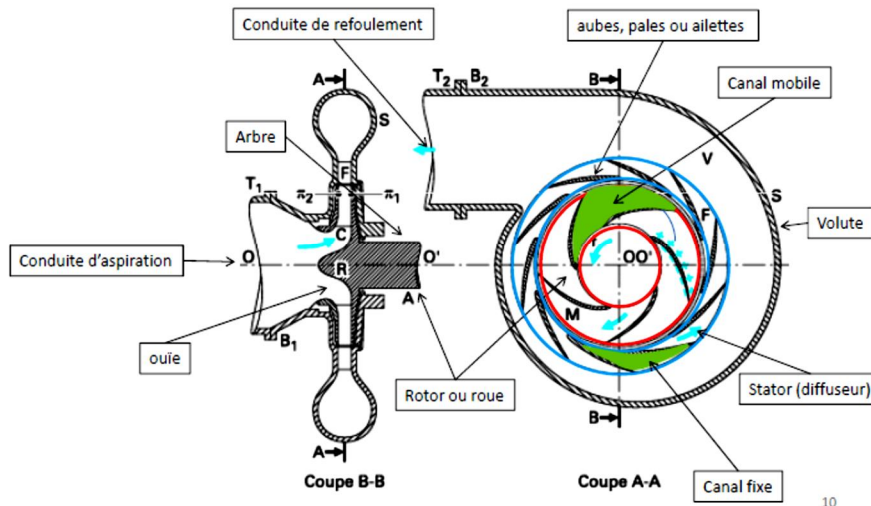


Systèmes hydrauliques et pneumatiques



Chapitre 1 : Introduction et rappels (2 semaines)

Chapitre 2 : Pompes et compresseurs (4 semaines)

Chapitre 3 : Les vérins (3 semaines)

Chapitre 4 : Canalisations hydrauliques (3 semaines)

Chapitre 5 : Exemples Pratiques : (3 semaines)

Référence:

[1]: Guide des automatismes, LOGICIEL D'HYDRAULIQUE, 2011.

[2]: Hydraulique, Département Génie Industriel et Maintenance, IUT de Sénart, Fontainebleau, France.

[3]: Guide de mécanique, sciences et technologies industrielles, JEAN-LOUIS FANCHON, NATHON, 1998.

[4]: www.mei-latecoere.com, Maintenance des Equipements Industriel du Lycée Latécoère d'ISTRES.

[5]: Ouvrage d'hydraulique industrielle, Jaen Jacques Veux, 2000.

[6]: ENGINEERING YOUR SUCCESS, Parker Hannifin Manufacturing Limited, 2012.

[7]: Pompes et moteurs, Louis MARTIN, BM 6 031 - 1.

[8]: Résumé de Théorie et Guide de travaux pratiques, Module 20 : Circuits hydrauliques.

[9]: Sciences Industrielles de l'Ingénieur, ANALYSE DES SYSTÈMES HYDRAULIQUES ET PNEUMATIQUES, Xavier PESSOLES.

I. Les fluides hydrauliques

1.1. Introduction

La mécanique des fluides est la branche de la mécanique qui étudie le comportement des fluides au repos ou en mouvement.

Ses résultats sont indispensables à la plupart des industries (aéronautique, automobile, hydraulique, chimie..). De la même manière que le sang; les veines et le coeur sont à l'origine de la vie, le transport et la circulation des fluides sont à l'origine de nombreux processus et de nombreuses réalisations.

Il existe deux familles principales de fluides : les liquides (y compris les poudres ou produits pulvérulents) et les gaz. Les liquides ont la propriété d'être incompressibles, alors que les gaz sont compressibles.

L'étude des fluides se divise en deux parties : l'étude des fluides compressibles et l'étude des fluides incompressibles, comprenant notamment l'hydraulique. **Figure1.1**

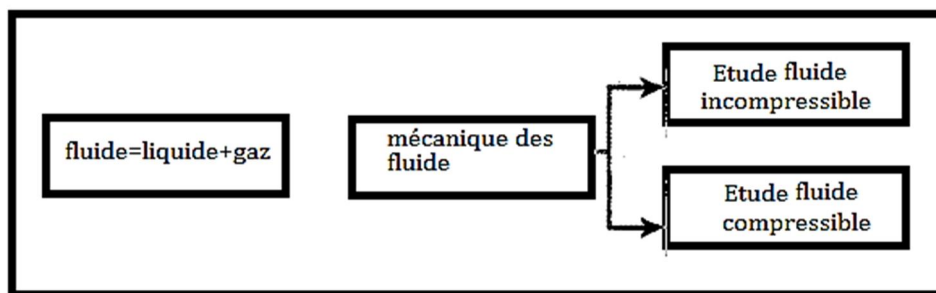


Figure1.1 Parties des fluides

1.2. Définition des 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...).

C'est pour ces différentes raisons que l'eau, pourtant économique, n'est pas utilisée :

- elle n'a pas de pouvoir de lubrification,
- elle facilite la corrosion,
- elle s'évapore au-delà de 100 °C,
- elle congèle à 0 °C.

Par contre, l'huile possède, à des degrés plus ou moins grands, des propriétés intéressantes.

Les fluides hydrauliques se divisent en deux grandes familles :

- les huiles minérales,
- les fluides difficilement inflammables.

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...). [1]

- **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]

1.3. Différents type de fluides hydrauliques:

Il existe 3 types de fluide :

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

Les huiles minérales sont de loin les plus utilisées dans les transmissions de puissances hydrauliques. Pour des cas spécifiques, on peut utiliser les 2 autres.

Les produits aqueux sont des liquides à base d'eau. L'huile de synthèse est composée d'une structure moléculaire unique.

1.3. 1. Produit 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.

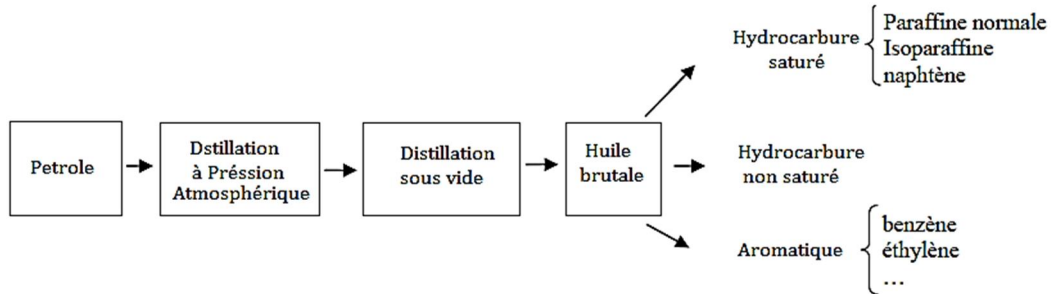
A noter : Le principal problème est l'évaporation de l'eau. Cela change les propriétés initiales du fluide, il faut donc vérifier régulièrement les proportions du mélange et rajouter de l'eau.

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

	Eau + glycol	Eau + huile
Plage de Temperature	-20 à + 60 °C	+5 à +60 °C
Masse Volumique(Kg/dm ³)	1.1	1
Prix	De 2 à 4 fois plus cher que l'huile minérale	
Applications	Fonderie. sidérurgie. mines. aéronautique	
Caractéristiques	Faible pouvoir lubrifiant Très faible viscosité Faible durée de vie	
Précautions d'emploi	Gonflement des organes en polyuréthane Utilisation de cartouches filtrantes adaptées Agressivité envers le cadmium, le zinc, le magnésium	

1.3. 2. Huile minérale

L'huile minérale est obtenue par transformation chimique du pétrole



La composition de l'huile minérale est une chaîne complexe comportant généralement :

- Une huile aromatique
- Un hydrocarbure saturé de type naphène
- Un hydrocarbure saturé de type paraffine normale

A noter: On ajoute très souvent des additifs pour répondre à des fonctions spécifiques à assurer par le fluide.

