code ISO	Nombre de particules pour un échantillon de 100 ml	
	Supérieur à	Jusqu'à
24	8 000 000	16 000 000
23	4 000 000	8 000 000
22	2 000 000	4 000 000
21	1 000 000	2 000 000
20	500 000	1 000 000
19	250 000	500 000
18	130 000	250 000
17	64 000	130 000
16	32 000	64 000
15	16 000	32 000
14	8 000	16 000
13	4 000	8 000
12	2 000	4 000
11	1 000	2 000
10	500	1 000
9	250	500
8	130	250
7	64	130
6	32	64
5	16	32
4	8	16
3	4	8
2	2	4
1	1	2

Fig.1.7: Caractérisation d'un niveau de pollution (ISO 4406) [5]

Niveau de pollution acceptable (Particules solides)

De manière à être capable de dimensionner le système de filtration, les fournisseurs de matériels hydrauliques conseillent un niveau de pollution acceptable en fonction des applications.

Numéros de code ISO	Type de système	Composants typiques	Sensibilité
23 / 21 / 17	Systèmes de basse pression avec tolérances importantes	Pompes refoulantes	Basse
20 / 18 / 15	Propreté typique d'une l'huile hydraulique neuve en provenance directe du fabricant Systèmes industriels lourds de basse pression ou applications pour lesquelles la longévité n'est pas d'une importance critique	Régulateurs de débit Vérins	Moyenne
19 / 17 / 14	Machinerie générale et installations mobiles Pression moyenne, capacité moyenne	Pompes et moteurs à engrenages	Importante
18 / 16 / 13	Norme de propreté de la charte mondiale des carburants pour un carburant diesel fourni par le pistolet d'une station service Systèmes fiables de haute qualité Exigences générales de la machine	Moteurs et pompes à pistons et à vanne Régulateurs de pression et distributeurs	Très importante
17 / 15 / 12	Transmissions hydrostatiques et systèmes hautement sophistiqués	Vannes proportionnelles	Critique
16 / 14 / 11	Servo-systèmes et systèmes longue durée à haute pression performants par ex. machines-outils pour avions, etc.	Industrial servovalves	Critique
15 / 13 / 09	Système de contrôle sensible aux dépôts, très haute fiabilité. Laboratoire ou aérospatiale	Servovalves haute performance	Extrêmement importante

Fig.1.8: Niveau de pollution acceptable en fonction des applications [5]

1.11. Types de filtres à air [6]

1.11.1. Filtre à adsorption (à charbon actif)

La vapeur d'huile est de l'huile sous forme gazeuse qui traverse un filtre coalescent tout aussi facilement que l'air comprimé. Il convient donc d'utiliser des filtres qui comportent un grand lit d'adsorbant de charbons actifs pour éliminer efficacement la vapeur d'huile ; ces filtres offrent ainsi une protection optimale contre la contamination par l'huile.

1.11.2. Filtres dépoussiéreurs

Les filtres dépoussiéreurs permettent d'éliminer les particules sèches. Ils délivrent des performances d'élimination des particules identiques à celles des filtres coalescents équivalents. Par ailleurs, ils utilisent les mêmes techniques de filtration mécanique qui permettent d'atteindre des taux d'élimination des particules allant jusqu'à 99,9 %.

1.11.3. Filtres stériles

L'élimination absolue des particules solides et des micro-organismes s'effectue au moyen d'un tamis de rétention ou d'un filtre à membrane.

Ces filtres sont souvent appelés des filtres à air stériles, car ils fournissent également de l'air comprimé stérilisé.

Les boîtiers de filtre sont en acier inoxydable pour permettre la stérilisation in situ à la vapeur à la fois du boîtier et de l'élément filtrant. Il est important de noter que la tuyauterie entre le filtre stérile et l'application doit également être nettoyée et stérilisée à intervalles réguliers.

CHAPITRE 2: POMPES & COMPRESSEURS

-Introduction

Le système hydraulique utilise l'action de circulation d'un fluide pour créer une action mécanique. Le fluide (liquide) est soumis à des pressions très élevées, entre 3 000 et 5 000 psi. Comme indiqué, la pneumatique utilise des pressions beaucoup plus faibles. En dépit des différences entre ces deux domaines, le concept est relativement simple à comprendre. La pneumatique utilise le même principe technologique, les gaz sont mise sous pression pour créer un mouvement mécanique. Le plus souvent, le gaz sous pression est simplement de l'air, qui peut être sec ou lubrifié. La force de la pression s'exerce sur un actionneur final (exemple un vérin).

2.1. Les compresseurs

Le compresseur est une machine qui a pour fonction, d'élever la pression d'un fluide compressible qui le traverse. Son nom traduit le fait que le fluide se comprime « son volume diminue » au fur et à mesure de l'augmentation de pression. Les gaz étant des fluides compressibles nécessitent des compresseurs, alors que les liquides pratiquement incompressibles, nécessitent des pompes. Les compresseurs se présentent sous des formes très variées en fonction de leurs conditions d'utilisation et de leurs caractéristiques de pression et de débit.

2.1.1. Classification des compresseurs

Deux grandes classes de machines peuvent être retenues :

- Compresseurs volumétriques;
- Compresseurs dynamiques (Turbo - compresseurs)

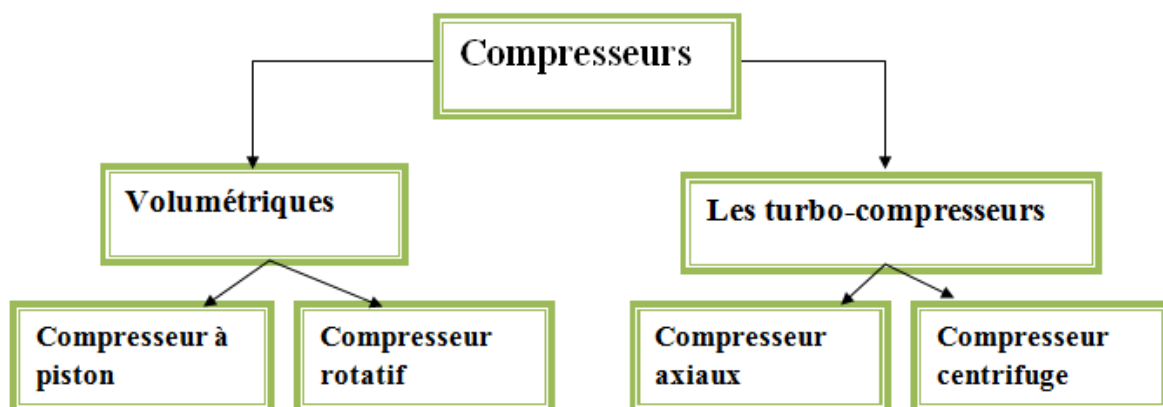


Fig.2.1: Deux classes principales de compresseurs

2.1.1.1. Compresseurs turbocompresseurs (Dynamiques)

L'air est accéléré jusqu'à une très grande vitesse avant d'être dirigé au point d'utilisation où l'énergie due à la vitesse se transforme en pression. D'une technologie plus complexe, ces compresseurs permettent d'obtenir des débits très élevés.

A. Compresseurs axiaux

Les compresseurs axiaux sont des machines réceptrices à écoulement axial du compressible, ils sont utilisés dans les turbines à gaz à grande puissance et dans les turboréacteurs d'aviation. Ils sont caractérisés par le nombre d'étage important et le taux de compression n'est pas élevé.

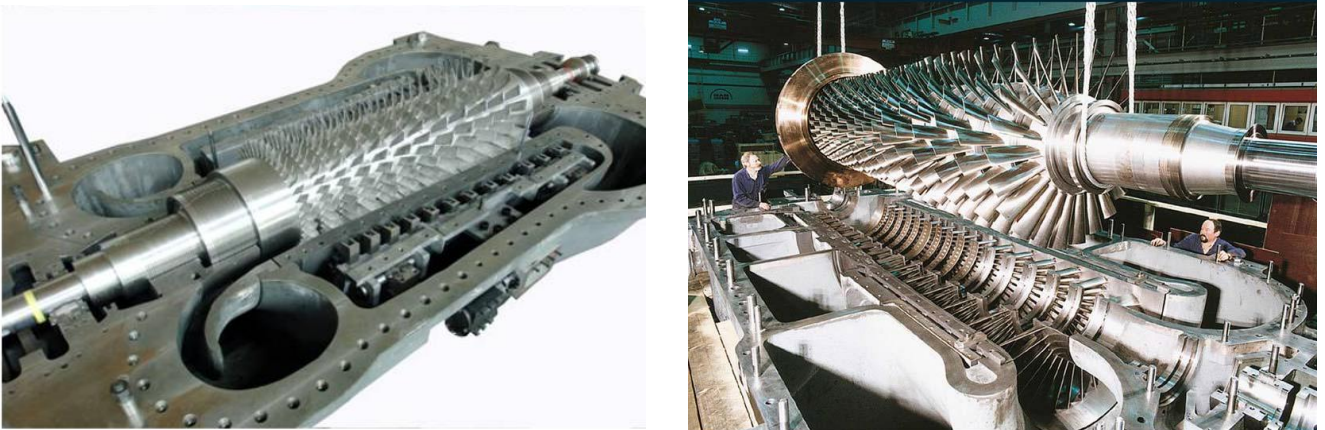


Fig.2.2: Compresseur axial

B. Compresseurs centrifuges

Les compresseurs centrifuges augmentent l'énergie du gaz comprimé grâce à la force centrifuge qui est provoquée par le mouvement de rotation des roues à aube. Les compresseurs centrifuges sont des turbomachines qui, en utilisant un système d'aubes entraînées en rotation autour d'un axe, on transforme l'énergie mécanique en quantité de mouvement sur le gaz. Ensuite par des dispositifs appropriés inclus dans la machine, on récupère sous forme de pression l'énergie de vitesse. Le compresseur centrifuge est composé de deux parties principales à savoir :

- Le stator;
- Le rotor

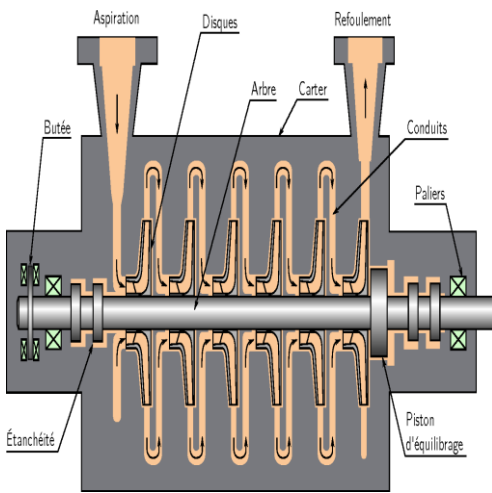


Fig.2.3: Compresseur centrifuge

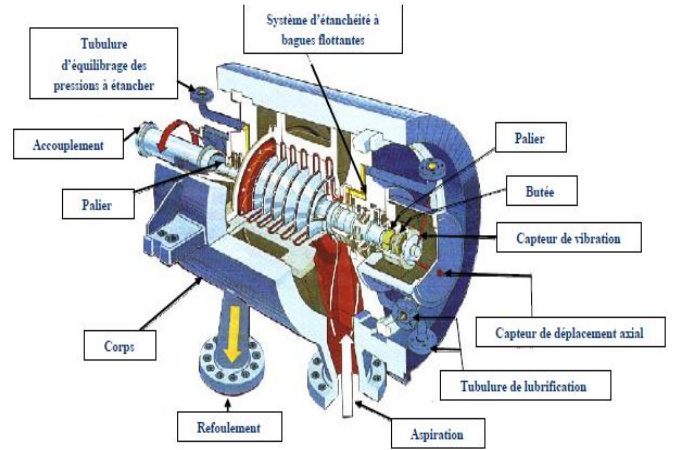


Fig.2.4: Organes principaux d'un compresseur centrifuge avec plan de joint vertical (BCL)

2.1.1.2. Les compresseurs volumétriques

Les compresseurs volumétriques ont pour principe général la variation de volume d'une cavité entre l'entrée et la sortie de la machine.

Une quantité d'air est enfermée dans une enceinte dont le volume est diminué pour augmenter la pression. On distingue les compresseurs alternatifs à piston ou à membrane et les compresseurs à piston rotatif (multicellulaires à palettes ou hélicoïdaux). Ces compresseurs permettent avec un débit moyen. Ils se caractérisent par un rapport de compression pouvant atteindre des valeurs très élevées mais sont limités en débit. La compression fractionnée en plusieurs étages favorise l'insertion de dispositifs de refroidissement du gaz permettant de réduire le travail moteur.

Ils sont classés en deux grands types :

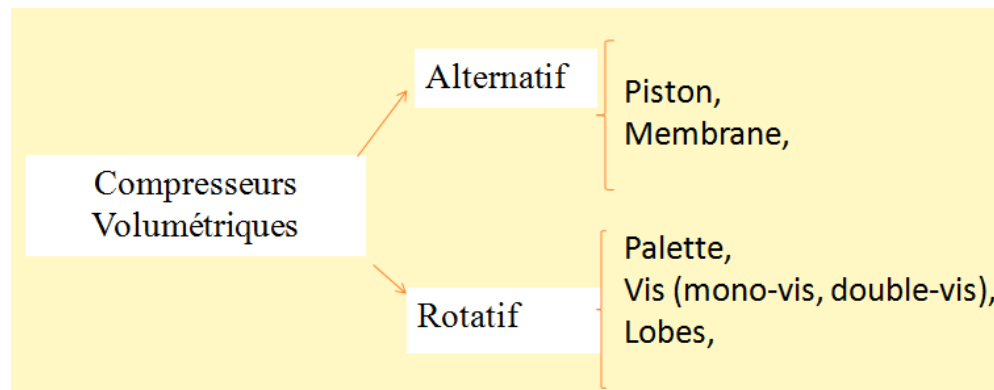


Fig.2.5: Types des compresseurs volumétriques

A. Les compresseurs volumétriques alternatifs

Le gaz est introduit dans un espace limité par des parois métalliques (cylindre - piston).

Le mouvement du piston, en combinaison avec les clapets, engendre :

-Aspiration du volume de gaz.

- Compression et Refoulement du gaz quand la pression est supérieure à celle du circuit

B. Les compresseurs rotatifs

Ces compresseurs tels que les compresseurs à piston compriment les gaz par réduction du volume.

Parmi les compresseurs rotatifs on distingue :

- Compresseur à palette;
- Compresseur à vis;
- Compresseur à engrenages;
- Compresseur spirale.

2.2. Les pompes hydrauliques

Les pompes sont des appareils qui génèrent une différence de pression entre les tubulures d'entrée et de sortie. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide, de l'énergie potentielle (par accroissement de la pression en aval) soit de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

Ainsi, on peut vouloir augmenter le débit (accroissement d'énergie cinétique) ou/et augmenter la pression (accroissement d'énergie potentielle) pour des fluides gazeux, liquides, visqueux, très visqueux...C'est pourquoi la diversité des pompes est très grande.

2.2.1. Caractéristiques générales d'une pompe hydraulique [7-8]

Une pompe se caractérise par :

- son débit
- sa cylindrée
- son rendement
- So sens de rotation
- Sa vitesse de rotation

a) Débit

C'est le volume d'huile que la pompe peut fournir pendant l'unité de temps pour une vitesse de rotation établie.

Q : débit, en litres /minute (l/min)

b) Cylindrée

Elle correspond au volume d'huile théorique débitée par tour en cm³ ou en litre. Donc le débit Q correspond à la cylindrée par la vitesse de rotation.

$$Q = C_{yl} * N \quad (2.1)$$

Avec :

Q : débit, en litres /minute (l/min) ;

C_{yl}: Cylindrée, en litres (l/tr) ou en cm³/tr ;

N : vitesse de rotation, en tours /minute (tr/min).

c) Rendements

- La puissance hydraulique à la sortie d'une pompe, est déterminée : selon l'équation suivante

$$P_H = \Delta P * Q \quad (2.2)$$

Avec Q : débit, en m³/s

$P = P_s - P_e$: La différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe et P_e et P_s en Pascal (Pa).

- La puissance donnée à la pompe par le moteur dont l'axe tourne à la vitesse (ω) et transmet un couple C, s'écrit :

$$P_a = C * \omega \quad (2.3)$$

C : moment du couple appliqué à l'arbre d'entraînement de la pompe (N.m),

ω : La vitesse angulaire de l'arbre d'entraînement de la pompe (rad/s),

P_a : La puissance absorbée par la pompe (W).

Ces deux relations permettent d'exprimer le **rendement global** d'une pompe :

$$\eta_p = \frac{P_H}{P_a} = \frac{\Delta P * Q}{C * \omega} \quad (2.4)$$

Pour affiner notre connaissance d'une pompe volumétrique, on peut définir le rendement volumétrique : rapport du débit réel au débit théorique, (qui permettra de connaître les fuites) ;

$$\eta_{vp} = \frac{Q}{Q_{th}} = \frac{Q}{C_{yl} * N} \quad (2.5)$$

Q_{th}: C'est le débit théorique, $Q_{th} = C_{yl} * N$

N : C'est la vitesse de rotation

Le rendement mécanique ; rapport du couple théorique au couple réel (qui permettra de connaître les pertes mécaniques : Frottement).

Le produit de ces deux rendements est évidemment le rendement global :

$$\eta_p = \eta_{vp} * \eta_{mp} \quad (2.6)$$

d) Vitesse de rotation

La vitesse de rotation maximale en fonctionnement continu (dite vitesse nominale) est principalement limitée par la capacité de la pompe d'aspirer le fluide dans certaines conditions spécifiques. En d'autres termes, on fixe la valeur de la vitesse nominale de telle sorte que tout risque de cavitation soit écarté.

e) Symboles

Pompes à débit constant		Pompes à débit variable	
à un sens de flux	à deux sens de flux	à un sens de flux	à deux sens de flux

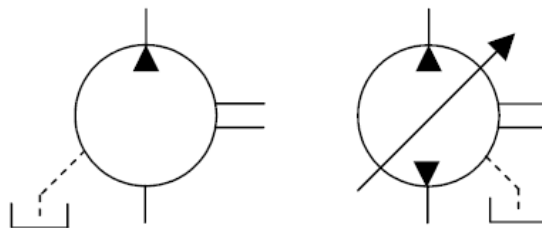


Fig.2.6: Symboles des pompes

Le trait interrompu court représente le drain (drainage externe). C'est une canalisation qui récupère le débit de fuite, inévitable à cause des jeux fonctionnels, et qui l'envoie au réservoir.

2.2.2. Classification des pompes

On classe les pompes en deux grandes familles :

- Les pompes non volumétriques (centrifuges) ; 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.

- Les pompes 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.