Pour éviter une usure prématurée du fluide hydraulique, on limite sa température en tout point du circuit à 60°C.

A retenir : Le fluide hydraulique est cancérigène ; si une blessure s'infecte à la suite d'un contact avec un fluide hydraulique, consulter un médecin. [2, 3].

1.3. 3. Huile de synthèse

	Esther phosphatique	Hydrocarbure chloré
Plage de température	-20 à + 150 °C	-20 à + 150 °C
Masse volumique (kg/dm ³)	1,2	1,4
Prix	De 2 à 4 fois plus cher que l'huile minérale	
Applications	Mines	
Caractéristiques	Masse volumique importante Agressivité envers les matériaux non ferreux (téflon)	
Précautions d'emploi	Utilisation de joint en viton Filtration lente Utiliser des tuyaux de grosses sections	

1.4. Caractéristiques des fluides hydrauliques

1.4.1 La Viscosité

C'est la résistance qu'offre le fluide à l'écoulement (au glissement laminaire de deux couches liquides adjacentes l'une par rapport à l'autre). Son contraire c'est la fluidité. L'huile s'écoulant difficilement est très visqueuse (grande viscosité) et inversement, l'huile s'écoulant facilement est peu visqueuse (petite viscosité).

Les unités principales définissant la viscosité sont :

- Le mm²/s pour la viscosité cinématique. Symbole ν (ν) encore appelée centistoke (cSt), le centième du Stoke.

- Le mPa.s pour la viscosité dynamique. Symbole μ (mu) encore appelée centipoise (cP), le centième du Poise.

I.4.2. Indice de Viscosité

La notion de viscosité est liée à la notion de température :

- plus la température est élevée, plus la viscosité est faible,
- plus la température est basse, plus la viscosité est élevée.

Elle est, en principe, mesurée à 40 °C et définie en classe allant de 10 à 150 cSt. Plus l'indice est élevé, plus la viscosité est stable.

I.4.3. Choix de la viscosité

Primordial dans le fonctionnement d'un système hydraulique. En cas de fluctuations de la température, même dans un très large intervalle, le fluide ne doit pas devenir ni plus consistant ni plus fluide, sinon les débits aux étranglements vont varier entraînant ainsi des variations de vitesse sur les récepteurs.

Une viscosité trop élevée accroît les frottements dans le fluide (frottement laminaire) d'où augmentation de la résistance à l'écoulement. Ceci entraîne une montée de la température du fluide, un accroissement des pertes de charges (D_p) donc, une augmentation de la puissance consommée.

Une viscosité trop faible accroît les fuites internes ou externes dans les appareils ce qui diminue le rendement et accélère l'usure des pièces mobiles.

I.4.4 La résistance aux agents oxydant

Le vieillissement des fluides est influencé par l'oxygène, la chaleur, la lumière et les phénomènes catalytiques.

I.4.5. Le point éclair ou point d'inflammabilité

C'est la température à laquelle il faut chauffer l'huile pour que les vapeurs produites s'enflamment aussitôt au contact d'une flamme sans que la combustion puisse continuer.

I.4.6. Le point de feu ou point de combustion

C'est la température à laquelle il faut chauffer l'huile pour que les vapeurs produites s'enflamment au contact d'une flamme et demeurent allumées.

I.4.7 Le point de figeage ou point d'écoulement

C'est la température à laquelle le fluide refroidi contenu dans une éprouvette inclinée ne coule plus.

I.4.8 Le point d'aniline

Caractérise le pouvoir solvant du fluide et son comportement vis à vis des joints et tuyauteries en élastomère.

I.4.9 Le pouvoir anti émulsion

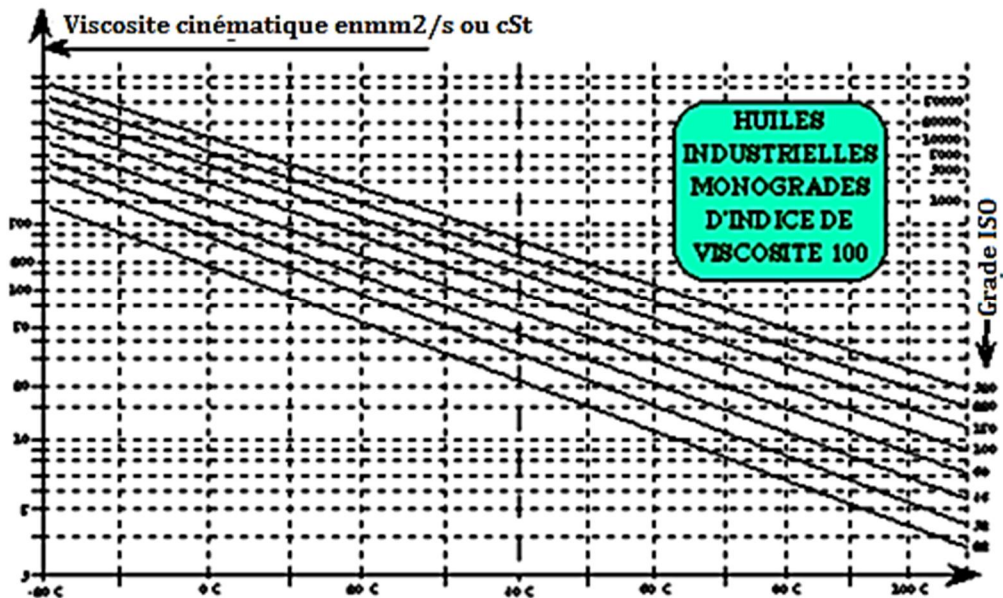
Aptitude de l'huile à se séparer rapidement de l'eau éventuellement introduite dans le circuit.

I.4.10 La résistance à la formation de mousse

Évite la formation de bulle d'air provenant de joints ou de raccords non étanches ou d'un niveau trop bas dans le réservoir (l'air ou la mousse sont compressibles). [4].

I.5. Paramètres physiques influant sur la viscosité

- **La température** : l'augmentation de la température d'une huile a pour effet de diminuer sa viscosité (et inversement). La valeur de cette variation peut être donnée par des abaques (exemple ci-dessous) ou par l'indice de viscosité.



- **La pression** : l'augmentation de la pression d'une huile a pour effet d'augmenter sa viscosité. Par exemple, la viscosité d'une huile industrielle courante est déjà doublée à 350 bar ! On comprend l'importance de ce phénomène quand on pense que la pression dans les circuits hydrauliques dépasse parfois cette valeur. L'expression ci-dessous donne la viscosité " ν " à la pression " p " (en bars) par rapport à la viscosité à pression atmosphérique (ν_0). [5].

$$\nu = \nu_0 \cdot e^{a \cdot p} \text{ avec } a = 0,002 \text{ pour la plupart des huiles minérales}$$

I.6. Types d'écoulements, nombre de Reynolds:

C'est la façon dont s'écoule un fluide, on distingue deux types d'écoulements :

- Le type laminaire pour lequel l'écoulement du fluide est "calme" ; les lignes de courant (trajectoires des particules) restent stables et parallèles entre elles.
- Le type turbulent pour lequel l'écoulement est instable et aléatoire. Il n'y a pas de lignes de courant (tourbillons, remous ...).

Le régime turbulent se caractérise par une perte énergétique plus grande et une émission sonore importante (bruit dans les tuyauteries par exemple).

Le passage d'un type à l'autre se fait de façon instable et imprévisible. On définit un nombre de Reynolds permettant de donner approximativement la "frontière" entre ces deux types d'écoulement.

Nombre de Reynolds : $R = V \cdot Dh / \nu$ (nombre sans dimension)

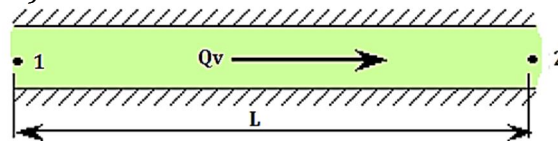
V = vitesse moyenne du fluide, ν = viscosité cinématique du fluide, Dh = diamètre hydraulique intérieur de la conduite.

Pour un tube hydrauliquement lisse on admet que si $R < 2000$ alors l'écoulement est de type laminaire et si $R > 2300$ alors l'écoulement est de type turbulent (la frontière $2000 < R < 2300$ est incertaine et caractérise l'apparition de l'écoulement turbulent).

On remarque alors que l'apparition du type turbulent est favorisée par l'augmentation de la vitesse ou la diminution de la viscosité. [5].

I.7. Pertes de charges dans une conduite :

La viscosité d'un fluide a pour effet une perte de pression sur le trajet de 1 vers 2 dans une conduite (\emptyset constant).



$$P_1 = P_2 + \Delta P_t \text{ ou } P_1 = P_2 + \Delta P_{tu} \cdot L$$

On exprime le rapport entre les pressions en 1 et en 2 par l'expression suivante:

$$P_1 = P_2 + \Delta P_t \text{ ou } P_1 = P_2 + \Delta P_{tu} \cdot L$$

ΔP_t s'appelle la perte de pression totale du fluide sur la distance 1-2 (mais on peut exprimer ΔP_{tu} comme perte de pression par unité de longueur).

Le terme perte de charge correspond à la même chose, mais elle est exprimée en hauteur de liquide.

Elle est surtout utilisée en adduction d'eau : perte de charge = $\Delta H_t = \Delta P_t / (\rho \cdot g)$.

Dans le langage technique courant, on confond les deux notions en parlant le plus souvent de "pertes de charges", quelle que soit l'unité. C'est ce que l'on fera par la suite dans cet ouvrage.

On peut exprimer la perte de charge unitaire dans une conduite à l'aide de deux expressions: [5].

Écoulement laminaire : $\Delta P_{tu} = (\rho / 2) \cdot (V^2 / D_h) \cdot (64 / R)$
 (Formule de Hagen-Poiseuille pour tubes hydrauliquement lisses)

Écoulement turbulent : $\Delta P_{tu} = (\rho / 2) \cdot (V^2 / D_h) \cdot (100 \cdot R)^{-0,25}$
 (Formule de **Blasius** pour tubes hydrauliquement lisses)

Mais le plus souvent, la perte de charge se détermine, dans les conduites, à l'aide d'abaques (ou nomogrammes). Les pertes de charges dans les appareils hydrauliques sont indiquées par les constructeurs (en fonction du débit, ou à un débit nominal).

La puissance hydraulique "perdue" en chaleur par une perte de charge vaut :

$$P_Q = \Delta p_t \cdot Q_v$$

I.7. La filtration

I.7.1. Définition:

La filtration consiste à faire passer une suspension à travers un milieu poreux pour y retenir les particules solides tout en laissant passer la fraction liquide. Les forces utilisées pour entraîner le liquide à travers le solide sont produites, soit par pression positive en amont du filtre, soit par création d'un vide en aval.

I.7.2. Air comprimé- La 4^{eme} source d'énergie

L'air comprimé est une source d'énergie sûre et fiable, largement utilisée dans le domaine industriel. Considéré comme étant la 4^{eme} source d'énergie, environ 90 % de toutes les entreprises utilisent de l'air comprimé à un titre ou à un autre. Contrairement au gaz, à l'eau et à l'électricité qui sont acheminés sur place par une entreprise de distribution, selon de strictes tolérances et spécifications de qualité, l'air comprimé est généré sur place par l'utilisateur. La qualité de l'air comprimé et le coût de production de cette importante source d'énergie relèvent donc de la responsabilité de l'utilisateur. L'air comprimé joue un rôle essentiel pour les procédés de fabrication. Que l'air comprimé vienne en contact direct avec le produit ou qu'il soit utilisé pour automatiser un processus, fournir la puissance motrice, le conditionnement, voire pour produire d'autres gaz sur le site, il est indispensable de disposer d'une alimentation en air comprimé propre, sèche et fiable pour garantir une production efficace et rentable.

I.7.3. Sources et types de contamination dans un système d'air comprimé

La connaissance des sources de contamination de l'air comprimé et des types de contaminants qui doivent être réduits ou éliminés est un élément indispensable à la bonne planification d'un système d'air comprimé efficace. Dans un système d'air comprimé type, il existe dix contaminants majeurs qui doivent être éliminés ou réduits pour protéger le consommateur et faire en sorte que l'installation de production soit sûre et économique. Ces contaminants proviennent de quatre sources différentes.

I.7.3.1. Première source de contamination, Air atmosphérique

Les compresseurs aspirent d'énormes quantités d'air atmosphérique qui remplissent continuellement le système de contaminants invisibles tels que :

- **Vapeur d'eau**
- **Impuretés atmosphériques**
- **Vapeur d'huile**
- **Micro-organismes**

I.7.3.2. Deuxième source de contamination, Compresseur d'air

Outre le fait qu'il aspire des contaminants présents dans l'atmosphère, les compresseurs lubrifiés à l'huile apportent une contamination sous la forme de petites quantités d'huile issues du processus de compression. L'huile se présente sous la forme suivante :

- **Huile liquide**
- **Aérosols huileux**
- **Vapeur d'huile**

Suite à la compression, la présence du refroidisseur d'air condense la vapeur d'eau et l'introduit dans l'air comprimé sous la forme suivante :

- **Eau liquide**
- **Aérosols aqueux**

I.7.3.3. Troisième Sources de contamination, Dispositifs de stockage d'air comprimé et conduites de distribution

L'air qui sort du compresseur contient désormais huit contaminants différents. Le réservoir d'air (dispositif de stockage) et les conduites du système qui distribuent l'air comprimé dans l'installation peuvent emmagasiner de grandes quantités de cette contamination. De plus, ces éléments refroidissent l'air comprimé saturé, chaud, ce qui entraîne sa condensation à grande échelle, ajoutant davantage d'eau liquide dans le système et favorisant la corrosion et la croissance microbologique :

- **Rouille**
- **Tartre**

I.7.4. Types de filtres à air

I.7.4. 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.

I.7.4. 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 %.

I.7.4. 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. [6].

Chapitre II. Pompes et compresseurs

II.1. Définition

Par définition, une pompe est un dispositif permettant d'augmenter la pression et/ou le débit d'un liquide. Lorsque le fluide transporté est un gaz, il est plus correct de parler de ventilateur, de compresseur ou de soufflante.

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.

On distingue deux grandes catégories de pompes :

- **Les pompes volumétriques**

Ce sont les pompes à piston, à diaphragme, à noyau plongeur...et les pompes rotatives telles les pompes à vis, à engrenages, à palettes, péristaltiques....Lorsque le fluide véhiculé est un gaz, ces pompes sont appelées « COMPRESSEURS».