2.2.2.1. Les pompes centrifuges

Elles sont toutes rotatives. Ce sont les pompes centrifuge, à hélice, hélico-centrifuge. Les pompes centrifuges (Figure 2.7) sont composées d'une roue à aubes qui tourne autour de son axe, d'un stator constitué au centre d'un distributeur qui dirige le fluide de manière adéquate à l'entrée de la roue, et d'un collecteur en forme de spirale disposé en sortie de la roue appelé volute. Le fluide arrivant par l'ouïe est dirigé vers la roue en rotation qui sous l'effet de la force centrifuge lui communique de l'énergie cinétique.

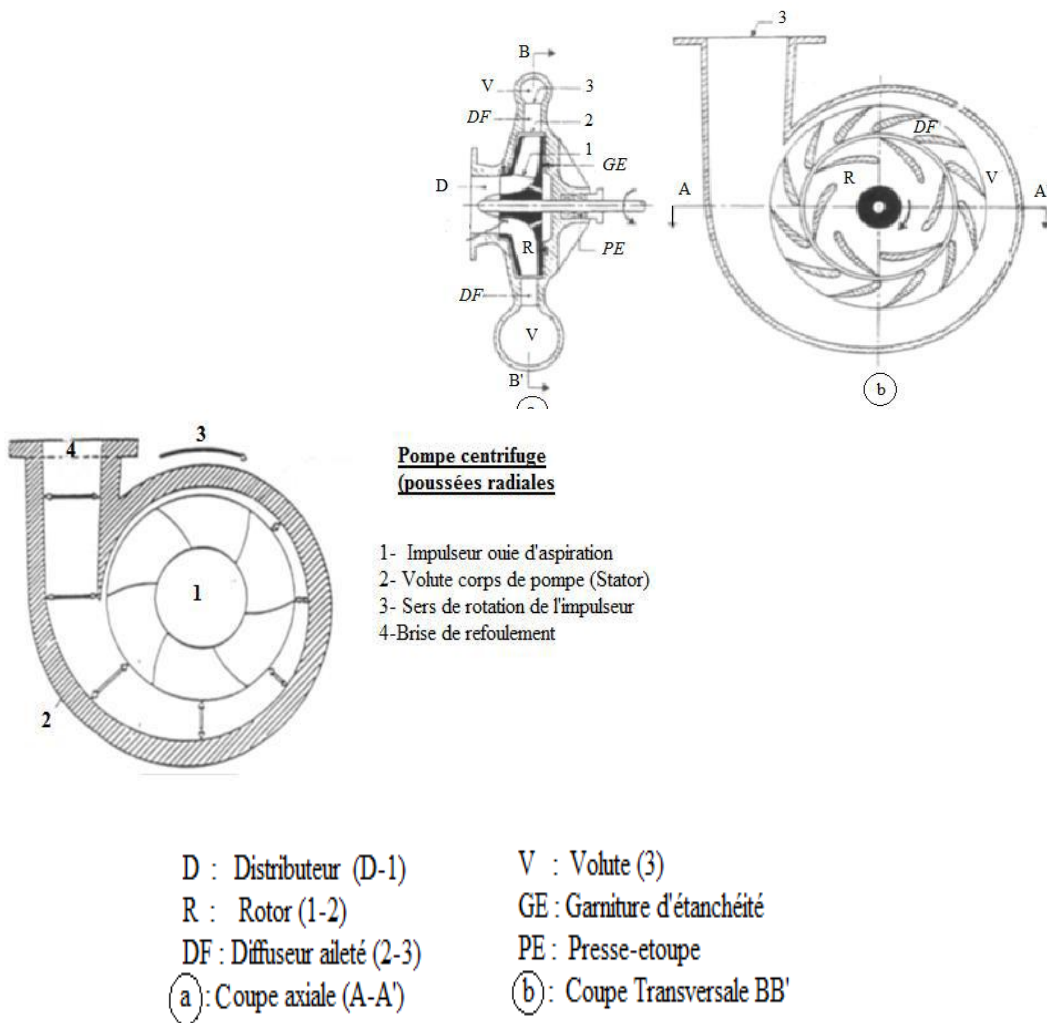


Fig.2.7: Schéma d'une pompe centrifuge

2.2.2.2. Les pompes volumétriques

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos (*stator*) à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté participant à la circulation du fluide à l'intérieur de la pompe. Ce déplacement est cyclique. D'autres éléments mobiles destinés à mettre en mouvement les éléments précédents. Pendant un cycle, un volume de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé.

Description

Un volume de fluide V_0 (équivalent à la cylindrée) est emprisonné dans un espace donné et contraint à se déplacer, de l'entrée vers la sortie de la pompe à chaque cycle. Le volume V_0 est prélevé sur le fluide contenu dans la conduite d'aspiration, d'où une dépression qui fait avancer le fluide vers la pompe, assurant ainsi son amorçage (autoamorçage).

Remarque

La pression ne doit pas s'abaisser en dessous de la pression de vapeur saturante du liquide, pour éviter son ébullition et l'apparition du phénomène de cavitation.

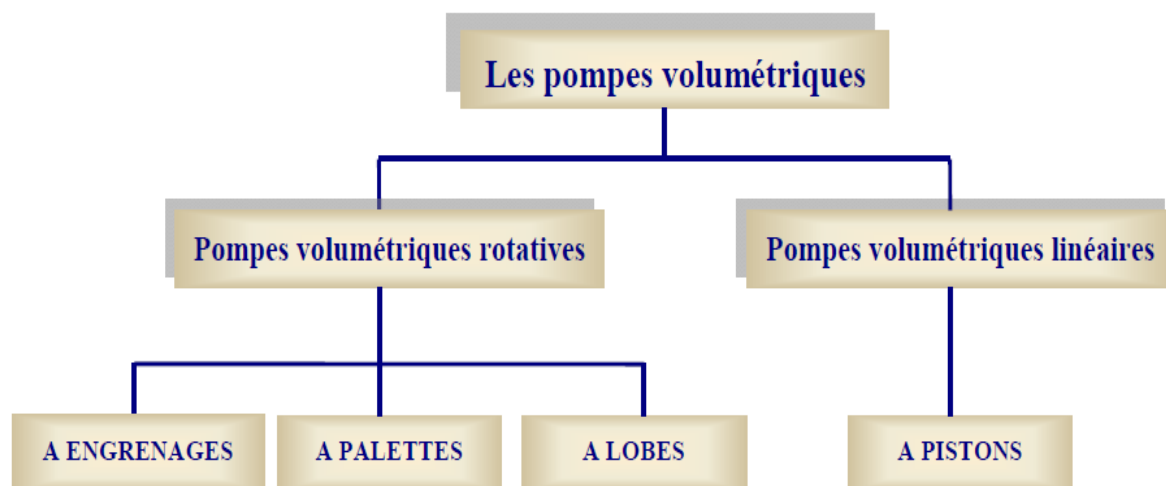


Fig.2.8: Pompes volumétriques

A. Les pompes volumétriques alternatives

Tous les types de pompes à pistons reposent sur le même principe de fonctionnement : mouvement alternatif des pistons dans un alésage doté de deux orifices destinés à l'aspiration et au refoulement. Le principe est d'utiliser les variations de volume occasionnées par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé : il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe. Une membrane est parfois liée au piston.

Caractéristiques et utilisation

Elles ne conviennent que pour des débits moyens de l'ordre de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

. L'intérêt des membranes est l'utilisation avec des produits chimiques corrosifs, abrasifs ou acides.

La pression au refoulement peut aller jusqu'à 25 bars.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Fonctionnement à sec sans dommage. - Bon rendement (> 90%). 	<ul style="list-style-type: none"> - Débit limité. - Viscosités assez faibles. - pompage de particules solides impossible: la pompe ne fonctionne bien que si l'étanchéité est parfaite entre le cylindre et le piston.

Il existe des pulsations importantes au refoulement : on peut remédier à ceci en utilisant des dispositifs de pots anti béliers.

Selon la disposition des axes des pistons, plusieurs configurations de pompes peuvent exister :

A.1. Pompe à pistons axiaux

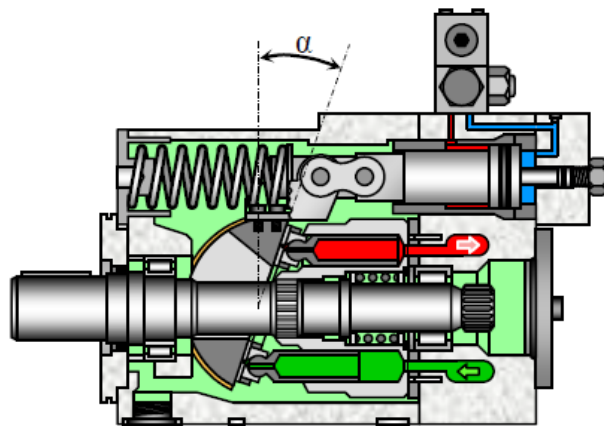


Fig.2.9: Pompe à pistons axiaux

Caractéristiques

Cylindrée : $500 \text{ cm}^3/\text{tour}$ maxi

Pression de service : 350 bars maxi

Rendement de 0,9 et durée de vie très importante

Faible inertie des pièces en mouvement

Le débit est plus stable (moins de pulsation)

Nécessite une filtration efficace (de 10 à 20μ) car le jeu interne est très faible

Peut être utilisé en moteur hydraulique.

A.2. Pompes à pistons radiaux

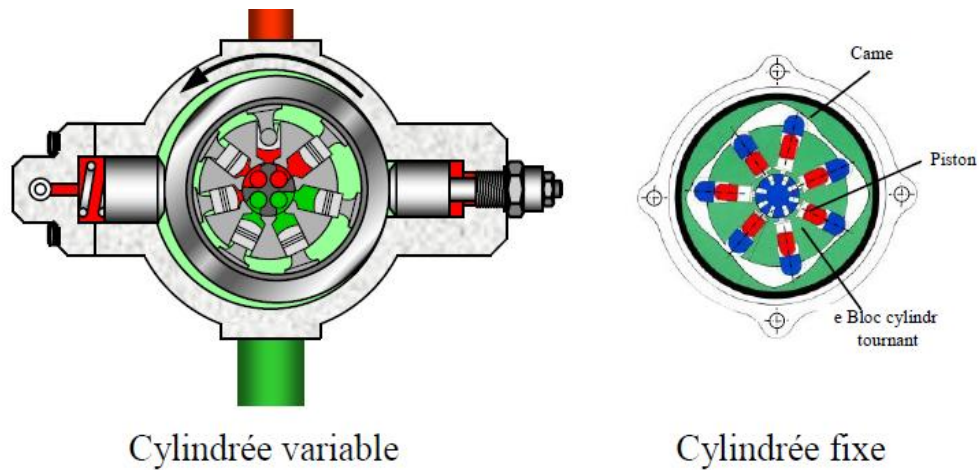


Fig.2.10: Pompes à pistons radiaux

Description :

- Les pistons sont disposés radialement au stator, leurs axes sont perpendiculaires à l'arbre d'entraînement principal.

Caractéristiques d'une pompe à pistons radiaux

Cylindrée : 250 cm³/tour maxi

Pression de service : 350 bars maxi

Rendement de 0,90 et durée de vie très importante

Nécessite une filtration efficace (de 10 à 20 μ) car le jeu interne est très faible

Peut être utilisé en moteur hydraulique. Prix élevé.

A.3.Pompe à pistons en ligne

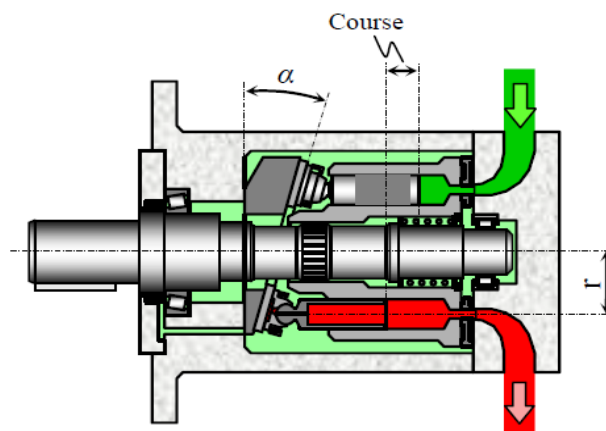


Fig.2.11: Pompe à piston à cylindrée fixe

C'est une pompe à cylindrée fixe.

Son rendement peut atteindre les 97 %.

Les pressions de service peuvent être supérieures à 500 bars.

Elle est de construction simple

B. Les pompes volumétriques rotatives

Ce sont les pompes les plus utilisées.

B.1. Les pompes à palettes

a) Pompes à palettes à cylindrée fixe

Un corps cylindrique fixe (stator) communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement. A l'intérieur se trouve un cylindre plein, le rotor, tangent intérieurement au corps de la pompe et dont l'axe est excentré par rapport à celui du stator. Le rotor est muni de 2 à 8 fentes diamétralement opposées deux à deux, dans lesquelles glissent des palettes que des ressorts appuient sur la paroi interne du stator. Le mouvement du rotor fait varier de façon continue les différentes capacités comprises entre les cylindres et les palettes en créant ainsi une aspiration du liquide d'un côté et un refoulement de l'autre.

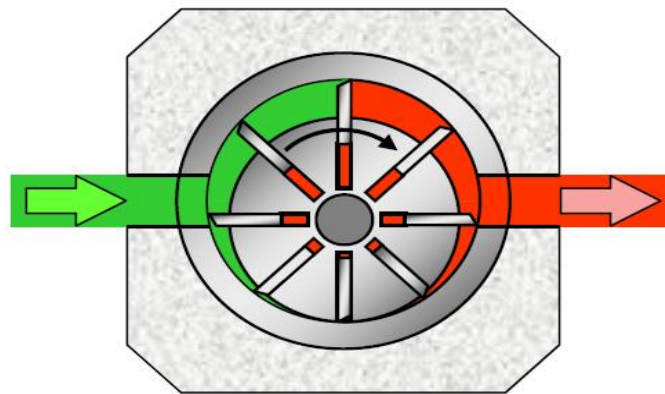


Fig.2.12: Pompe à palette à cylindrée fixe

Caractéristiques et utilisation :

Ce sont des pompes caractérisées par des débits allant jusqu'à $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et des pressions au refoulement de 4 à 8 bars. Elles conviennent aux liquides peu visqueux.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Pas de brassage, ni d'émulsification du liquide pompé. - Débit régulier. - Marche réversible de la pompe 	<ul style="list-style-type: none"> - Usure du corps par frottement des palettes.

b- Pompes à palettes à cylindrée variable (autorégulatrice)

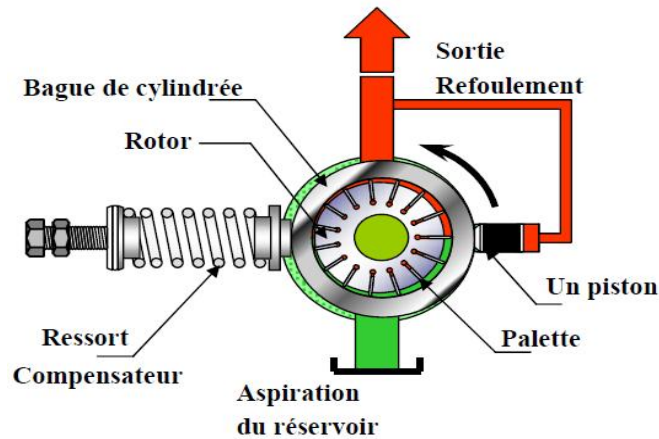


Fig.2.13: Pompes à palettes à cylindrée variables

Caractéristiques d'une pompe à palettes à cylindrée variable:

Cylindrée : 100 cm³/tour maxi

Pression de service : 160 bars maxi

Auto-aspirante

Pompe double ou triple

Régulation optimale du débit

Faible bruit de fonctionnement et de Construction simple

Nécessite une filtration efficace

Rendement de 0,9 avec rotor équilibré.

B.2. Les pompes à engrenages

a) Les pompes à engrenages extérieures

- **Fonctionnement** : Elle est constituée de deux engrenages tournant à l'intérieur du corps de pompe. Le principe consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le faire passer vers la section de refoulement (La rotation d'un pignon entraîne la rotation en sens inverse de l'autre, ainsi une chambre se trouve à l'aspiration, l'autre au refoulement).

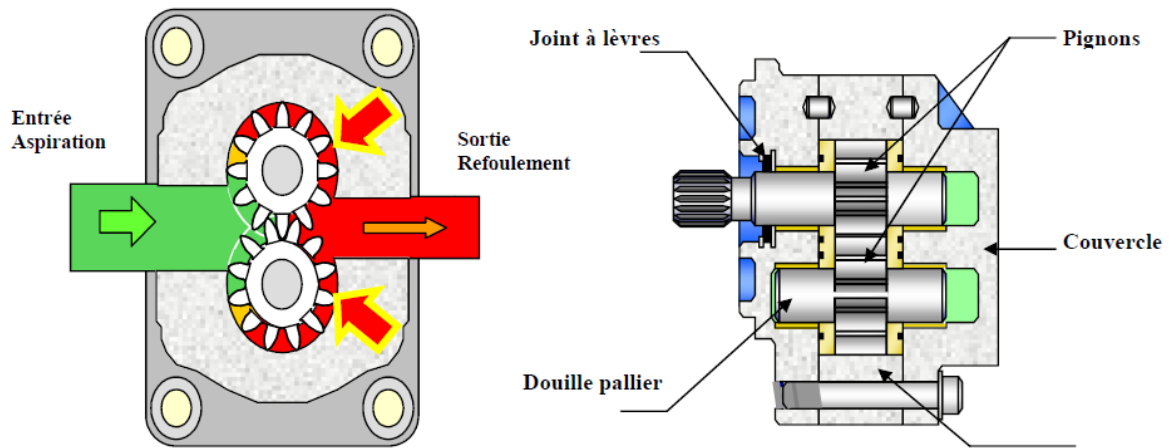


Fig.2.14: Coupe d'une pompe à engrenages extérieurs

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Débit régulier. - Pas de clapets nécessaires. - Marche de la pompe réversible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nombreuses pièces d'usure - Pas de particules solides dans cette pompe, ni de produits abrasifs ; la présence de traces de solide ayant pour effet d'accélérer l'usure mécanique des pignons et de diminuer l'étanchéité entre le corps de pompe et les dents.

b) Les pompes à engrenages intérieurs

Ces pompes existent aussi avec une roue à denture intérieure (Couronne dentée) engrené à un pignon. Dans ce cas la pompe peut disposer d'une pièce intermédiaire en forme de croissant pour séparer entre l'entrée et la sortie permettant ainsi de diminuer les fuites internes et d'augmenter la pression de service.