- **Les turbo-pompes**

Elles sont toutes rotatives. Ce sont les pompes centrifuge, à hélice, hélico-centrifuge. Les domaines d'utilisation de ces deux grandes catégories sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Lorsque le fluide véhiculé est un gaz, ces pompes sont appelées « COMPRESSEURS», les compresseurs servent à transporter et à comprimer des gaz. Selon la pression produite, on fait la distinction entre:

- ventilateurs $p < 1,1$ bar
- soufflantes $p = 1,1 - 3,0$ bar
- compresseurs $p > 3,0$ bar

II.2. Les pompes volumétriques

II.2.1.Principe et caractéristiques générales

Un volume V_0 de fluide emprisonné dans un espace donné (le récipient de départ) est contraint à se déplacer de l'entrée vers la sortie de la pompe par un système mécanique. Ce volume prélevé dans la conduite d'aspiration engendre une dépression qui fait avancer le fluide vers la pompe par aspiration. Cet effet confère aux pompes volumétriques d'être autoamorçante.

Dans le cas des liquides, la pression d'aspiration ne doit pas s'abaisser en-dessous de la pression de vapeur saturante sous peine de voir le liquide entrer en ébullition. Ce phénomène peut d'ailleurs intervenir sur n'importe quelle machine.

On obtient un débit théorique moyen proportionnel à la vitesse de rotation.

Par contre, si le volume aspiré ne peut s'évacuer dans la canalisation de sortie (vanne fermée, ou canalisation obstruée) l'augmentation de pression aboutirait soit à l'éclatement de la conduite, soit au blocage du moteur d'entraînement de la pompe. C'est pourquoi une soupape de sûreté doit être impérativement montée à la sortie de la pompe.

II.2.2.Pompe à piston

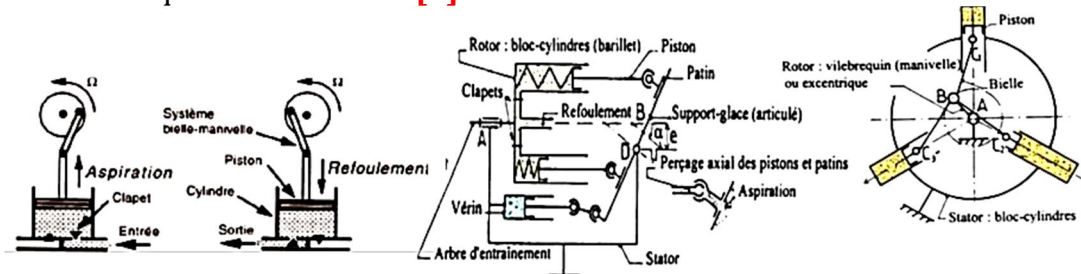
Ces machines ont un fonctionnement alternatif et nécessitent un jeu de soupapes ou de clapets pour obtenir tantôt l'aspiration du fluide, tantôt le refoulement.

Le principal défaut de cette machine est de donner un débit pulsé et par suite des à-coups de pression, qu'on peut atténuer grâce à un pot anti-bélier sur la conduite de refoulement.

On peut aussi concevoir une machine mieux équilibrée par association de plusieurs pistons travaillant avec un déphasage judicieux...

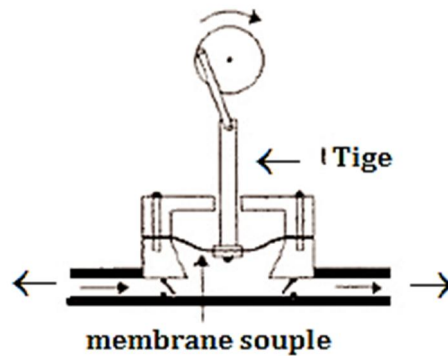
Les pompes à piston sont robustes et ont de bons rendements au-dessus d'une certaine taille. Elles peuvent être utilisées comme pompes doseuses, on les trouve d'ailleurs assez souvent avec des pistons à course réglables.

L'étanchéité de ce type de pompes ne leur permet pas de travailler avec des fluides possédant des particules solides. [5].



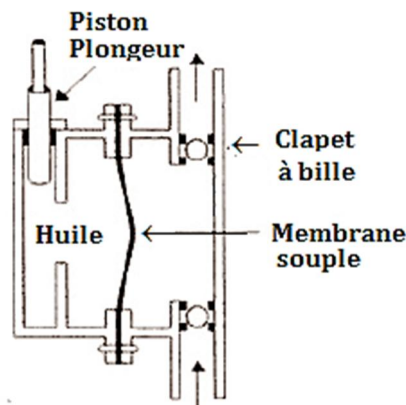
II.2.3. Pompe à diaphragme

Dans les pompes à diaphragme, appelées aussi pompes à membrane, le fluide n'entre pas en contact avec les éléments mobiles de la machine. Ces pompes sont donc bien adaptées au pompage des liquides corrosifs ou/et chargés de particules solides.



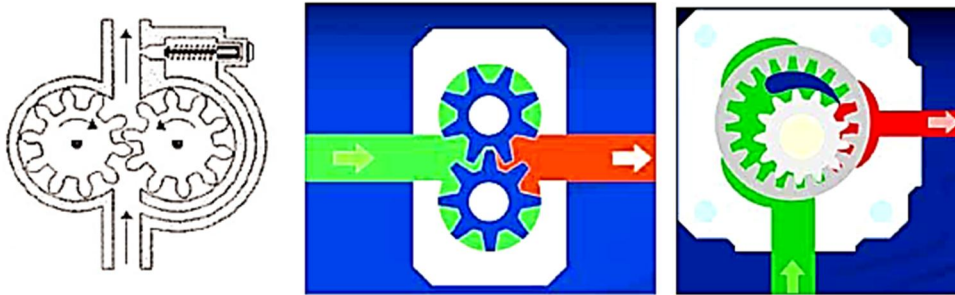
II.2.4. Pompe à piston plongeur

Cette machine est un compromis entre la pompe à piston et la pompe à membrane. Le fluide n'est pas isolé du piston, mais les frottements de celui-ci sont faibles car limités au niveau du presse-étoupe qui assure l'étanchéité. Ces pompes sont adaptées à la production de hautes pressions. [5].



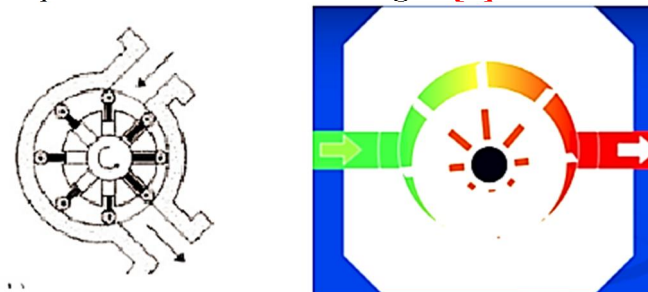
II.2.5.Pompe à engrenage

Deux pignons tournent en sens inverse dans un carter. Le fluide situé entre les dents et la paroi du carter est contraint d'avancer au cours de la rotation, tandis qu'au centre, le contact permanent entre les deux pignons empêche le retour du fluide vers l'amont malgré la différence de pression et le déplacement des dents qui se fait en direction de l'entrée. Ces pompes peuvent fournir un débit de l'ordre de 80 à 100 m³/h et des pressions maximales de l'ordre de 10 à 15 bar. [5].