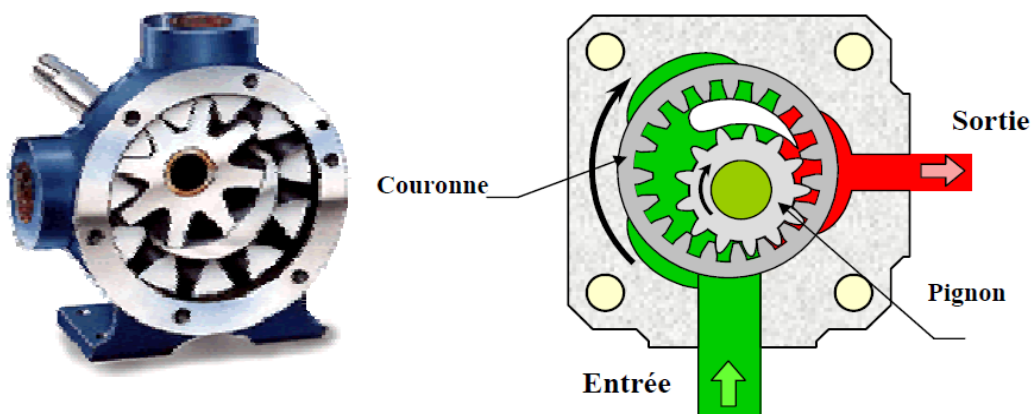


Fig.2.15: Coupe d'une pompe à engrenages intérieurs

Caractéristiques de la pompe à engrenage à denture intérieure

Cylindrée : 250 cm³/tour maxi

Pression de service : 250 bars maxi

Peu de pièces en mouvement

Faible encombrement

Combinaison possible de plusieurs pompes

Aptitude à tourner vite : de 300 à 3000tr/min

Bruit de fonctionnement très faible

Rendement élevé : 0,9

B.3.Pompes à vis

Deux vis dont l'une est motrice (3) et l'autre(s) menée(s) (4), tournent en sens inverse, créant ainsi d'un côté une zone d'aspiration et de l'autre une zone de refoulement (Figure). Cette pompe existe aussi avec trois vis dont l'une est centrale.

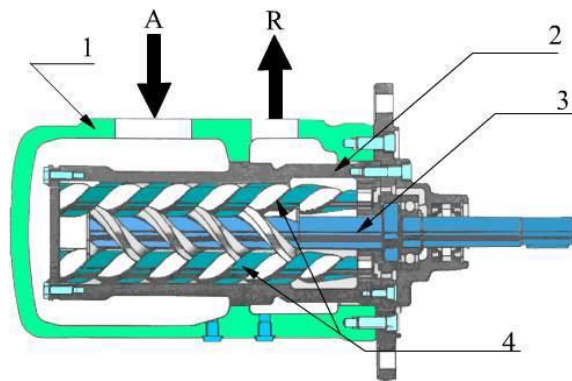


Fig.2.16: Pompe à vis

Avantages : Débit régulier, Assez silencieuse, Peut être accouplé directement à un moteur électrique de à grand vitesse.

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

2.3. Les moteurs hydrauliques

Les moteurs hydrauliques font partie de la famille des actionneurs. Ils transforment l'énergie hydraulique fournie par le fluide sous pression, en énergie mécanique. On obtient ainsi, pour les moteurs, un mouvement de rotation sur l'arbre de sortie. Les moteurs hydrauliques ont de nombreuses analogies avec les pompes, plusieurs technologies leur sont communes. Mais une spécificité des moteurs tient à leur vitesse d'utilisation qui peut être soit lente (moins de 100 trs /min) soit élevée (plus de 5000 trs /min)

Ce qui mène à distinguer trois grandes classes de moteurs hydrauliques [9] :

- Les moteurs rapides [$1000 < N \leq 5000$ trs / min] ;
- Les moteurs semi rapides [$200 < N \leq 1000$ trs / min] ;
- Les moteurs lents [$40 < N \leq 200$ trs / min] ;

Dans chacune de ces classes, on trouve des moteurs de puissance, de pression admissible et de géométrie différente.

2.3.1. Les différents types des moteurs

a) Les moteurs à pistons axiaux

Les pistons en communication avec la haute pression se déplacent en tournant et par une liaison rotule avec le tourillon oblique ce dernier à tourner.

La cylindrée est déterminée avec la relation suivante :

$$C_{yl} = 2 * r * \tan\alpha * n * s \quad (2.7)$$

C_{yl} : Cylindrée.

r : entraxe.

n : nombre des pistons

s: surface du piston.

Avantages : couple très important, possibilité de varier la cylindrée, vitesse importante.

Inconvénients : coûteux.

Caractéristiques : Nombres de pistons de 7 à 9, Pression allant à 450 bars, Inclinaison des plateaux de 15 à 18°.

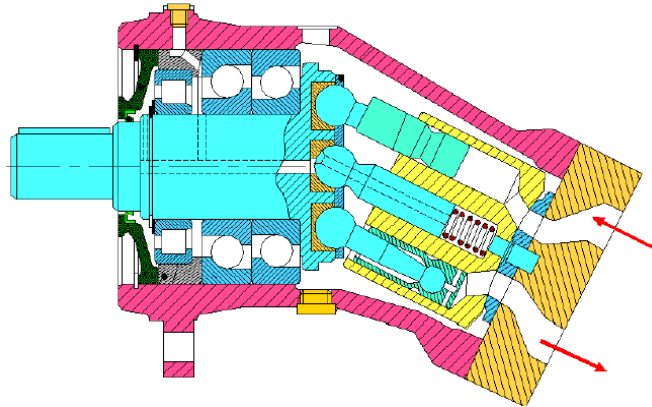


Fig.2.17: Coupe d'un moteur à pistons axiaux

b) Les moteurs à pistons radiaux

Contrairement aux pompes à pistons radiaux, les pistons peuvent tourner sur une came (stator) permettant d'avoir plusieurs courses par tour. Le nombre des pistons est impair pour la continuité de débit et l'équilibrage. Possibilité d'avoir une distribution cylindrique ou plane du fluide.

La cylindrée est déterminée avec la relation suivante :

$$C_{yl} = n * n' * c * s \quad (2.8)$$

n: nombre des pistons

n' : nombre de courses par tour.

c : course.

s: surface du piston.

Avantages : couple très important.

Inconvénients : vitesse faible, encombrant, coûteux, problèmes d'étanchéité pour la distribution.

Caractéristiques : Nombres de pistons de 3 à 7, Pressions entre 250 et 450 bars, Cylindrées fixes.

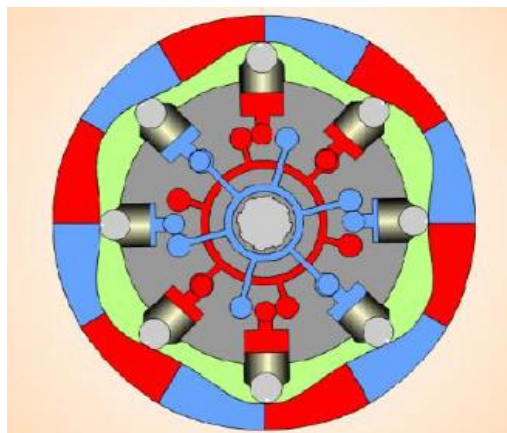


Fig.2.18: Coupe d'un moteur à pistons radiaux

c) Les moteurs à engrenage extérieure

Même conception que la pompe à engrenage, la pression du fluide entraîne en rotation les roues dont l'une est motrice.

Avantages : Moteurs rapides, encombrement très réduit, économique.

Inconvénients : Performances et rendements limités.

Caractéristiques : $\eta_g \approx 85\%$, $P_{max} < 250 \text{ bars}$, $P_m < 20 \text{ KW}$, Cylindrée entre 5 et 30 cm^3/tr

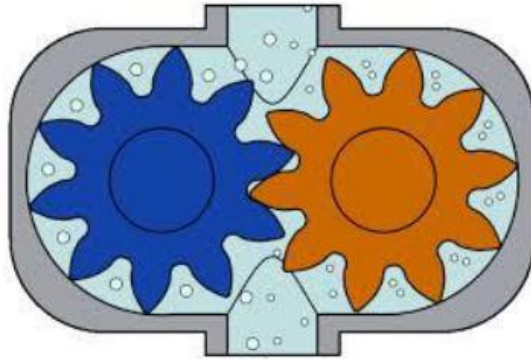


Fig.2.19: coupe d'un moteur à engrenage extérieure

d) Les moteurs à palettes

L'huile sous pression provoque la rotation des palettes implantées sur le rotor.

Avantages : réalisation simple.

Inconvénients : puissance transmise relativement faible.

Caractéristiques : Pressions limitées à 200 – 250 bars.

2.3.2. Les grandeurs associées aux moteurs hydrauliques

a) La cylindrée (C_{yl})

Le volume de fluide refoulé ou aspiré par le moteur en l'absence des fuites, pendant une révolution de l'arbre principal.

Unités : $[\text{m}^3/\text{tr}]$; $[\text{l}/\text{min}]$ ou $[\text{l}/\text{tr}]$.

b) Les débits :

Le débit moyen entrant : ($Q_{v moy r}$)

Le volume moyen aspiré par unité de temps, connaissant la cylindrée ce débit est déterminé par :

$$Q_{v moy r} = C_{yl} * N \quad (2.9)$$

Avec : N : Fréquence de rotation en $[\text{tr} / \text{s}]$.

C_{yl} : Cylindrée en $[\text{m}^3/ \text{tr}]$

- Le débit moyen sortant ($Q_{v moy r}$)

Le volume sortant par le moteur en pratique, mesuré en une unité de temps.

c) Les puissances

La puissance mécanique : (P_m)

Puissance fournie par l'arbre de sortie du moteur peut être donnée par les deux relations suivantes :

$$P_m = C_{moy} * \omega \quad \text{Ou} \quad P_m = Q_{v moy s} * (P_e - P_{sth}) \quad (2.10)$$

Avec :

C : Couple moyen théorique en [Nm] ;

ω : vitesse angulaire de l'arbre moteur en [rad / s] ;

P_{sth} : Pression de sortie théorique en [Pa] ;

P_e : Pression d'entrée en [Pa] ;

- La puissance hydraulique : (P_h)

Puissance fournie par le fluide à la sortie de la pompe donnée par :

$$P_h = Q_{v moy r} * (P_e - P_s) \quad (2.11)$$

Avec : P_s est la pression mesurée réellement à la sortie en [Pa].

d) Les rendements

Le rendement volumétrique

Compte tenu des fuites et de la compressibilité du fluide, le débit moyen sortant est toujours différent du débit réel, on définit ainsi un rapport :

$$\eta_v = \frac{Q_{v moy s}}{Q_{v moy r}} \quad \text{On a} \quad \eta_v = \frac{Q_{v moy s}}{Q_{v moy r} + Q_{vf}} = \frac{1}{1 + Q_{vf}/Q_{v moy s}} < 1 \quad (2.12)$$

Avec Q_{vf} : Débit moyen de fuites. En pratique : $70 \% \leq \eta_v \leq 98 \%$

Le rendement mécanique

Le fluide à la pression d'entrée P_e est refoulé à la pression de sortie P_s .

Une chute de pression due à des effets mécaniques et hydrauliques fait passer P_{sth} à P_s , ainsi on détermine :

$$\eta_m = \frac{P_e - P_s}{P_e - P_{sth}} \quad (2.13)$$

Si : $\Delta P = P_s - P_e$ et $\Delta P_{th} = P_{sth} - P_e$ (2.14)

On aura :
$$\eta_m = \frac{\Delta P}{(\Delta P + \Delta P_f)} = \frac{1}{(1 + \frac{\Delta P_f}{\Delta P})} < 1 \quad (2.15)$$

Avec :

ΔP_f : Chute de pression due aux pertes de charges, expérimentalement on trouve :

$$75\% \leq \eta_v \leq 90\%.$$

- Le rendement global

Le rendement global d'une pompe, traduit en termes de performance le rapport en la puissance hydraulique fournie par la pompe et la puissance mécanique reçue par le moteur.

$$\eta_g = \frac{P_m}{P_h} \quad \text{et} \quad \eta_g = \eta_v * \eta_m \quad (2.16)$$

En pratique : $52.5\% \leq \eta_g \leq 88.2\%$

* Le moment du couple moyen théorique (C_{moyr}):

Moment du couple moyen théorique disponible sur l'arbre moteur [Nm].

$$P_h = \frac{P_m}{\eta_g} \Leftrightarrow (P_e - P_s) * Q_{vmoyr} = \frac{C_{moyr} * \omega}{\eta_g} \quad \text{Ou} \quad Q_{vmoyr} = \frac{C_{yl} * N}{\eta_v}$$

Et $\omega = 2\pi N$ on aura donc :
$$\frac{C_{yl} * N * (P_s - P_e)}{\eta_v} = \frac{C_{moyr} * 2\pi N}{\eta_g}$$

$$\text{D'où} \quad C_{moyr} = \frac{C_{yl} * (P_s - P_e) * \eta_m}{2\pi} \quad (2.17)$$

e) Le coefficient d'irrégularité du couple (K%)

Ce coefficient traduit l'importance de l'écart existant entre le couple moyen et le couple instantané :

$$K\% = 100 * \frac{C_M - C_m}{C_{moy}} \quad (2.18)$$

Avec :

- C_M : Moment du couple instantané théorique maximal ;

- C_m : Moment du couple instantané théorique minimal

* Réglage de la vitesse :

Le réglage de la vitesse de rotation d'un moteur hydraulique se fait en agissant sur le débit d'huile utilisé.

Pour régler ce débit, il est possible d'utiliser :

- Une pompe à débit variable : dans ce cas, le moteur seul doit être alimenté par la Pompe.
- Un limiteur de débit : dans ce cas, le montage peut s'effectuer de deux façons différentes.

CHAPITRE 3: LES VERINS

3.1. Définition

Un vérin est un actionneur qui permet de transformer l'énergie d'un fluide en un travail mécanique. Dit plus simplement, c'est un appareil qui a la capacité de déplacer une charge.

Il est composé d'un tube cylindrique dans lequel une pièce mobile, qui est un piston, se déplace.

Le piston sépare donc le cylindre en deux chambres, et comporte un ou plusieurs orifices qui permettent l'entrée ou la sortie d'un fluide dans celle-ci : De par ce phénomène, le piston se met en mouvement par la pression qui augmente ou diminue dans les chambres selon la quantité de fluide envoyée ou retirée. Généralement, une tige rigide est attachée au piston, ce qui permet de transmettre un effort, et donc un déplacement [10]. Pour finir, l'étanchéité entre le corps du cylindre et le piston est assurée par un ou des joints (Figure3.1).

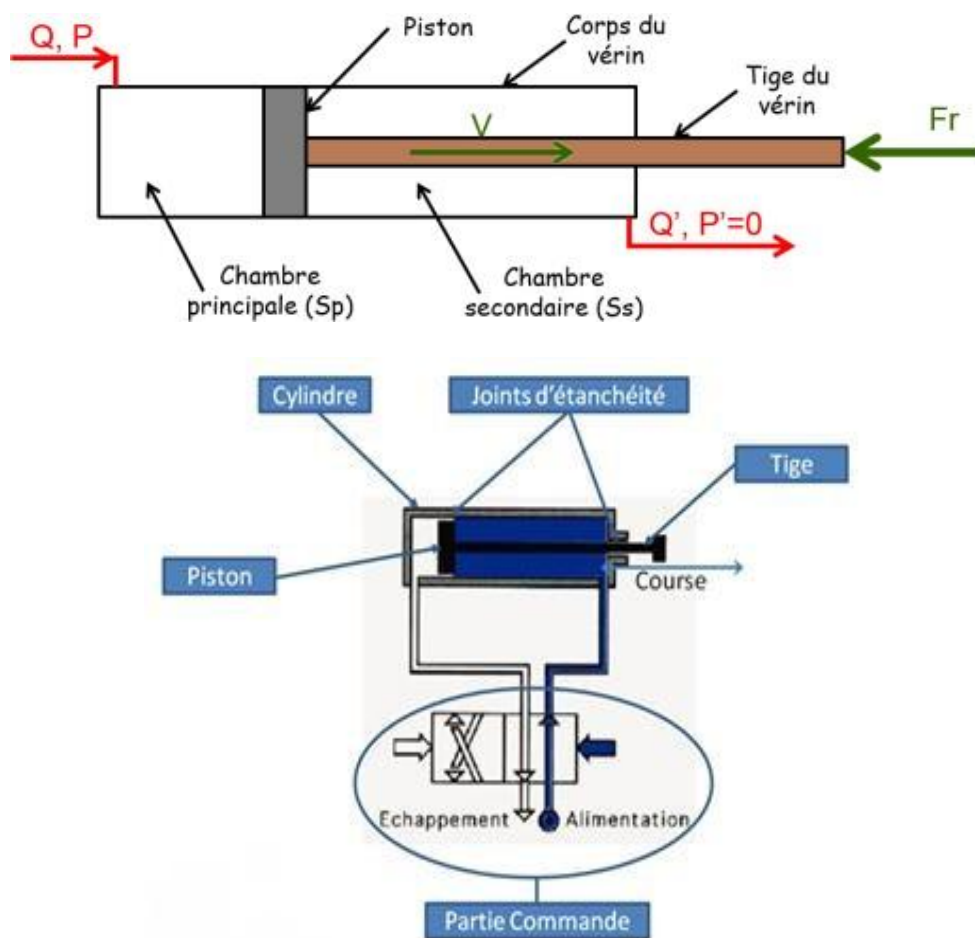
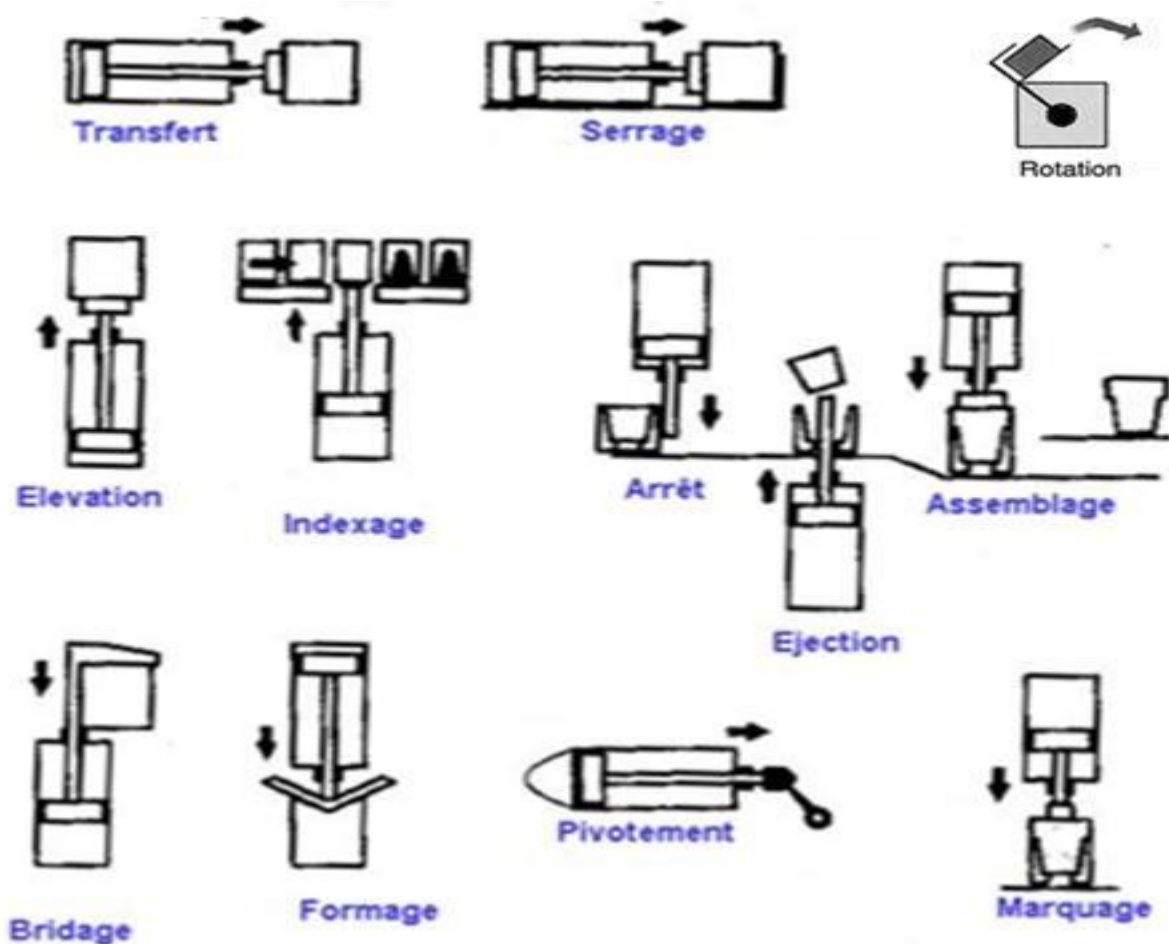


Fig.3.1: Un schéma qui représente la constitution courante d'un vérin

A quoi ça sert ? : Comme énoncé dans la définition, un vérin est un actionneur qui a pour but de



déplacer une charge plus ou moins lourde.