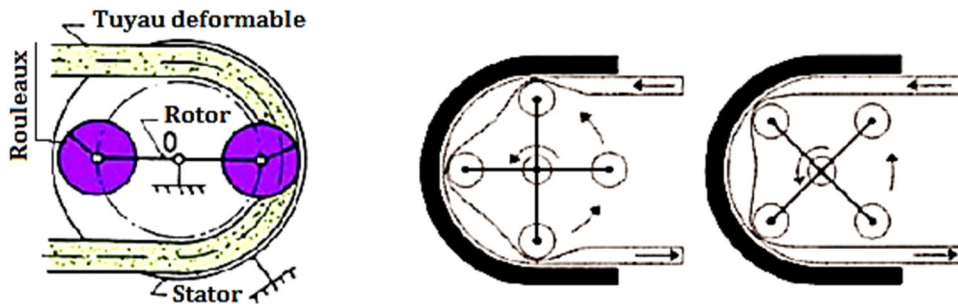
II.2.6.Pompe à palettes rigides

C'est la classique « pompe à vide ». Un rotor excentré tourne dans un cylindre fixe. Sur le rotor, des palettes, libres de se mouvoir radialement, et poussées par des ressorts s'appliquent sur la face intérieure du cylindre fixe. Les espaces ainsi délimités varient au cours de la rotation et créent les dépressions nécessaires au fonctionnement d'une pompe volumétrique. Ces pompes conviennent bien aux gaz. [5].



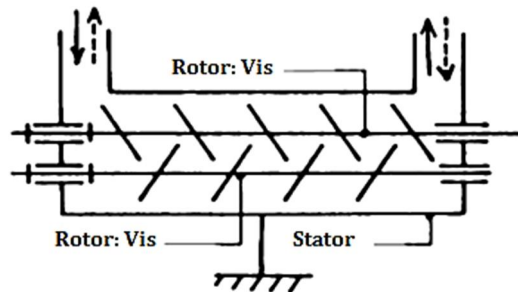
II.2.7.Pompe péristaltiques

Son principe de fonctionnement est plutôt simple : un tuyau souple est écrasé par des galets, le fluide est alors repoussé sans turbulence, ni cisaillement. Il n'y a pas non plus de contact entre le fluide et les pompes mécaniques. Son débit est limité à des valeurs de l'ordre de 60 à 80 m³/h. Par contre, le rendement est de 100 % et elle est la pompe doseuse par excellence. [5].



II.2.7. Pompes à vis

Deux vis dont l'une est motrice, tournent en sens inverse, créant ainsi d'un côté une zone d'aspiration et de l'autre une zone de refoulement. Cette pompe existe aussi avec trois vis dont une est centrale. [5].



II.3. Les moteurs hydrauliques et pneumatiques:

II.3.1. Définition :

Dans ce type d'actionneur, l'énergie hydraulique fournie par un fluide sous pression est transformée en énergie mécanique. Il en résulte un mouvement de rotation sur l'arbre de sortie.

Les moteurs hydrauliques présentent deux caractéristiques : le couple moteur et la vitesse de rotation. [5].

Remarque :

Ces moteurs entraînent des systèmes mécaniques. Si le couple résistant devient trop important, la pression monte. Quand elle atteint la valeur de réglage du limiteur de pression, le débit retourne au réservoir.

Leur avantage c'est qu'ils développent une grande puissance pour un encombrement réduit. [5].

II.3.2. Classification des moteurs hydrauliques

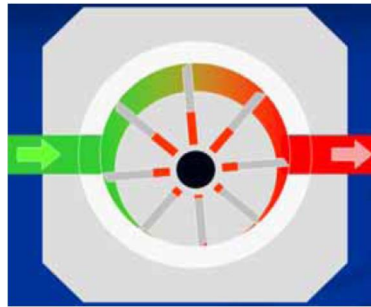
Les moteurs sont classés en deux familles :

- Les moteurs rapides (les moteurs à palettes, les moteurs à engrenages, les moteurs à pistons axiaux, et les moteurs à pistons radiaux)
- Les moteurs lents (cylindrée élevée)

II.3.2. 1. Moteur à palettes:

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

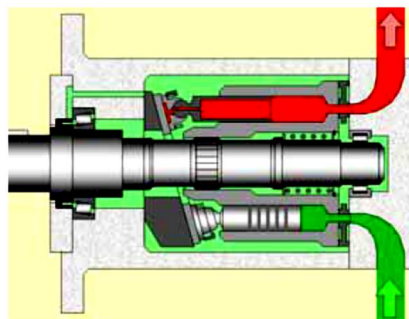
- **Avantages** : réalisation simple
- **Inconvénients** : puissance transmise relativement faible.



II.3.2. 2. Moteur à pistons axiaux :

Les pistons en communication avec la haute pression se déplacent en tournant et par une liaison rotule avec le tourillon obligent ce dernier à tourner. $C_y = 2r.tan\alpha.n.s$

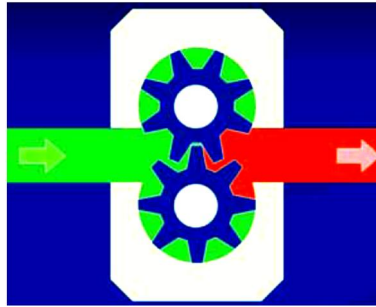
- **Avantages** : couple très important, possibilité de varier la cylindrée, vitesse importante.
- **Inconvénient**: coûteux.



II.3.2. 3. Moteur à engrenage :

Même conception que la pompe à engrenage, la pression du fluide entraîne en rotation les roues dont l'une est motrice. [5].

- **Avantages** : encombrement très réduit, économique.
- **Inconvénient**: rendement limité.



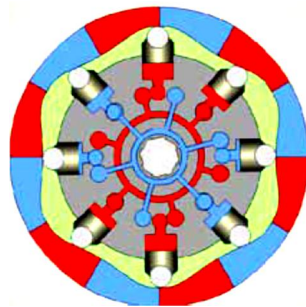
II.3.2. 4. Moteur à pistons radiaux :

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.

- **Avantages** : Couple très important.

Inconvénients : vitesse faible, encombrant, coûteux, problèmes d'étanchéité pour la distribution [6].

-



Chapitre III. Les vérins

III.1. Définition

Un vérin est l'élément récepteur de l'énergie dans un circuit hydraulique. Il permet de développer un mouvement rectiligne avec un effort très important avec une vitesse très précise.

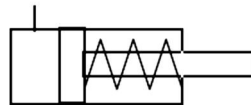


III.2. vérin simple effet à rappel

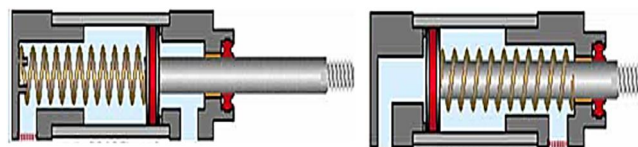
C'est un récepteur linéaire dont le piston ne reçoit le débit en provenance de la pompe que sur une seule de ses faces. Une course travail, la course retour est réalisée par un ressort de rappel ou par une charge extérieure quelconque.

- **Avantages** : économique et consommation de fluide réduite.
- **Inconvénients** : encombrant, course limité.
- **Utilisation** : travaux simples (serrage, éjection, levage...)

Symbole:



Schema:

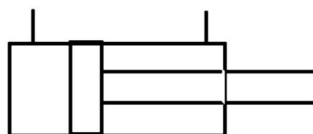


III.3. Vérin double effets

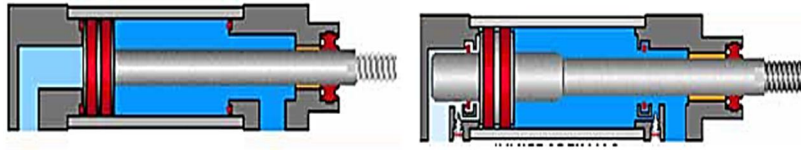
C'est un récepteur linéaire dont le piston est en mesure de recevoir le débit en provenance de la pompe sur chacune de ses faces.

- **Inconvénients** : plus coûteux.
- **Utilisation** : grand nombre d'applications industriels

Symbole:

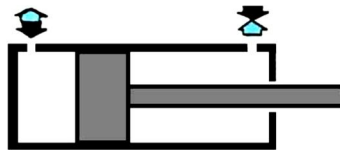


Schema:



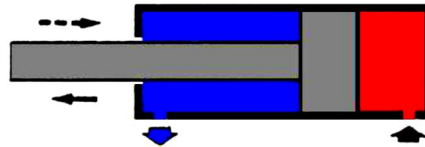
III.3.1. Vérin double effets, simple tige, non équilibré

Les deux surfaces réceptrices du piston étant inégales, les forces développées ainsi que les vitesses, en rentrée et sortie de tige, sont différentes.



III.3.2. Vérin double effets différentiel

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



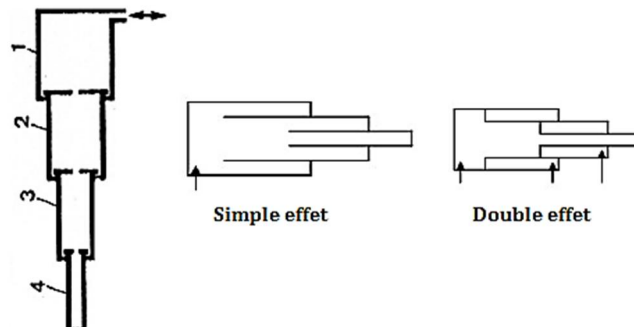
III.3.3. Vérin double effets, double tige traversante équilibrée

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.



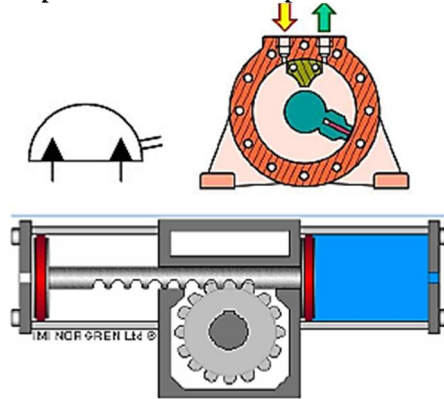
III.3.3. Vérin télescopique

Utilisés lorsque la place disponible est réduite et la course utile importante. Constitués par autant de pistons plongeurs de longueurs variables, en fonction de la course totale nécessaire. Les pistons plongeurs sont creux.



III.3.3. Le 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.



III.4. Raideur d'un vérin, expression de la raideur

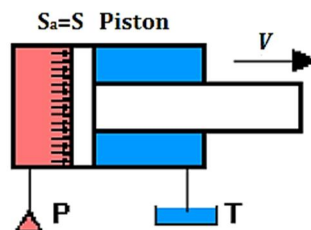
III.4. 1. Raideur (débits et sections): Il existe trois montages distincts des vérins à simple tige:

- montage normal tige sortante
- montage normal tige rentrante
- montage différentiel (tige sortante)

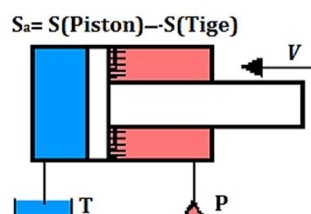
On indique pour chacun de ces montages une section active S_a , qui caractérise la relation section / débit Qv . Cette relation s'écrit:

$$Qv = \text{Vitesse (tige+piston)} \times S_a$$

a) Montage normal tige sortante:



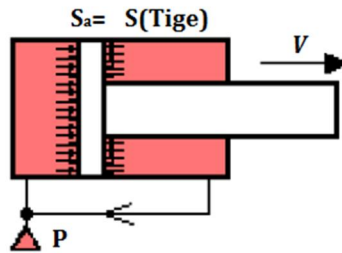
b) Montage normal tige rentrante:



c) Montage différentiel (tige sortante):

Ce montage consiste à mettre sous pression les deux chambres simultanément. La chambre côté tige rejetera donc son huile dans l'autre chambre, ce débit s'ajoutant à celui d'alimentation. La vitesse de la tige sera donc plus importante que dans le montage normal.

Il y a toute une gamme de vérins pour lesquels les sections de tige sont la moitié des sections de pistons (en surface), ce qui permet d'obtenir une vitesse de sortie de tige identique à celle de rentrée grâce à ce montage en différentiel.



III.4. 2. Raideur (efforts et pressions):

Si on écrit l'équilibre de l'ensemble mobile (Piston+Tige), on obtient la relation suivante, la force F est algébrique en fonction du sens positif défini, de même que les actions des pressions dans les deux chambres:

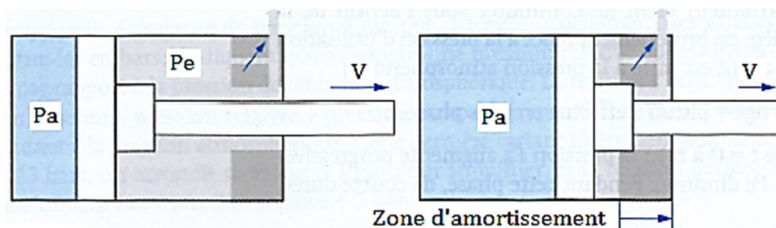
$$P_1 \cdot (S \text{ Piston }) - P_2 \cdot (S \text{ Piston } - S \text{ Tige }) + F = 0$$

III.5. amortissement de fin de course

Ce qui précède permet de constater que, dans le cas où le vérin travaille sur la totalité de sa course, un choc important a lieu en fin de course. En utilisation l'ensemble des éléments mobile liés à sa tige. Pour ce faire les vérins sont dotés de dispositifs d'amortissement de deux types :

- amortissement élastique intégré, il s'agit de bagues élastomères qui ne peuvent absorber qu'une énergie faible ;
- amortissement pneumatique intégré, ces derniers, plus efficaces, sont réglables par vis.

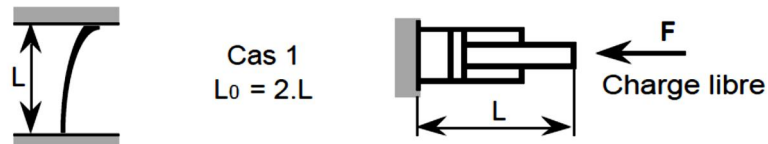
Le principe d'un amortisseur intégré est le suivant : tant que le piston est éloigné de la zone d'amortissement, l'échappement s'effectue normalement. Dès que le piston rentre dans la zone d'amortissement, il vient obturer le cylindre d'échappement : l'air doit alors passer par la restriction réglable ce qui augmente le contre pression P_e et diminue la vitesse. [9].



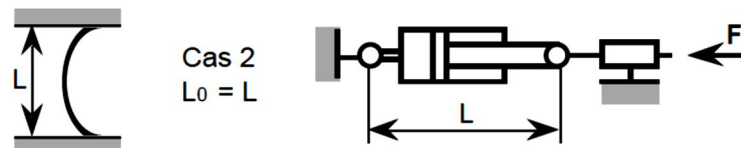
III.6. Calcul des tiges de vérins au flambage: [5].