Fig.3.2: Exemples d'utilisations des vérins

3.2. Classification de vérins

Les vérins sont classés par type et par fonction. La figure ci-dessous, montre un aperçu de la classification d'actionneurs hydrauliques et pneumatiques.

Vérin pneumatique

Il utilise l'air comprimé et exerce une pression allant de 2 à 10 bars. Très simple à mettre en œuvre, ils sont très nombreux dans les systèmes automatisés.

Vérin hydraulique

Il utilise l'huile sous pression, et peut exercer une pression qui peut atteindre les 350 bars, soit à peu près 60 fois plus que le vérin pneumatique. Par rapport au vérin précédent, il est bien souvent beaucoup plus coûteux, et comme dit juste avant, il est capable de développer des efforts beaucoup plus importants. Il faut savoir que ces deux types de vérins fonctionnent

de la même façon. Comme vous l'avez sûrement déjà compris, La seule variable est le fluide utilisé (air comprimé ou huile sous pression).

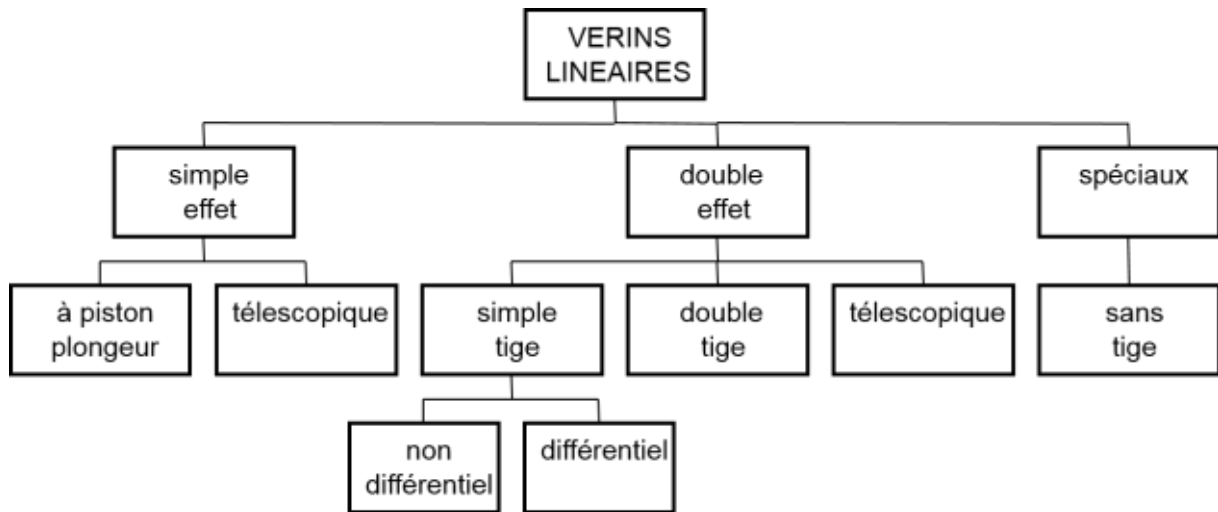


Fig. 3.3: Types des vérins linéaires

3.2.1. Vérin simple effet

Un vérin simple effet ne travaille que dans un sens. L'arrivée de la pression se fait seulement sur un orifice d'alimentation. De ce fait, le piston se déplace grâce à la pression exercée par le fluide seulement dans un sens. et le rappel s'effectuant sous l'action d'un ressort ou du poids de la charge mise en mouvement.

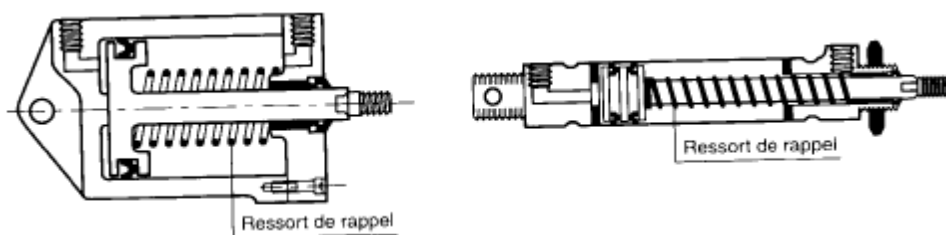


Fig.3.4: Vérin à simple effet

3.2.2. Vérin double effet simple

Un vérin double effet a deux directions de travail. 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.

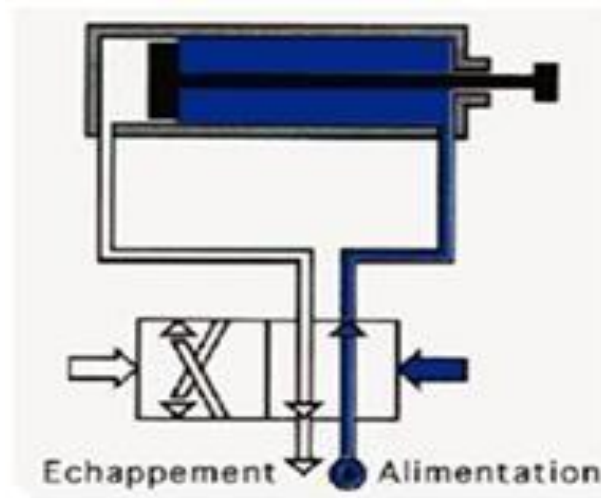


Fig. 3.5: Vérin à double effet

3.2.3. Vérin double effets différentiel

Même conception que le vérin double effet mais la section du piston est le double de celle de la tige.

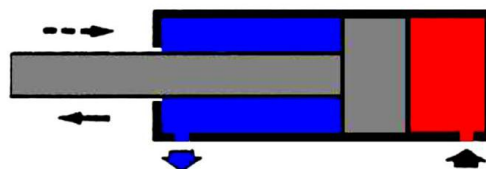


Fig. 3.6: Vérin double effet

3.2.4. Vérin double effets, double tige traversante équilibrée

Les deux surfaces réceptrices du piston étant égales, les forces développées dans les 2 sens du déplacement sont identiques. Pour un même débit la vitesse de déplacement est égale dans les 2 sens.

3.2.5. Vérin télescopique

Simple effet permet des courses importantes tout en conservant une longueur repliée raisonnable. Constitués par autant de pistons plongeurs de longueurs variables, en fonction de la course totale nécessaire. Les pistons plongeurs sont creux.

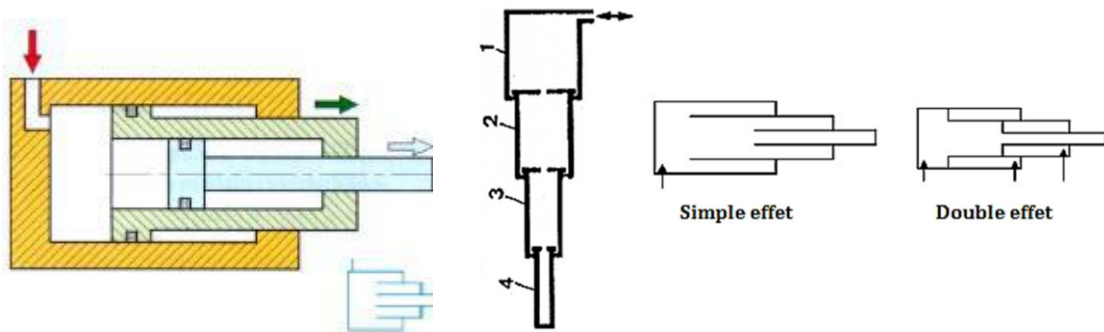


Fig.3.7: Vérin à tige télescopique [11]

3.2.6. Vérin rotatif

Le mouvement de rotation est transmis à l'arbre par l'application de l'huile sous pression. L'amplitude du pivotement de l'arbre est limitée par des butées mécaniques réglables. L'angle maximal de rotation ne dépasse pas 360° . Ces actionneurs sont capables de transmettre un couple de rotation important.

Utilisés lorsque la place disponible est réduite et la course utile importante. Ces vérins sont utilisés sur les bennes de camion, les engins de travaux publics, ...

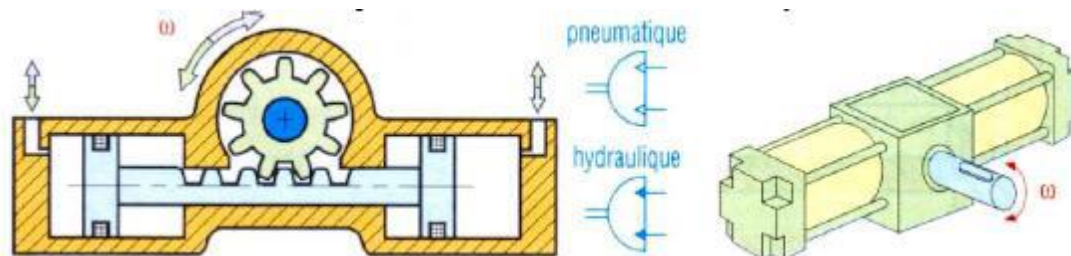


Fig.3.8: Exemple de réalisation d'un vérin rotatif [11]

3.3. Raideur d'un vérin, expression de la raideur

L'effort du piston sur le ressort en A et celui du nez avant sur le ressort en B; lors de la sortie du piston.

Connaissant la course du vérin (écrasement du ressort), la longueur du ressort libre L_0 et la force de rappel max F ; on détermine la raideur K de ce ressort par la formule suivante [1], [12] :

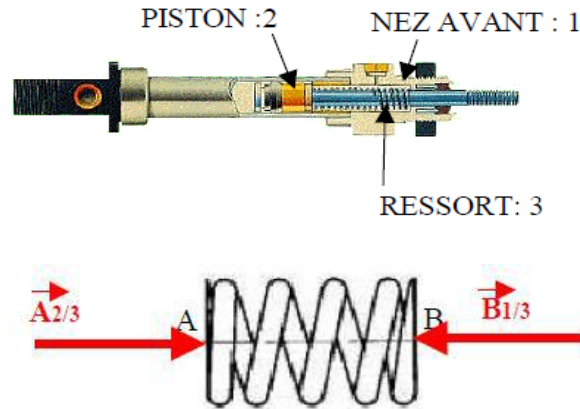


Fig.3.9: Calcul la raideur d'un vérin

$$K = \frac{F}{f} \quad (3.1)$$

Avec: $f = L_0 - L$ et $F = P.S$

L : La longueur du ressort après écrasement

P : La pression à la tête du piston

S : La section du piston

3.4. L'amortissement pneumatique

L'amortissement est réalisé par le travail de la force d'une contre-pression s'appliquant sur le côté du piston situé à l'échappement. Il est intégré au vérin et est réglable.

En fin de mouvement, le piston emprisonne un volume d'air qui doit s'échapper par un trou calibré réglable.

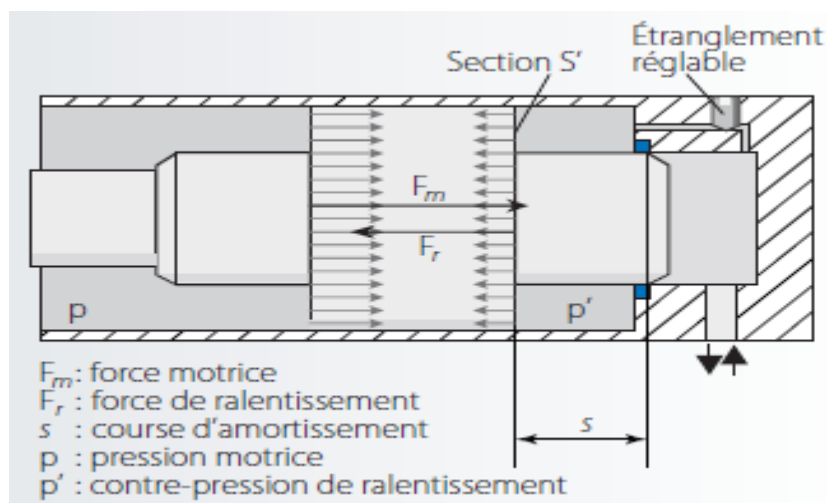


Fig.3.10: Principe de l'amortissement pneumatique réglable

La pression augmente donc et provoque ainsi le ralentissement du piston. Ce dispositif fournit initialement une grande force de ralentissement qui diminue rapidement au fur et à mesure que la vitesse diminue.

3.5. Flambage des vérins

Les tiges de vérin en compression sont des poutres soumises au flambage. En effet ce sont des cylindres dont l'élancement est important (grande longueur et section modérée) qui lorsqu'ils sont soumis à une sollicitation de compression présentent des risques de déformation brutale en flexion.

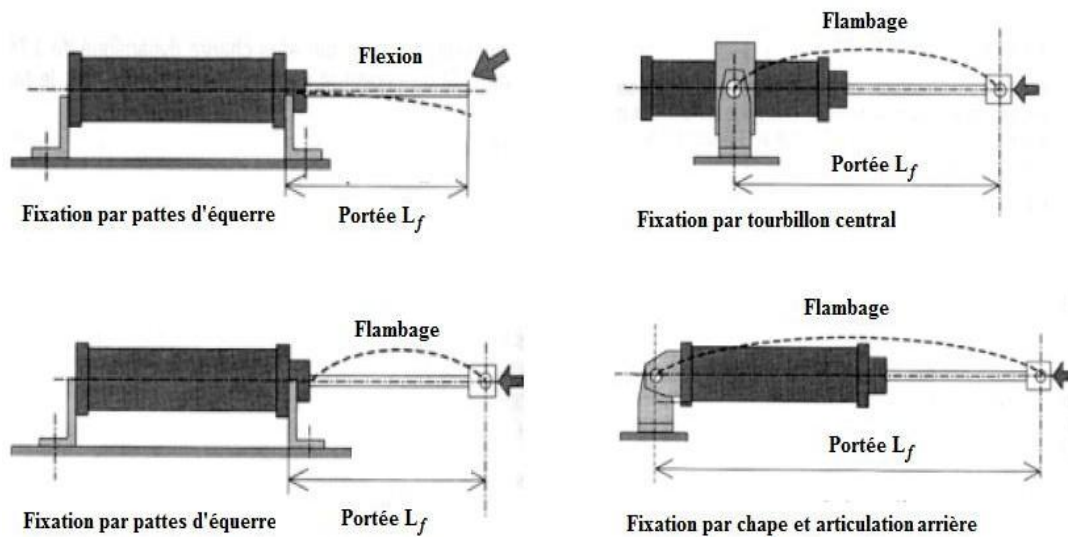


Fig. 3.11: Tiges de vérins soumises aux efforts de flexion et au flambage

Pour dimensionner les tiges de vérin, on applique la formule de la charge critique d'Euler F_c qui donne la charge maximum admissible en compression (instable) en fonction :

- du module de Young E du matériau ($E = 20\,000 \text{ daN/mm}^2$ pour l'acier).
- du moment quadratique de la section de la tige $I_{(GZ)}$, $I_{GZ} = \frac{\pi d^4}{64}$
- de sa longueur libre de flambage $L_f = L_a \text{ course } C \cdot K$

Le facteur K dépend du mode de fixation du vérin et du type de guidage de l'extrémité de la charge. Ces coefficients sont en général donnés sous forme de tableau par les constructeurs de vérins.

$$F_c = \frac{\pi^2 \cdot EI_{GZ}}{L_f^2} \quad (3.2)$$

- Si on considère S : coefficient de sécurité (valeur usuelle = 3,5 pour les vérins), la condition de résistance s'écrit : $F \leq \frac{F_c}{S}$

Avec F : force développée par le vérin : $F \leq \frac{\pi^2 \cdot EI_{GZ}}{L_f^2}$

Ce qui donne pour le diamètre de la tige : $d \geq \sqrt{\frac{64 \cdot S \cdot F \cdot L_f^2}{\pi^2 \cdot E}}$

3.6. Fixations et montage des vérins

Les vérins peuvent être montés de différentes manières selon le travail qu'ils sont appelés à fournir. Les fabricants proposent une gamme importante de fixations pour implanter les vérins. Deux fixations suffisent en général: une à l'avant en bout de tige (cas A, B, C) ou sur le fond (D, E, F) plus une à l'arrière (G, H, I) ou au milieu (J, J', J'').

Suivant les fixations choisies, la position du vérin et les charges exercées, certains calculs de vérification (flambage, flexion...) peuvent devenir nécessaires.