Le flambage (ou flambement) est un phénomène de rupture brutal qui survient lorsqu'une poutre élancée est soumise à de la compression. Les tiges de vérins se déterminent par la formule d'Euler. Pour les différents cas de montage, on définit la longueur libre d'Euler L_0 (dans tous les cas, la longueur L va du point d'attache du corps de vérin au point d'attache de la tige).

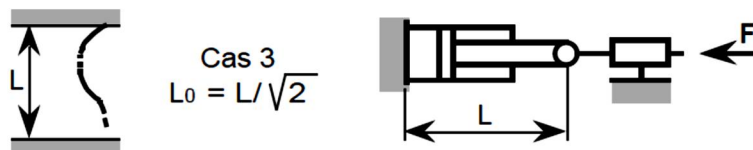
Cas N°1: corps de vérin encastré, l'autre extrémité libre:



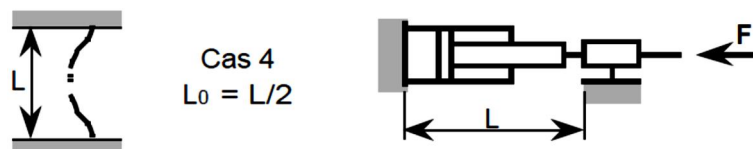
Cas N°2: deux extrémités articulées restant sur un même axe:



Cas N°3: une extrémité encastrée, l'autre articulée restant sur un même axe:



Cas N°4: deux extrémités encastrées, restant sur le même axe:



La formule d'Euler qui suit, utilisée pour les tiges de vérins, est bien sûr applicable à toutes les poutres subissant ce type de contraintes. Cette formule donne la charge maximale en service en fonction des autres paramètres.

Attention : il faut considérer la longueur L avec la tige entièrement sortie.

$$F \leq (\pi^2 \cdot E \cdot I) / (S \cdot L_0^2)$$

Avec: E = module d'élasticité longitudinal ($\gg 20\,000$ daN/mm² pour l'acier).

I = moment d'inertie ou moment quadratique en flexion ($I = p \cdot d^4 / 64$).

d = \varnothing de la tige.

S = coefficient de sécurité (valeur usuelle = 3,5 pour les vérins).

L_0 = longueur libre de flambage (voir cas de figures ci-dessus).

La longueur libre de flambage est parfois à modifier en fonction de la tête de vérin et du guidage: consulter alors le catalogue du constructeur.

IV. Canalisation

IV.1. Definition

Les canalisations, qu'elles soient rigides ou souples, assurent le transport de l'énergie hydraulique délivrée par la pompe vers le ou les récepteurs. On peut comparer les canalisations d'un circuit hydraulique aux fils ou aux câbles d'une installation électrique.

IV.2. Symboles et choix de canalisation

IV.2.1. Symboles

Sur la fig. IV.1 sont montrés les différents symboles utilisés pour la représentation des canalisations et leurs raccords.

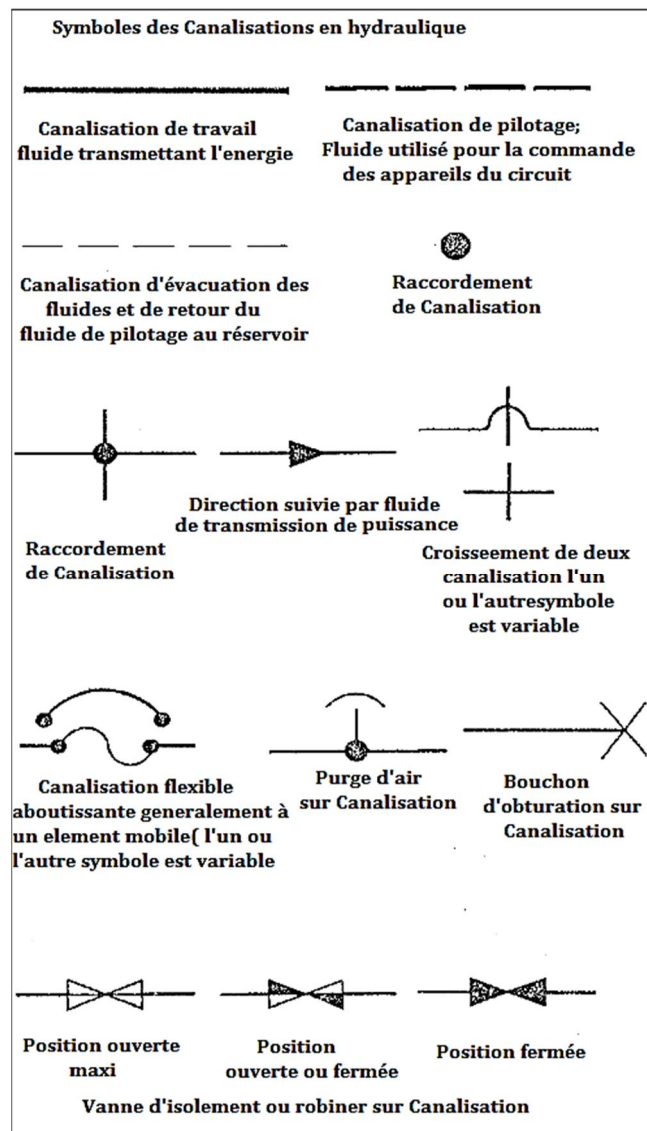


Fig. IV.1 IV.

2.2. Choix de canalisation

La détermination du choix d'une canalisation est fonction des deux paramètres suivants

- Débit d'écoulement dans l'unité de temps ;
- Pression supportée par les parois.

Qu'il s'agisse d'une canalisation rigide ou souple, le débit définit la section de la canalisation. Pour un même débit, cette section peut être différente en fonction des vitesses de fluide désirées (alimentation, lignes de pression, conduites de retour). Quand il est question de canalisations rigides, la pression fixe l'épaisseur de la paroi de la canalisation. Lorsqu'il s'agit de canalisations souples, c'est le plus souvent le nombre de nappes métalliques que comporte ce conduit qui est pris en considération. En pratique souvent pour le choix des dimensions des canalisations on utilise des abaques (fig. IV.2).

IV.3. Types de canalisations

IV.3.1. 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.

IV.3.2. Canalisations souples

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 :

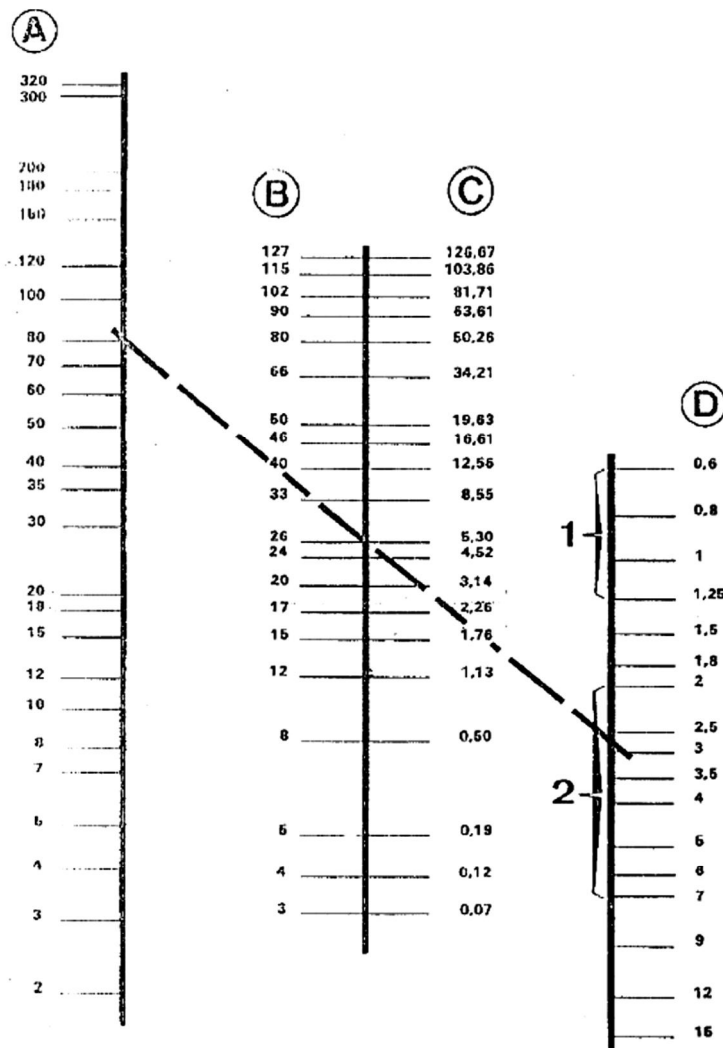
- de véhiculer un fluide entre un point fixe et un autre mobile ;
- d'absorber les vibrations.