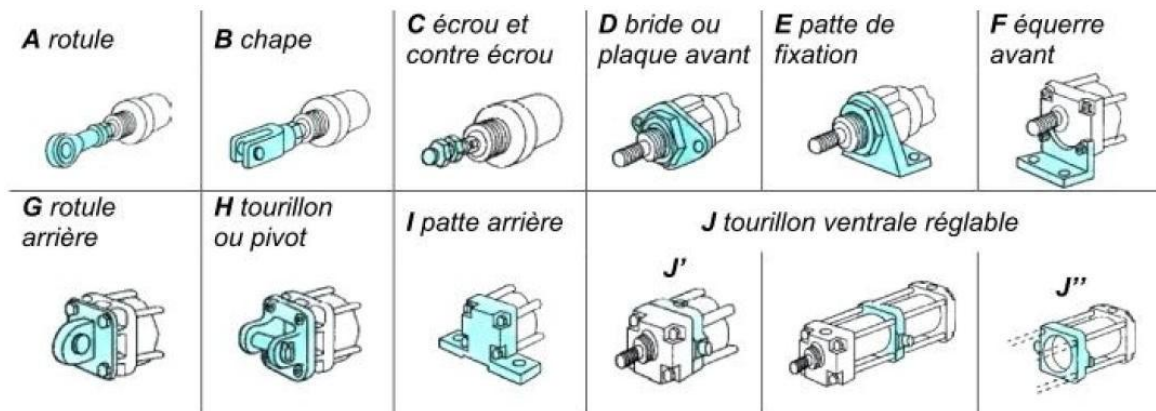


Fig. 3.12: Fixations et montage des vérins

CHAPITRE 4 : CANALISATIONS HYDRAULIQUES

4.1. Les canalisations

Dans un système hydraulique, les canalisations acheminent le fluide de la pompe vers les récepteurs. Ces canalisations sont constituées de conduites rigides (tuyaux et tubes) ou souples (boyaux) assemblées les unes aux autres ou aux composantes du système au moyen de raccords.

Dans tout système, les canalisations doivent résister à la pression et à la fatigue, offrir une étanchéité parfaite et permettre de minimiser les pertes de pressions dues à l'écoulement de fluide. Malheureusement, dans de nombreuses installations, l'ensemble des canalisations ressemble plus à la « plomberie » hétéroclite d'un édifice maintes fois rénové qu'à un réseau planifié de transport d'énergie. Or le rendement, la fiabilité et la sécurité d'un système hydraulique dépendent pour une large part des canalisations.

Qu'elles soient rigides ou souples, les conduites assurent le transport de l'énergie délivrée par la pompe hydraulique vers les composants de transformation et vers les actionneurs qui exécutent le travail.

Vous devez retenir que les deux facteurs physiques Q_v et P qui influencent la puissance agissent sur le choix de la tuyauterie.

La sélection des conduites hydrauliques s'effectue selon deux critères :

- le débit qu'elles doivent porter ;
- la pression qu'elles doivent supporter.

4.2. Types de canalisations

4.2.1. Canalisations rigides

Les tubes utilisés en hydraulique sont en fer doux (teneur de carbone de 0,15 à 0,25%) de type sans soudure, obtenus par étirage à froid ou à chaud.

Lorsque le coût d'installation n'est pas soumis à un budget serré elle peut être réalisée en acier inoxydable. Les tubes doivent être cintrés de façons spéciales pour assurer le meilleur écoulement du liquide. Sur une installation rigide il est nécessaire d'ajouter au moins un coude de sorte à pallier les effets dus à la dilatation. Il est nécessaire aussi de prévoir des supports à coussinets en caoutchouc pour réunir les tubes. Ces supports réduisent la fatigue des canalisations et des raccords par réduction sensible des vibrations.

Exemple des matériaux des tubes rigides:

- Tu 37 b (type standard) \Leftrightarrow E235 électro-zingué à l'extérieur
- 35 Cr Ni Ti 72 - 40 (si risque d'oxydation important)

4.2.2. Canalisations souples (boyaux)

Les canalisations souples sont plus communément appelées tuyauteries flexibles, ou « flexibles ». Ces canalisations souples ont pris une extension telle qu'il ne serait plus possible aujourd'hui de réaliser une installation hydraulique sans les faire intervenir.

Les flexibles permettent entre autres :

- de véhiculer un fluide entre un point fixe et un autre mobile ;
- d'absorber les vibrations [13].

A cet effet les flexibles sont montés fréquemment à la sortie et à l'entrée des unités hydrostatiques (pompes et moteurs).

La mise en place de flexibles nécessite une étude complexe et propre à chaque installation :

- Leur longueur doit être judicieusement déterminée.
- Ils ne doivent jamais travailler en torsion.

Les canalisations, qu'elles soient rigides ou souples, sont assemblées entre elles sur les différents composants du circuit par l'intermédiaire de raccords.

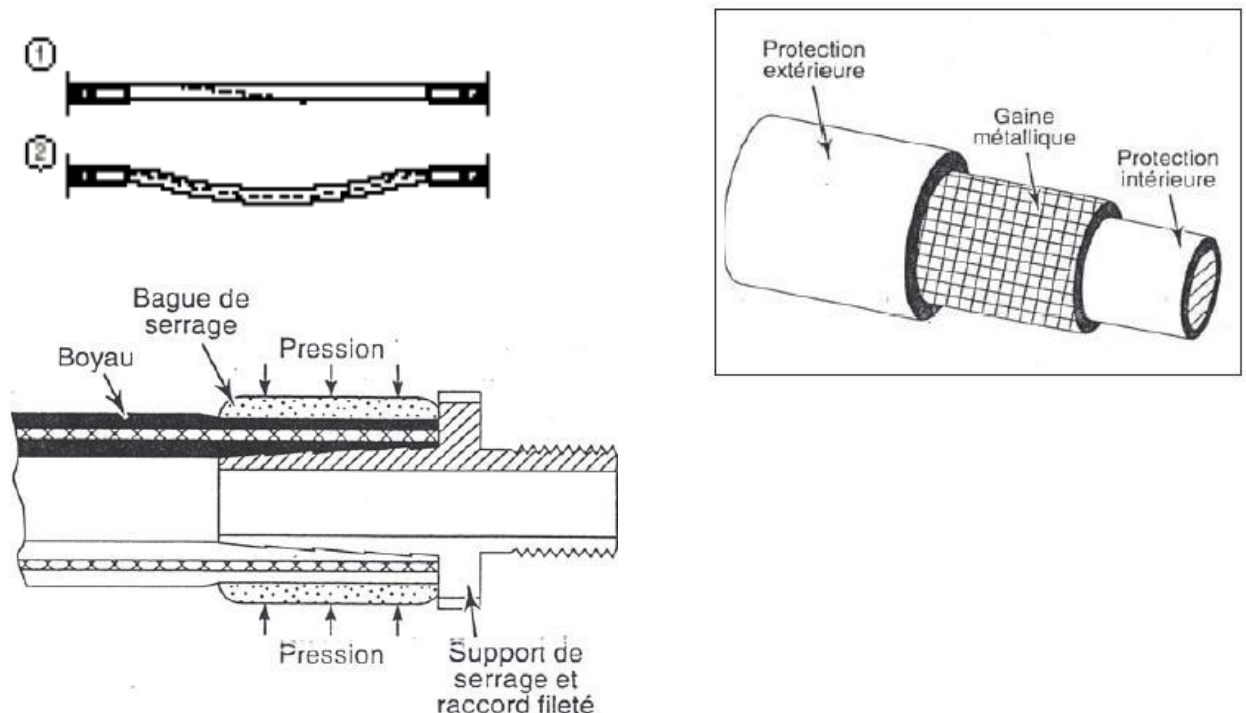


Fig.4.2: Les différents composants d'un boyau

Il s'agit d'élastomère renforcé de fibres métalliques soit en nappes soit en tresses, sur plusieurs couches. La température d'utilisation doit être comprise entre -40°C et $+120^{\circ}\text{C}$.

4.2.3. Tube et raccords

Dans un système hydraulique, il faut tenir compte des énormes variations de température du fluide qui y circule car la température du fluide en mouvement, augmente et provoque une dilatation du métal de la conduite.

Pour raccorder des tubes aux composants du système hydraulique, on utilise deux types de raccords :

- Les raccords pour tubes évasés.
- Les raccords pour tubes non évasés.

4.3. Dimensions

Les vitesses recommandées correspondent à des huiles ayant une viscosité maximale de 315 S.S.U. (9°E) à 38 °C fonctionnant à des températures comprises entre 18 °C et 68 °C.

Ci-dessous un abaque permettant de déterminer le diamètre intérieur du tuyau en fonction du débit (l/mn) et de la vitesse d'écoulement (m/s).

Exemple : pour un débit de 45 l/mn à une vitesse d'écoulement de 7,5 m/s , quel sera le diamètre intérieur du tuyau?

Tracer une droite joignant ces deux points. Le point d'intersection sur l'échelle des diamètres indique une valeur inférieure au module -8 (12,7 mm).

Il convient donc de choisir un tuyau de diamètre intérieur module -8 (12,7 mm).

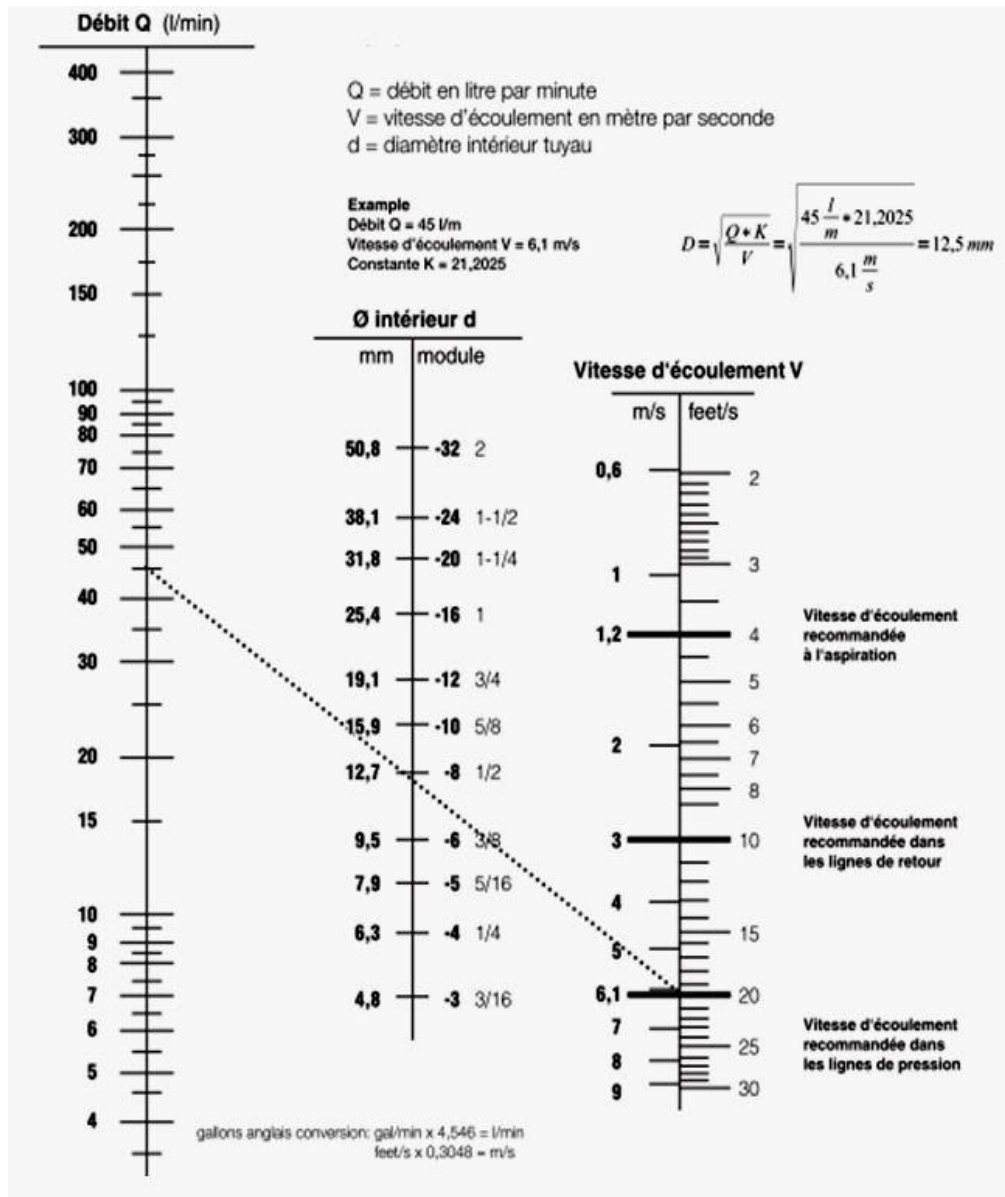


Fig.4.3: Abaques de détermination du diamètre intérieur d'une tuyauterie [6]

4.4. Appareils de contrôle de la pression

4.1.1. Limiteurs de pression

C'est l'appareil le plus important car il est indispensable à la sécurité. Le limiteur de pression est placé en dérivation dès la sortie de refoulement de pompe. Il est conçu pour limiter la pression de refoulement et de protéger la pompe dans un circuit hydraulique. Suivant l'endroit où il se trouve dans un circuit il pourra avoir une fonction et donc des noms différents [14].

Rôle

Le rôle du limiteur de pression principale est de protéger la pompe des surpressions. La pompe génère un débit qu'il faut en permanence aiguiller:

- Vers les récepteurs.
- Vers le réservoir à l'aide d'un distributeur.
- Vers le réservoir à l'aide d'un limiteur de pression.

Composition

Il existe deux types de limiteur de pression :

- Action directe.
- Action pilotée.

4.4.1.1. Limiteur de pression à action directe

Le limiteur de pression à action directe est composé d'un ressort (rep 2), réglable par la vis (rep 1). Le clapet conique (rep 3) repose sur son siège, il est composé d'un poussoir servant à la fois de guide et d'amortissement à la fermeture du clapet. Le canal (rep 5) assure drainage interne du ressort. Le vérin (rep 12) est en butée mécanique et la pompe (rep 4) est entraînée par le moteur (rep 10) au régime travail. L'huile instantanément se cumule dans le vérin (rep 12) et la pression monte dans le circuit. La pression exercée sur le poussoir du clapet (rep 3) atteint la valeur du ressort (rep 2). Le débit déplace le clapet (rep 3) et retourne au réservoir (rep 7).

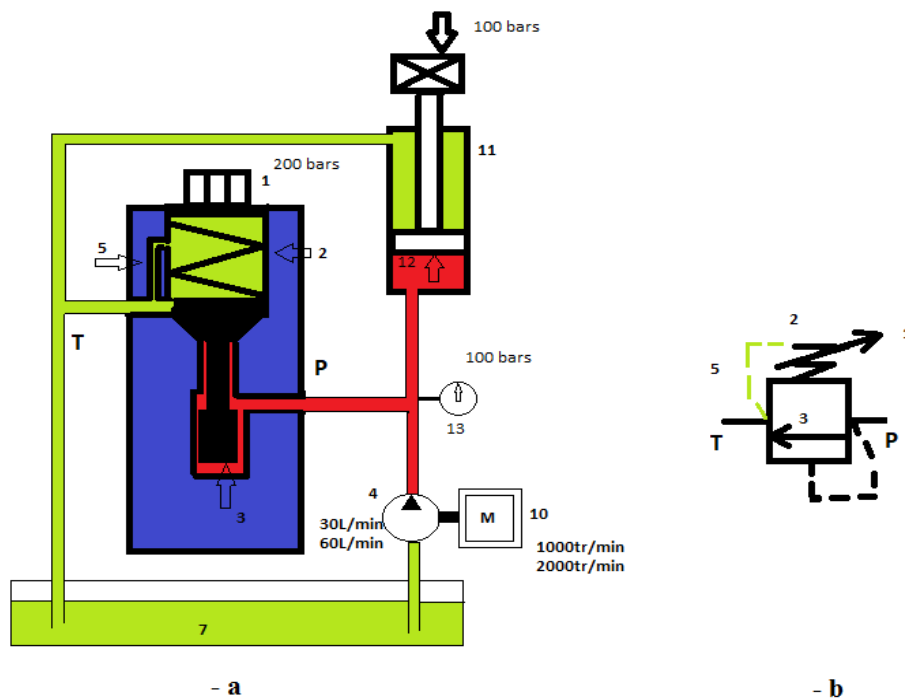


Fig.4.4: Limiteur de pression à action directe

4.4.1.2. Le limiteur de pression à commande indirecte (ou à clapet équilibré)

Le clapet n'est plus appliqué sur son siège par la seule force d'un ressort. La pression de l'huile s'exerce aussi sur la face supérieure, ce qui permet un équilibrage hydraulique. Il suffit alors d'un

faible ressort pour vaincre les frottements et assurer la fermeture du clapet. Le clapet est quelquefois, selon les constructeurs, remplacé par un piston ou un tiroir.

Mais le principe de fonctionnement reste le même.

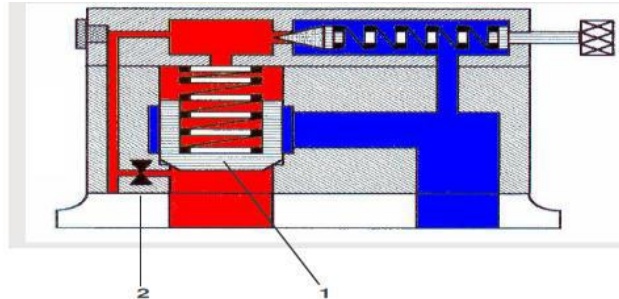


Fig.4.5: Le limiteur de pression à commande indirecte

4.4.2. Réducteurs de pression

Fonction principale [13] assurer sur une ligne A une pression inférieure à la pression d'alimentation en P, et constante (il va de soi que P_p doit être supérieure à P_a pour que l'appareil serve à quelque chose).

L'appareil est installé en ligne. De par sa conception, cet appareil provoque une perte de charge pour que P_a reste constante.

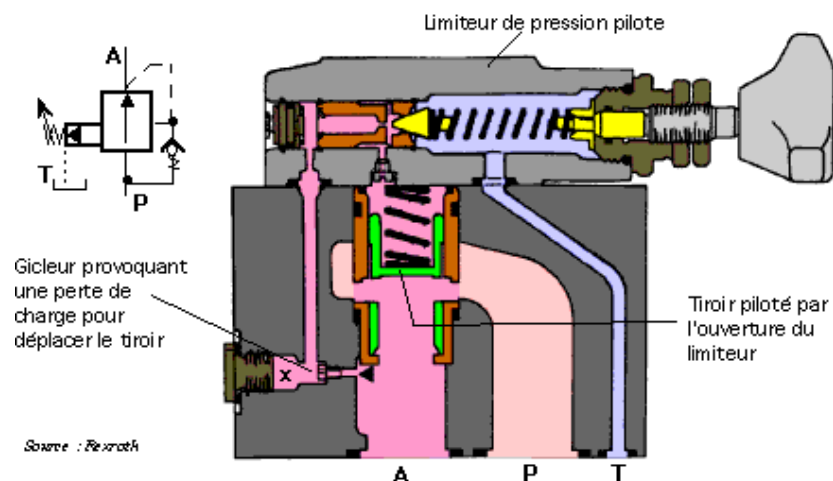


Fig.4.6: Réducteurs de pression

4.5. Appareils de contrôle du débit

Le principe de tous ces appareils est de créer une perte de charge pour faire varier le débit. Il faut bien sûr que ce débit puisse varier en amont.

4.5.1. Limiteurs de débit

Le **limiteur de débit** consiste à contrôler le volume du flux d'huile dans ou hors d'un circuit. Contrôle de débit dans un circuit hydraulique peut être accompli de plusieurs façons. La manière la plus commune est d'installer un orifice. Quand un orifice est installé, l'orifice présente une plus grande restriction au débit de normal de la pompe. La plus grande restriction augmente la pression d'huile. L'augmentation de la pression d'huile fait dévier une partie d'huile dans un autre chemin. Le chemin peut être un autre circuit ou une soupape de sécurité. En outre, ce titre expliquera les limiteurs de débit à pression non compensés et les limiteurs de débit à pression compensés.

- Orifice :

Un orifice est une petite ouverture dans le passage d'écoulement d'huile. L'écoulement à travers un orifice est affecté par plusieurs facteurs. Trois des plus courants sont:

1. La température de l'huile.
2. La taille de l'orifice.
3. Le différentiel de pression à travers l'orifice.

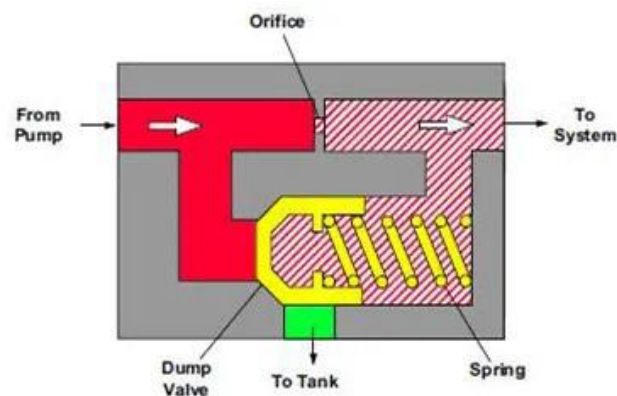


Fig.4.7: Limiteurs de débit

4.5.2. Régulateurs de débit

Ils sont constitués de deux étranglements successifs, l'un est réglable par l'utilisateur, l'autre change automatiquement en fonction des variations de pression pour conserver un débit constant. De plus, la plupart sont dits compensés en température, donc peu sensibles à la viscosité de l'huile. Avec un régulateur de débit, le débit est indépendant de la charge.

La production de chaleur due à la perte de charge dans l'appareil est identique à celle du limiteur.

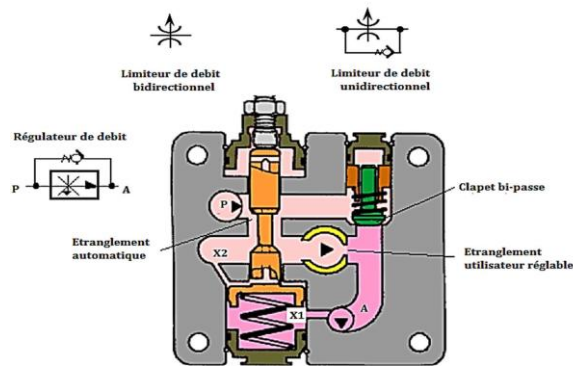


Fig.4.8: Régulateurs de débit

4.6. Les clapets anti-retour

Un clapet anti-retour permet la circulation du fluide dans un seul sens (Figure 4.9) :

Le fluide peut s'écouler de A vers B

L'écoulement est interdit de B vers A

On peut les monter de 2 façons différentes :

- **Montage en série :**
 - ✓ Maintien d'un circuit sous pression à l'arrêt
 - ✓ Protection d'un organe contre d'éventuelles surpressions
 - ✓ Évite la vidange d'un circuit lors du démontage d'un appareil
- **Montage en parallèle :**
 - ✓ Le fluide à traverser l'appareil dans le sens A vers B
 - ✓ Le fluide contourne l'appareil en passant dans le clapet de A vers B

Les clapets anti-retour sont souvent équipés d'un ressort dont le tarage permet d'autoriser le passage du fluide de A vers B à partir d'une pression minimale.

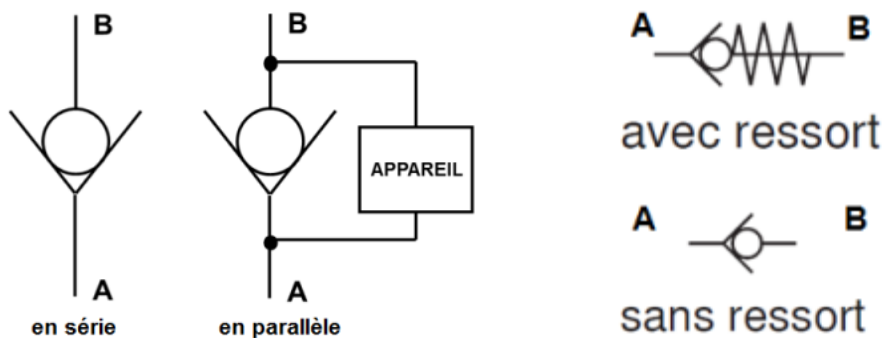


Fig.4.9: Clapets anti-retour

4.7. Les distributeurs

Fonction :

Aiguiller le débit vers l'une ou l'autre partie du circuit, autoriser ou bloquer le passage du débit

Constitution:

Le distributeur est constitué de 3 parties : le corps, le tiroir, les éléments de commande.

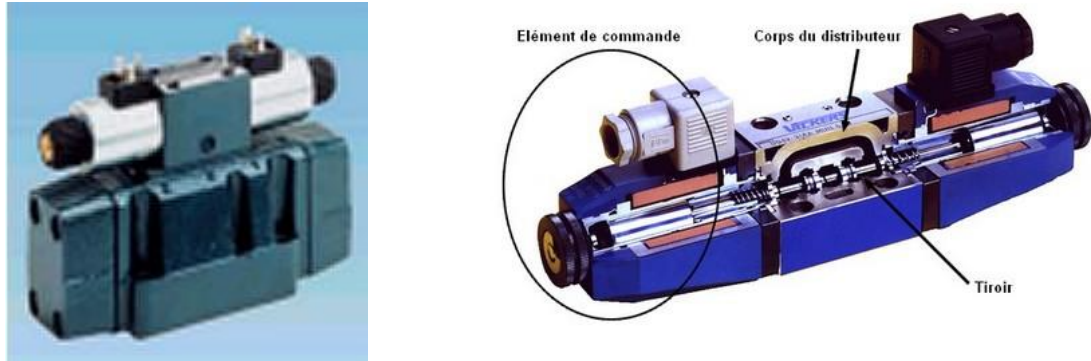


Fig.4.10: Les composants d'un distributeur

Fonctionnement

Les éléments de commande agissent sur le tiroir et le déplacent vers la droite ou vers la gauche. En se déplaçant, le tiroir met en communication les orifices [15].

Symbolisation

La symbolisation se réalise en 2 étapes :

Construction du symbole de base (nombres d'orifices, nombres de positions).

Représentation du type de commande.

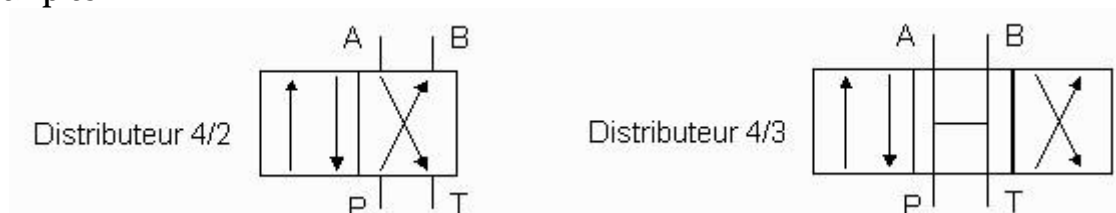
Construction du symbole de base :

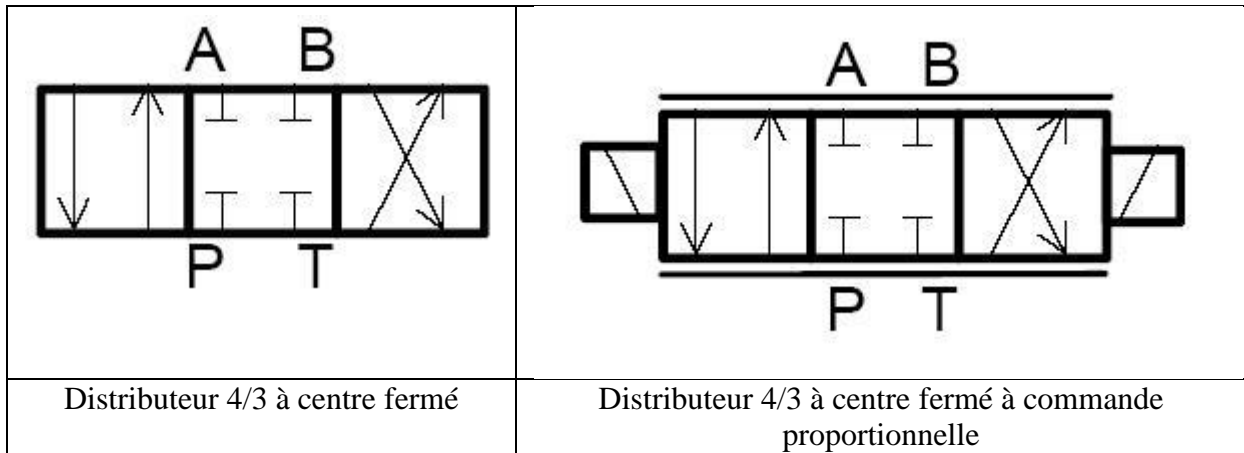
Chaque position des éléments de commande interne du distributeur est représentée par une case carrée. Dans chaque case se positionnent des flèches ou des traits qui indiquent les liaisons établies entre les orifices et le sens d'écoulement du fluide.

Les canalisations aboutissent à la case représentant la position repos.

La lecture de la position travail s'obtient en déplaçant par glissement l'autre case du symbole face à la représentation des tuyauteries.

Exemples





En hydraulique, il existe un grand nombre de possibilités de cases centrales (type 4/3) suivant le fonctionnement désiré. Les plus courantes sont les suivantes :

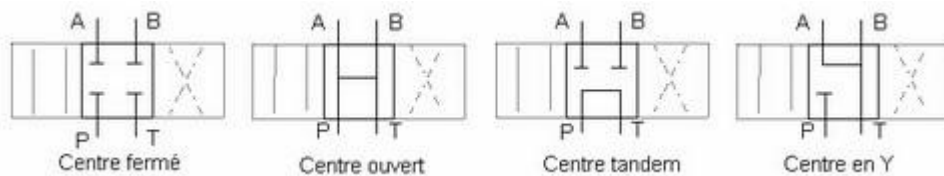
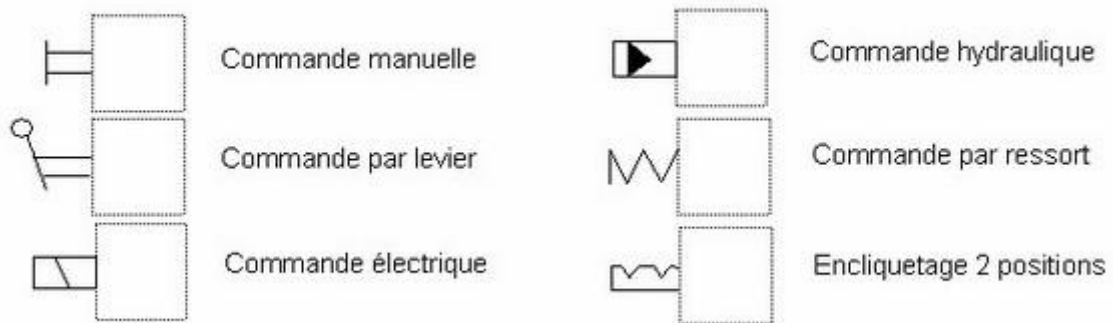


Schéma des différentes commandes:

Représentation du type de commande, rappel ou maintien :

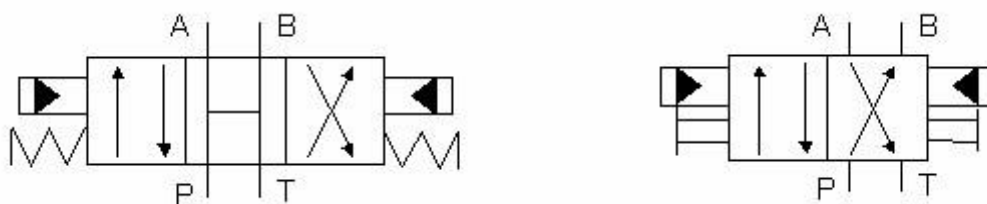


La majorité des distributeurs hydrauliques sont à 2 ou 3 positions.

L'identification d'un distributeur se fait de la manière suivante :

Nombre d'orifices, nombre de positions, type de centre (si 3 positions), type de commande, type de rappel ou de maintien.

Il peut y avoir plusieurs symboles sur une même représentation



Remarque

La taille d'un distributeur ainsi que la grosseur de ses orifices doit être adapté au débit qui le traverse.

4.8. Les accumulateurs

Leur rôle est de stocker un certain volume de fluide sous pression pour le restituer en fonction des besoins. Ils sont aussi utilisés pour les commandes d'urgence ou pour amortir les chocs dans les démarrages des installations.

Le principe est simple : une chambre à deux orifices séparés par un élément étanche.

L'un des orifices est relié au système et l'autre permet le remplissage avant utilisation d'un gaz générant un contre effort. Le gaz utilisé est l'azote (gaz inerte).

Il en existe 3 principaux types :

- A membrane (soudée ou vissée).
- A piston ;
- A vessie

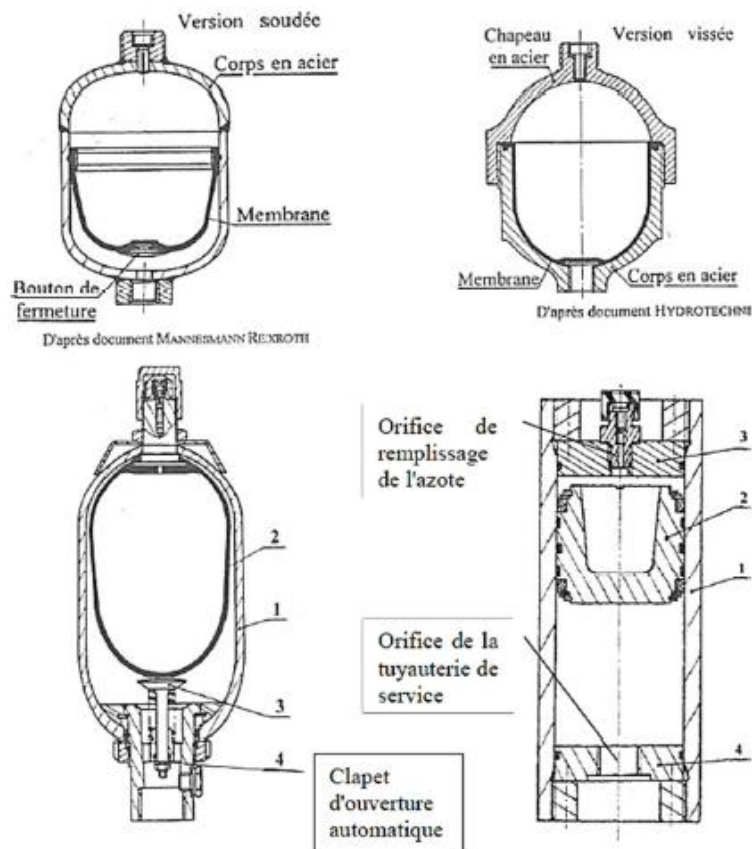


Fig.4.11: Les accumulateurs

CHAPITRE5 : EXEMPLES PRATIQUES

5.1. Commande d'un moteur pneumatique

-Alimentation d'un vérin simple effet est obtenue à l'aide d'un distributeur 3/2

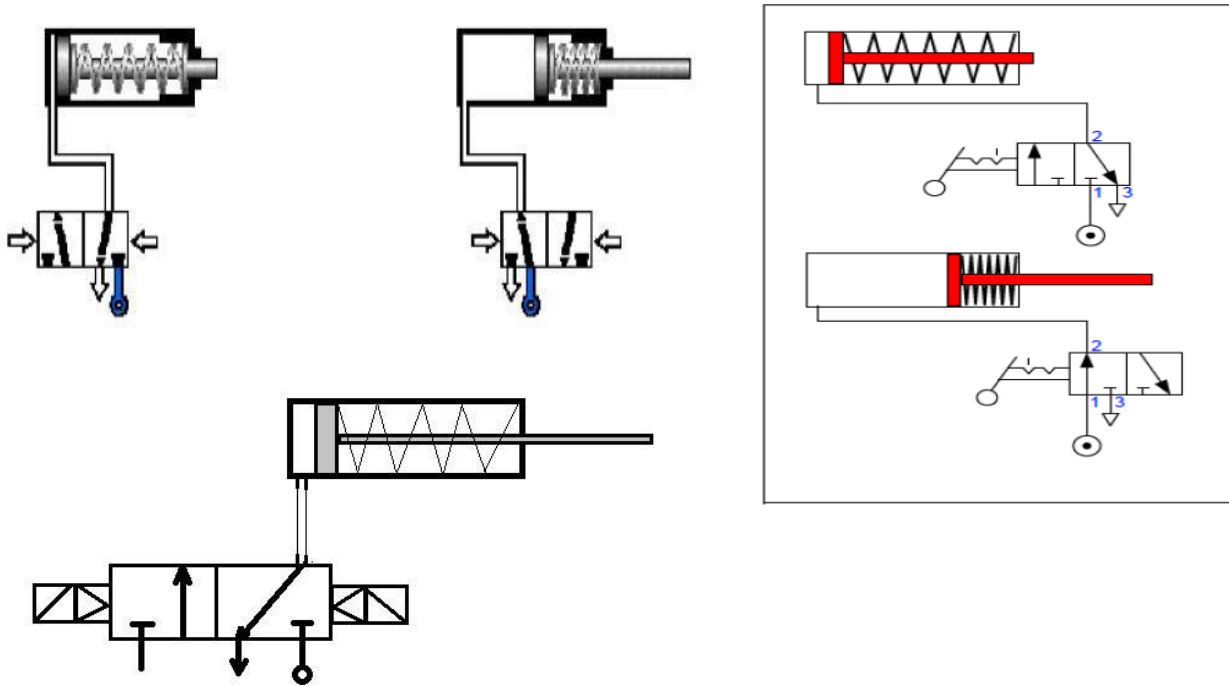


Fig. 5.1: Commande un vérin simple effet à l'aide d'un distributeur 3/2

-Pour commander un vérin double effets avec un distributeur 5/2 par une commande pneumatique. Etablir le schéma de commande pour les deux cas (tige rentre et tige sort).

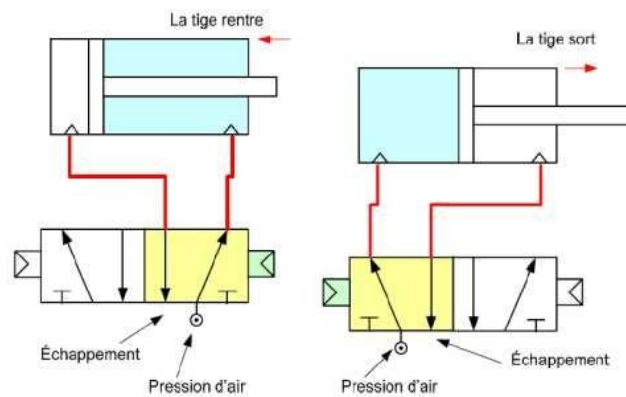


Fig.5.2: Commande un vérin double effets avec un distributeur 5/2

Exemple

Le vérin doit fournir une force (F) de $7.51.10^3$ daN sur une course c de 50 cm parcourue pendant le temps t de 2.5 S. la pression de fonctionnement P_f en sortie de la pompe est de 111 bar. Pendant le mouvement de sortie de la tige du vérin et le rendement η_v de celui-ci est égal à 0.86

a- Quelle est la section S du vérin (en cm) ?

b- Quel est le débit Q_v de la pompe (en l/min) ?

c- Quelle est la puissance absorbée par la pompe en (KW), si le rendement global η_g de celui-ci est de 0.85. on néglige les pertes de charge et $P_0 > P_f$ est la consigne de limiteur de pression.

Corrigé

a- La pression de fonctionnement P_f en sortie de la pompe est :

$$P_f = F/S \cdot \eta_v \rightarrow S = F/P_f \cdot \eta_v$$

$$S(\text{cm}^2) = F(\text{daN})/P_f(\text{bar}) \cdot \eta_v = 7,5 \cdot 10^3 / 111 \cdot 0,86 = 78,5 \text{cm}^2$$

b- La vitesse de vérin est

$$V = \text{Course}/\text{temps} = 0,50/2,5 = 0,20 \text{ m/s,}$$

$$\text{il en résulte le débit : } Q_v (\text{l/min}) = 6 \cdot v (\text{m/s}) \cdot S (\text{cm}^2)$$

$$Q_v = 6 \cdot 0,2 \cdot 78,5 = 94,2 \text{ l/min}$$

c- La puissance absorbée par la pompe est :

$$P_m = \frac{Q_v \Delta P}{\eta_g}$$

$$\text{Soit en unités pratiques : } P_m = \frac{Q_v(\text{l/mn}) \Delta P (\text{bar})}{600 \cdot \eta_g} = \frac{94,2 \cdot 111}{600 \cdot 0,85} = 20,5 \text{ KW}$$

5.2. Commande d'un moteur hydraulique à deux sens de rotation

La plupart des moteurs sont prévus pour tourner dans les deux sens. Pour inverser le sens de rotation, il suffit d'inverser l'alimentation et le retour au réservoir.

- **Réglage sur l'entrée du moteur :** Ce dispositif ne peut être utilisé seul, si le couple résistant risque de devenir moteur.

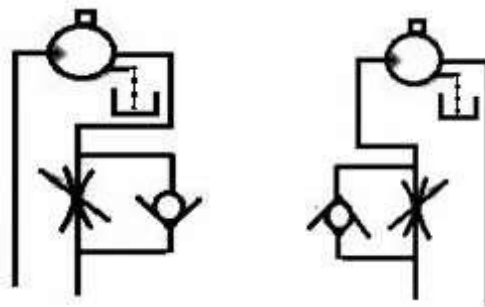


Fig.5.3: Réglage en sortie du moteur hydraulique [1]

○ **Réglage en sortie du moteur**

Ce dispositif quant à lui, peut être utilisé dans tous les cas, même si le couple devient moteur.

○ **Drainage des moteurs hydrauliques**

Pour les moteurs à pistons les fuites peuvent causer des perturbations de fonctionnement (accumulation d'huile derrière les pistons). Pour cette raison il faut prévoir un circuit de retour de ces fuites vers le réservoir appelé circuit de drainage [9].

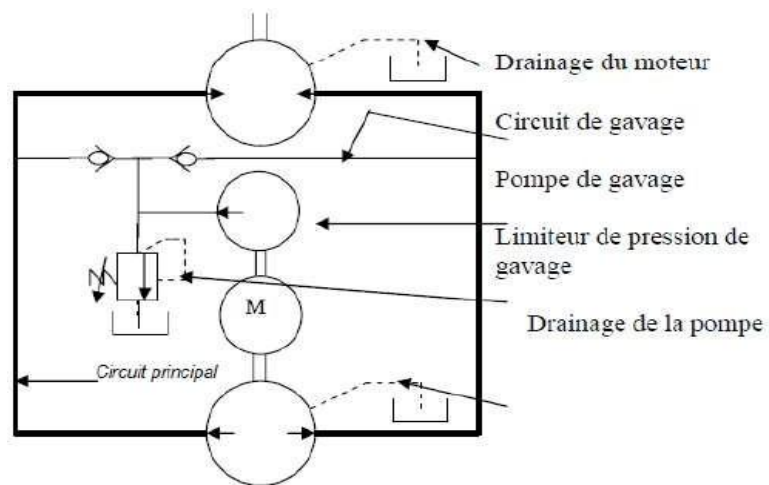


Fig.5.4: Circuit de drainage des moteurs hydrauliques

5.3. Réglage de la vitesse d'une tige de vérin

La vitesse de la sortie de la tige du vérin est contrôlée par un limiteur de débit sur le retour au bac de la petite chambre du vérin qui ne laisse passer qu'un débit q .

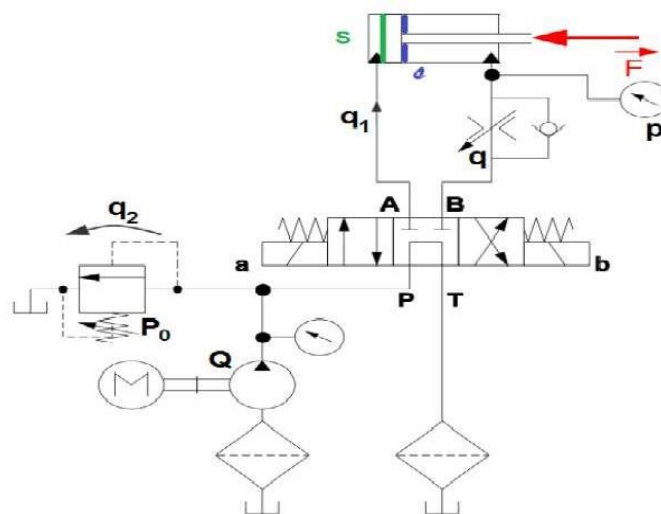
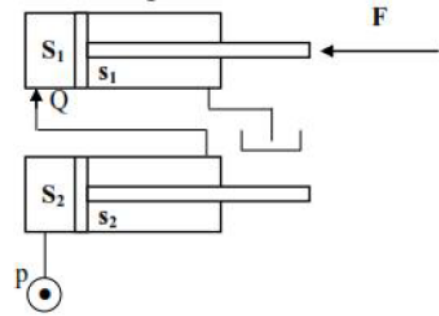


Fig.5.5: Réglage de la vitesse d'une tige de vérin [1]

Application 1

On suppose deux vérins montés selon le schéma de rendement $\eta=90\%$.
 Calculer la pression P nécessaire pour équilibrer la force F et calculer la vitesse de la sortie de la tige de vérin N_1 .

On donne: $F=90$ KN, $S_1=2s_1$, $S_2=s_2$
 $S_1=120$ cm² $S_2=120$ cm² et $Q=90$ litres/min.



Solution :

Soit P' la pression dans les chambres de section S_1 du vérin 1 et s_2 du vérin 2

La force F' nécessaire pour équilibrer F est $F' = \frac{F}{\eta}$ avec $F' = P' \cdot S_1$

Donc: $P' = \frac{F}{\eta \cdot S_1}$

La tige du vérin 2 n'est soumise qu'aux forces de pression

Donc: $P' \cdot s_2 = \eta \cdot P \cdot S_2 \rightarrow P = P' \cdot \frac{s_2}{S_2}$ et aussi : $\rightarrow P = P' \cdot \frac{s_2}{\eta \cdot S_1 \cdot S_2} F$

A.N : $P= 50$ bars

La vitesse de la sortie de la tige du vérin 1 est $V_1 = \frac{Q'}{S_1}$

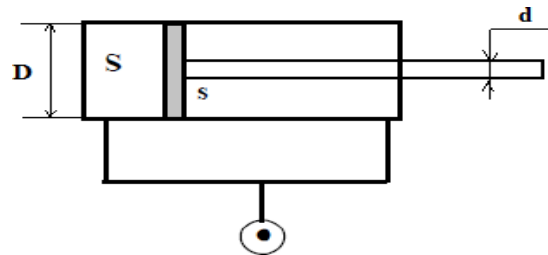
et $V_1 = \frac{s_2}{S_1 S_2} \cdot Q$

A.N: $V= 0.075$ m/s

Application 2

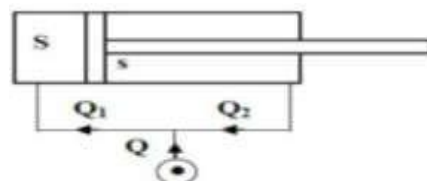
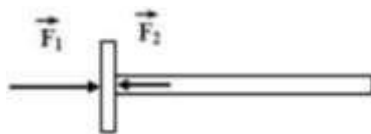
On alimente simultanément les côtés d'un vérin à une pression $P=100$ bar par un débit $q=100$ l/min. Quel est le comportement du vérin ?

-Calculer alors la force développée par le vérin et la vitesse du déplacement de la tige. On donne $D=80$ mm et $d=40$ mm.



Solution

Comportement du vérin : sortie de la tige



$$F_1 = P.S \text{ et } F_2 = P.s$$

$$\text{avec: } S = \frac{\pi D^2}{4} \text{ et } s = \frac{\pi d^2}{4}$$

La force développée par le vérin est :

$$F = P \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}$$

A.N : F=37.7 KN

La vitesse du déplacement de la tige est:

$$V = \frac{Q_1}{S} = \frac{Q_2}{s}$$

Avec le débit : $Q_1 = Q + Q_2$

Enfin: $V = \frac{Q}{S-s}$

5.4. Réalisation d'un circuit hydraulique

Une transmission de Puissance hydraulique nécessite toujours un moteur électrique (applications fixes) ou thermiques (applications mobiles) pour entraîner la pompe. C'est cette pompe volumétrique qui génère l'énergie hydraulique. La puissance hydraulique est transmise à un actionneur (moteur ou vérin) au travers d'un circuit. L'actionneur met en mouvement un organe récepteur (moule, roue, ...).

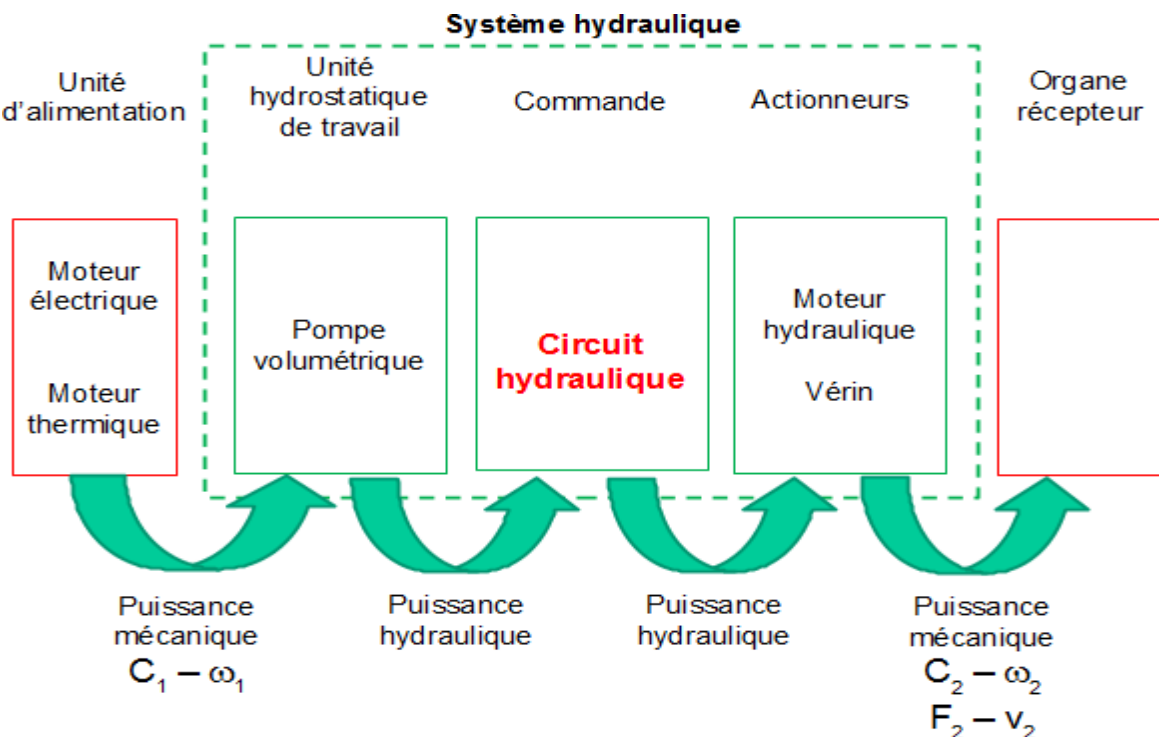


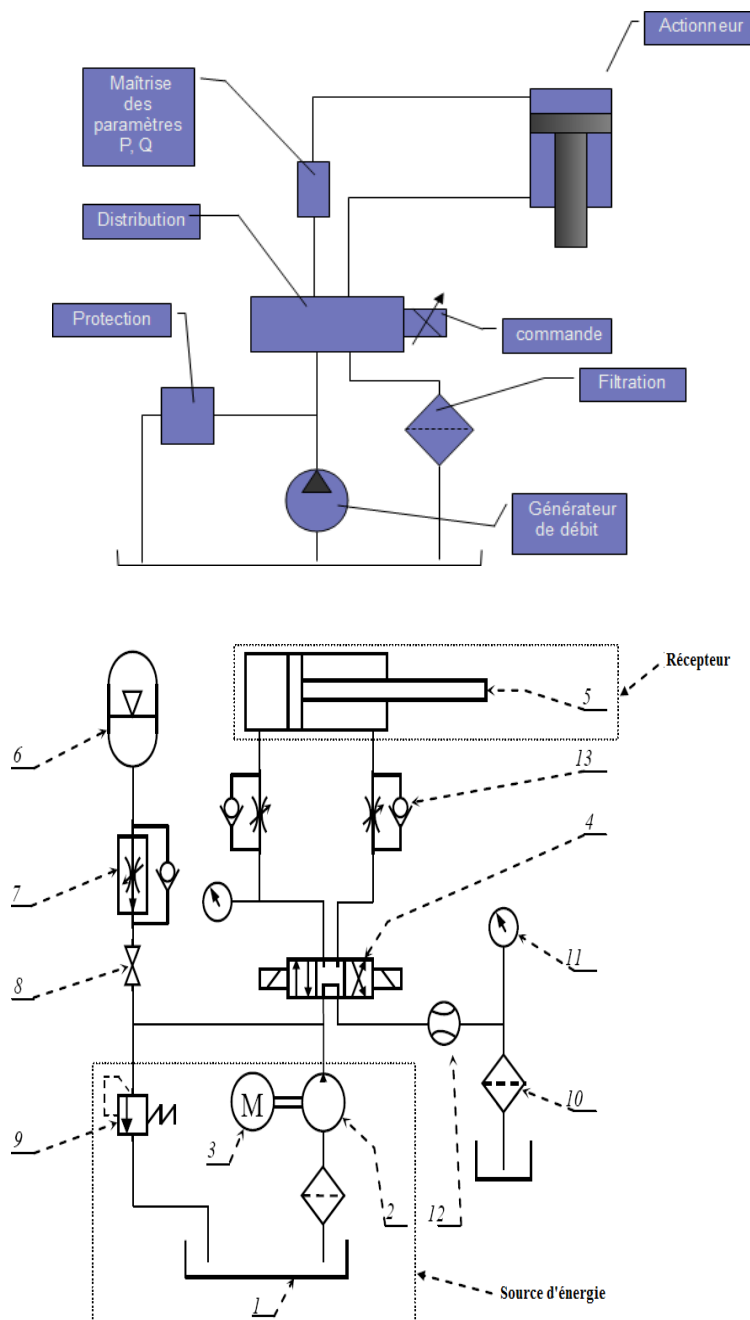
Fig. 5.6: Principe d'une transmission de Puissance hydraulique

Constituants d'un circuit hydraulique

Un circuit hydraulique est constitué au minimum d'une pompe (génération du débit), d'un distributeur hydraulique avec sa commande, d'un actionneur, d'un organe de protection contre les pressions excessives, des éléments de circuit permettant de maîtriser les paramètres de pression et de débit et de filtres permettant de limiter la pollution du fluide hydraulique.

Les organes de commande des actionneurs peuvent être :

- des distributeurs avec des commande mécanique ou électriques proportionnelles ou non
- des valves de séquence



<i>Rep</i>	<i>Désignation</i>	<i>Fonction</i>
1	Réservoir	Stocker le fluide
2	Pompe hydraulique	Générer la puissance hydraulique
3	Moteur électrique	Actionner la pompe
4	Distributeur	Distribuer la puissance hydraulique au vérin
5	Vérin double effet	Transformer la puissance hydraulique en puissance mécanique
6	Accumulateur	Stocker l'énergie hydraulique
7	Régulateur de débit	Régler le débit et la vitesse du fluide
8	vanne	Autoriser ou interrompre le passage du fluide
9	Limiteur de pression	Protéger l'installation contre les surpressions
10	filtre	Nettoyer l'huile
11	Manomètre	Mesurer la pression
12	Débitmètre	Mesurer le débit
13	Clapet anti-retour	Autoriser le passage du fluide dans un seul sens

Fig. 5.7: Exemple d'architecture d'un circuit hydraulique

CHAPITRE 6 : LOGICIEL DE SIMULATION

6.1. Présentation du Logiciel de simulation : Automation Studio

Automation Studio est un logiciel édité par la société **Famic Technologies**. Il couvre les domaines de la simulation, de la conception assistée par ordinateur (CAO), de la maintenance et du diagnostic et de la documentation de projet.

Ce logiciel est principalement utilisé par des ingénieurs pour des domaines comme l'hydraulique, le pneumatique, la synoptique, l'électricité et l'électrotechnique.

Deux versions principales du logiciel sont proposées :

- Version professionnelle, qui est un outil de modélisation et de simulation
- Version éducative, qui est une version modifiée de la première, conçue pour les établissements d'enseignement.

6.2. Version professionnelle

6.2.1. Conception

Le premier volet d'Automation Studio est son volet de conception : le logiciel permet de concevoir des GRAFCETS, des circuits électriques, des schémas et des dessins de façon plus générale. Il contient une bibliothèque de symboles, qui permet d'intégrer des éléments standardisés dans les schémas, comme par exemple des interrupteurs, des générateurs, des bobines, des borniers et des armoires électriques pour le volet électrique, et des éléments comme des moteurs, des transmissions, la servo-direction et des dispositifs de contrôle pour le volet hydraulique et pneumatique

6.2.2. Simulation

Les systèmes modélisés sur Automation Studio peuvent être testés par le logiciel avant qu'un vrai modèle ne soit construit. La simulation effectuée tient en compte diverses contraintes techniques, comme la viscosité des fluides, les transferts thermiques, les pertes de pression, etc. Pendant la modélisation, les composants utilisés s'animent et se colorisent en fonction de leur comportement pendant la simulation.

6.3. Version éducative

La version éducative d'Automation Studio est un outil disposant de moins de fonctionnalités que la version professionnelle, et qui est destinée à des établissements d'enseignement des écoles de matières techniques. La modélisation et la simulation du logiciel doivent servir d'exemple et

d'illustration suite à un cours théorique.

Cette version est utilisée par des universités telles que l'université de Montréal (Canada), Texas A&M (États-Unis) et Lews Castle College (Grande-Bretagne).

Les matières qui sont enseignées avec l'appui du logiciel sont par exemple l'électromécanique, l'électricité et l'électronique, et les technologies industrielles de façon plus générale.

6.4. Bibliothèques

Les bibliothèques d'Automation Studio correspondent à des ensembles de symboles (pour des normes comme ISO, IEC, JIC et NEMA). Ces éléments servent à adapter les modèles réalisés aux différentes normes requises par ces organismes.

Les bibliothèques d'Automation Studio comportent 14 catégories :

- *Électrotechnique*
- *Hydraulique proportionnelle et servovalve*
- *Outils d'analyse de systèmes*
- *Pneumatique proportionnel*
- *Dimensionnement de composants fluides et électriques*
- *Design de tiroirs et de configurateurs de pompes*
- *Nomenclatures et rapports*
- *Catalogue électronique*
- *Diagramme échelle*
- *Synoptique et panneau de contrôle*
- *Électronique numérique*
- **GRAF CET**
- *Électricité de commande*
- *Simulation multi-fluide*

6.5. Présentation de quelque modules

6.5.1. Module AS Hydraulique

Le module hydraulique d'Automation Studio est un aspect du logiciel conçu pour l'ingénierie des systèmes hydrauliques en particulier. Il intègre une bibliothèque de symboles spécifique. Il utilise des modélisations comme celle de Bernoulli et la méthode du gradient. C'est le principal aspect d'Automation Studio. Le module AS Hydraulique est utilisé pour concevoir et simuler des circuits hydrauliques, en intégrant des éléments de thermodynamique (contraintes thermiques internes et externes) et des éléments de schématisation (vue en coupe, dimensionnement). Une

sous-bibliothèque du module AS hydraulique proportionnelle et servovalve introduit des éléments tels que les dispositifs de commande et de contrôle : contrôle PID, CANbus, servo-direction. A.

6.5.2. Module AS Pneumatique

Le module AS pneumatique d'Automation Studio est similaire au volet hydraulique, la différence étant que les circuits d'AS Pneumatique sont dédiés aux circuits dans lesquels circulent des gaz. De fait, les contraintes techniques qui sont prises en compte ne sont plus les mêmes : l'hydrodynamique et la mécanique des fluides laissent la place à la mécanique des gaz

6.5.3. Module AS Électrique

Le volet électrique d'Automation Studio est utilisé pour modéliser des circuits électriques comportant des contraintes supplémentaires de câblage, telles que la numérotation de fils, d'utilisation de borniers, de goulottes et d'autres outils plus classiques d'ingénierie électrique.

6.6. Les barres d'outils d'AUTOMATION STUDIO

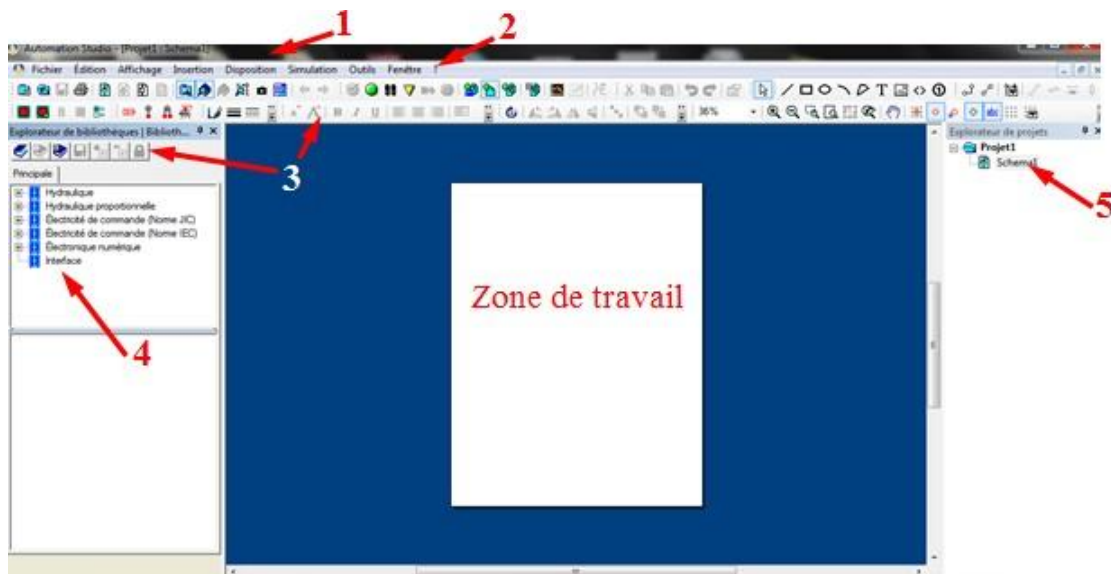


Fig.6.1: Fenêtre d'Automation Studio

















Zones	Descriptions
1	Barre de titre.
2	Barre de menus.
3	Barres d'outils variées.
4	Explorateur de bibliothèques.
5	Explorateur de projets.

6.7. Barre d'outils « Projet »

La barre d'outils « Projet » contient les boutons correspondants aux commandes les plus utilisées dans l'Explorateur de projets ou l'Éditeur de schémas. La barre d'outils s'adapte automatiquement à l'utilitaire actif. Lorsque la commande correspondante n'est pas disponible dans l'utilitaire, le bouton est grisé.


















La barre d'outils contient les commandes suivantes :

Raccourcis	Commandes	Descriptions
	Nouveau projet	Crée un nouveau projet.
	Ouvrir	Ouvre un projet existant.
	Enregistrer	Enregistre le projet.
	Imprimer	Permet de lancer l'impression.
	Nouveau schéma	Crée un nouveau schéma (standard).
	Nouveau schéma électrotechnique	Crée un nouveau schéma de l'éditeur électrotechnique (atelier non-standard) si la licence dont vous disposez vous le permet.
	Nouveau GRAFCET	Crée un nouveau GRAFCET (atelier non-standard) si la licence dont vous disposez le permet.
	Nouveau rapport	Crée un nouveau document de type Nomenclature ou Rapport.
	Explorateur de projets	Ouvre ou ferme la fenêtre Explorateur de projets.
	Explorateur de bibliothèques	Ouvre ou ferme la fenêtre Explorateur des bibliothèques.
	Gestionnaire de catalogue	Permet d'avoir accès aux commandes du gestionnaire de catalogues (voir le <i>Guide de l'utilisateur du module Catalogue</i>).
	Gestionnaire de variables	Ouvre ou ferme la fenêtre Gestionnaire de variables.
	Photos	Ouvre ou ferme la fenêtre d'affichage des photos de composants.
	Tableau de bord fluide	Ouvre ou ferme la fenêtre du tableau de bord fluide.
	Retour	Permet de revenir en arrière lorsqu'on navigue avec les hyperliens.
	Avance	Permet de repartir vers le lien suivant lorsqu'on navigue avec les hyperliens.

6.8. Barre d'outils Simulation








La barre d'outils « Simulation » de l'Éditeur de schémas contient les commandes suivantes :

Raccourcis	Commandes	Descriptions
	Simuler avec des Conditions initiales	Permet de débiter une simulation avec des conditions initiales prédéfinies.
	Normal	Simule un circuit en vitesse normale.
	Pas à pas	Simule un circuit un cycle à chaque clic.
	Ralenti	Simule à vitesse plus lente.
	Pause	Suspend la simulation.
	Arrêt	Arrête la simulation.
	Simulation projet	Sélectionne l'ensemble des schémas du projet actif lors du lancement de la simulation.
	Simulation schéma actif	Sélectionne le schéma actif lors du lancement de la simulation.
	Simulation sélection	Sélectionne les éléments sélectionnés lors du lancement de la simulation.
	Items à simuler	Ouvre la boîte de dialogue de sélection des schémas à simuler dans le projet actif.
	Grapheur standard	Ouvre ou ferme la fenêtre du Grapheur standard.
	Grapheur électrotechnique	Ouvre ou ferme la fenêtre du Grapheur électrotechnique.
	Acquisition manuelle de données	Permet d'effectuer manuellement une acquisition de données numériques de simulation.
	Configuration du régime permanent	Permet d'ouvrir la boîte de dialogue « Configuration du régime permanent » afin de paramétrer ces conditions.
	Détection des voies ouvertes	Permet d'ouvrir la boîte de dialogue « Configuration du régime permanent » afin de paramétrer ces conditions.

6.9. Barre d'outils « Enregistrement Vidéo »



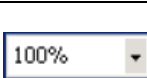









La barre d'outils « Enregistrement Vidéo » contient les commandes suivantes :





Raccourcis	Commandes	Descriptions
	Enregistrement asynchrone	Débuter l'enregistrement de la vidéo.
	Enregistrement synchrone	Configurer l'enregistrement de la vidéo de manière à le synchroniser avec le démarrage et l'arrêt de la simulation.
	Pause	Permet de faire une pause durant les 2 modes d'enregistrement.
	Arrêt	Termine l'enregistrement et propose la sauvegarde du fichier .avi créé.
	Options d'enregistrement vidéo	Permet de configurer les différents éléments de l'enregistrement vidéo : taux de compression, nombre d'images par seconde, visualisation du pointeur de souris, etc.

6.10. Barre d'outils « Affichage »



La barre d'outils « Affichage » de l'Éditeur de schémas contient les commandes suivantes :








Raccourcis	Commandes	Descriptions
	Zoom %	Liste déroulante permettant de sélectionner le pourcentage préétabli d'affichage à l'écran.
	Zoom +	Augmente la dimension d'affichage du schéma (facteur maximum 800 %).
	Zoom -	Réduit la dimension d'affichage du schéma (facteur minimum 5 %).
	Zoom fenêtre	Permet d'encadrer une zone et de ramener les dimensions de l'affichage à celles de cette zone.
	Zoom page	Affiche la totalité du schéma à l'écran.
	Zoom tous les composants	Affiche la totalité des composants contenus dans l'espace de travail.
	Zoom précédent	Revient au Zoom précédemment utilisé.
	Accrochage du composant	Active ou désactive l'Accrochage des composants sur la grille.
	Ports de connexion	Affiche ou masque les Ports de connexion.
	Noms des ports de connexion	Affiche ou masque les Noms des ports de connexion.

	Points de contact	Affiche ou masque les noms des Points de contact.
	Hyperliens	Affiche ou masque les noms des mnémoniques sous forme d'hyperlien ou en texte normal.
	Grille	Affiche ou masque la grille.
	Propriétés de la grille	Ouvre le dialogue de propriétés de la grille.

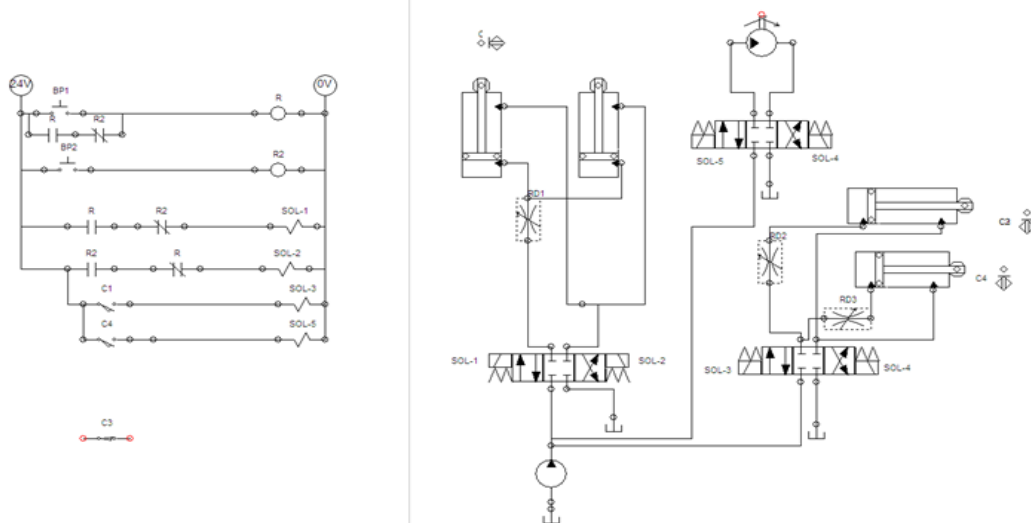
6.11. Barre d'outils « Explorateur de bibliothèques »



La barre d'outils « Explorateur de bibliothèques » de l'Éditeur de schémas contient les commandes suivantes :

Raccourcis	Commandes	Descriptions
	Ouvrir la bibliothèque	Permet la sélection de l'une des bibliothèques disponibles, standards ou personnalisées.
	Fermer la bibliothèque	Ferme la bibliothèque sélectionnée.
	Nouvelle bibliothèque	Permet de créer une bibliothèque personnalisée.
	Sauvegarder la bibliothèque	Permet de sauvegarder les bibliothèques qu'il a personnalisées.
	Nouvelle catégorie	Permet de créer une catégorie de composants dans une bibliothèque personnalisée.
	Supprimer la catégorie	Permet de supprimer une catégorie de composants. Cette option s'applique uniquement aux catégories créées et non aux catégories standards fournies avec Automation Studio.
	Verrouiller/ Déverrouiller	Permet de verrouiller/déverrouiller une bibliothèque afin d'empêcher qu'elle ne soit supprimée par erreur.

6.12. Un exemple étudié



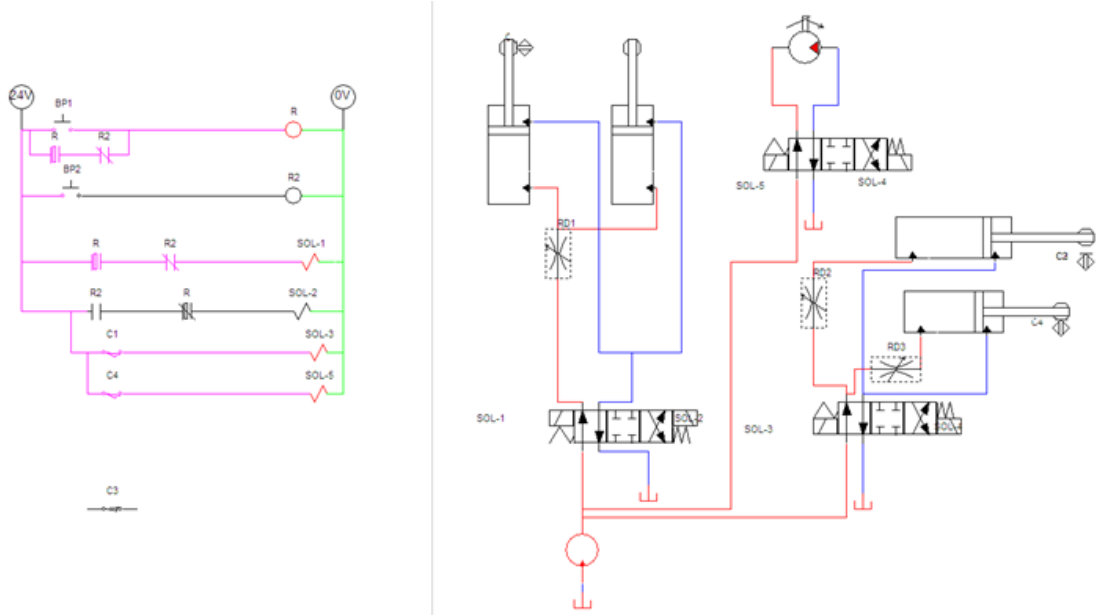


Fig.6.2: Simulation D'une Installation Hydraulique Industrielle par Automation Studio [17]

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A. Zerrou, Polycopié de Cours de Systèmes Hydrauliques et Pneumatiques, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef , 2016, Algérie.
- [2] R. BEN HAMOUDA, « Notions de mécanique des fluides », Centre de Publication Universitaire, Tunisie, 2008.
- [3] S. Yousfi, Polycopié de Cours Mécanique des Fluides I , Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2016, Algérie.
- [4] H. Laidoudi, Polycopié de Cours Installation hydraulique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2018, Algérie.
- [5] T . Cortier et V.Pateloup, Cours Hydraulique : De la mécanique des fluides à la transmission de Puissance, Enseignants à ENSIL et l' IUT de Limoges, France.
- [6]A. Debih, Polycopié de Cours de Systèmes Hydrauliques et Pneumatiques, Université de Mohammed Boudiaf de M'Sila , 2018, Algérie.
- [7] S. BOUAJILA, Cours : Transmission de puissances hydrauliques et pneumatiques, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul, Département de Maintenance Industrielle, 2006, Tunisie.
- [8] M. Messaoui, Support de cours systèmes hydrauliques, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Gafsa, 2006, Tunisie.
- [9] L. MARTIN, Circuits de transmissions hydrostatiques, École nationale supérieure d'hydraulique de Grenoble, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique, BM 6 050, date de publication : 10 janvier 2000. Grenoble, France.
- [10] D. Nikolaidis, Mécanisation Pneumatique, Initiation à la pneumatique, 2014, Giessen, Allemagne.
- [11] J.M. Bousquet, « Pneumatique et hydraulique, Caractéristiques et structures des circuits, 2009, France.
- [12] Hanzelet, Vérin simple effet pneumatique, M01-Modélisation des actions mécaniques, 3 février 2017, France.
- [13] J.J. Veux, Hydraulique industrielle, La Seyne Mer, 2000, France.
- [14] A. Parr, Hydraulics and Pneumatics A technician's and engineer's guide, Butterworth-Heinemann, Burlington, 2006 , USA

Références bibliographiques

- [15] M.W. Azizi, Cours Hydraulique et Pneumatique, Centre universitaire de Mila, 2018, Algérie
- [16] M. Chouchéne, Atelier de Technologie des Systèmes Hydrauliques, ISET Siliana, 2023, Tunisie
- [17] F. Toumi, Dimensionnement Et Simulation D'une Installation Hydraulique Industrielle, Université Badji Mokhtar d'Annaba, 2019