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. [7].



Abaque des vitesses d'écoulement des fluides de transmission de puissance dans les circuits hydrauliques
 A. Débits en litres par minute - B: \varnothing interne réel de la canalisation en mm - C. Section de la canalisation en cm^2 - D. Vitesse en mètres par seconde - 1. Vitesses recommandées dans la canalisation d'alimentation - 2. Vitesses recommandées dans la canalisation de refoulement - Exemple : pour un écoulement de 80 l/min et une vitesse de 3 m/s, choisir une canalisation de 26 mm de diamètre intérieur correspondant à 1 "

Fig. IV.2

IV.4. Appareils des Contrôle

IV.4.1. Appareils de contrôle de la pression

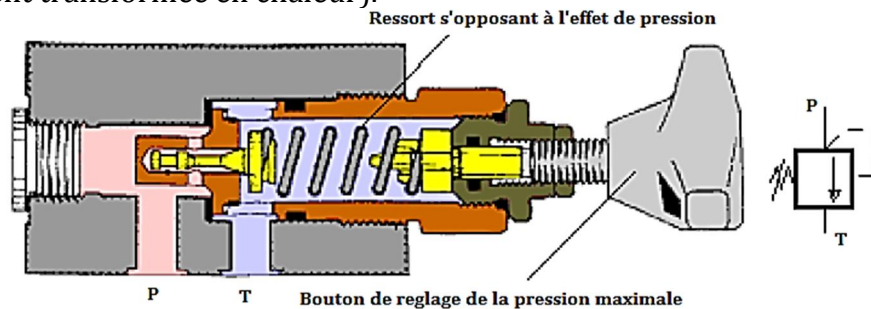
IV.4.1.1. Limiteurs de pression:

Fonction principale: assurer la sécurité d'un circuit ou d'une partie de circuit en limitant la pression à un maximum. Cette *pression est maintenue*.

Fonctions auxiliaires: assurer la division de débit lors de contrôle du débit ou créer une perte charge pour freinage.

L'appareil est installé en *dérivation* entre la ligne de circuit et la basse pression (la bêche par exemple). De par sa conception, cet appareil provoque une perte de charge qui est fonction du débit à évacuer.

L'appareil, lorsqu'il s'ouvre et laisse passer le fluide, dégrade la totalité de la puissance hydraulique et la transforme en chaleur. Il va de soi que cette ouverture ne doit pas durer longtemps lorsque la puissance déchargée est importante (cette puissance est intégralement transformée en chaleur).

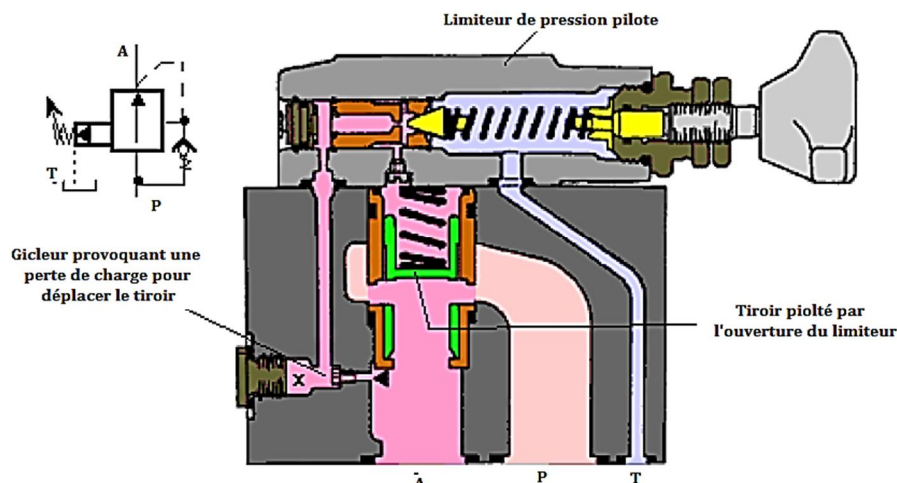


IV.4.1.2. Réducteurs de pression:

Fonction principale: 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).

Le terme *détendeur* est également utilisé pour cet appareil (terme malheureusement employé à désigner d'autres appareils n'ayant pas les mêmes caractéristiques, en froid et climatisation par exemple).

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



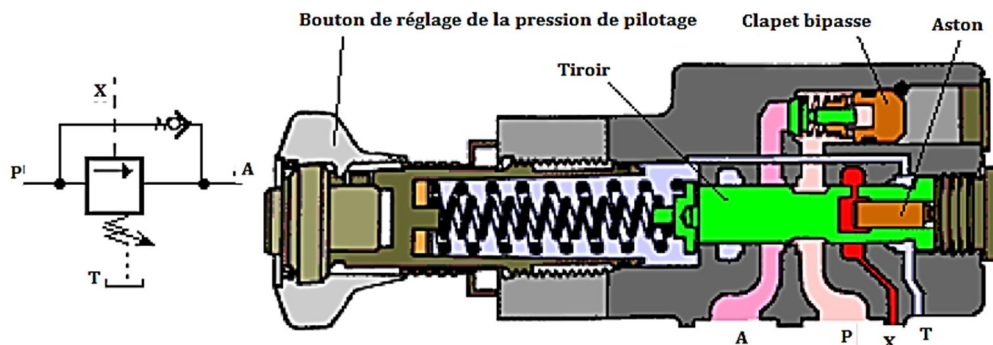
IV.4.1.3. Valves de séquence:

Fonction principale: laisser passer le fluide hydraulique sur une ligne $P \rightarrow A$ lorsque la pression de commande X a atteint sa valeur de tarage.

La valve de séquence est installée en *ligne*, et ne dégrade aucune énergie lorsqu'elle est "ouverte en grand". Sa phase d'ouverture montre un comportement complexe (voir courbe de réponse ci-après), mais la fonction "valve de séquence" se trouve en dehors de cette phase.

Attention, cet appareil a un schéma qui ressemble dangereusement à celui du limiteur de pression ! De plus, elle est également employée à d'autres fonctions comme on le verra plus tard (le nom donné doit alors être celui de la fonction).

Elle doit être impérativement raccordée à la pression atmosphérique (drain) pour pouvoir fonctionner. Cet appareil ne fonctionnant à l'ouverture que dans un seul sens, il sera systématiquement doublé d'un clapet bipasse pour le sens A → P.

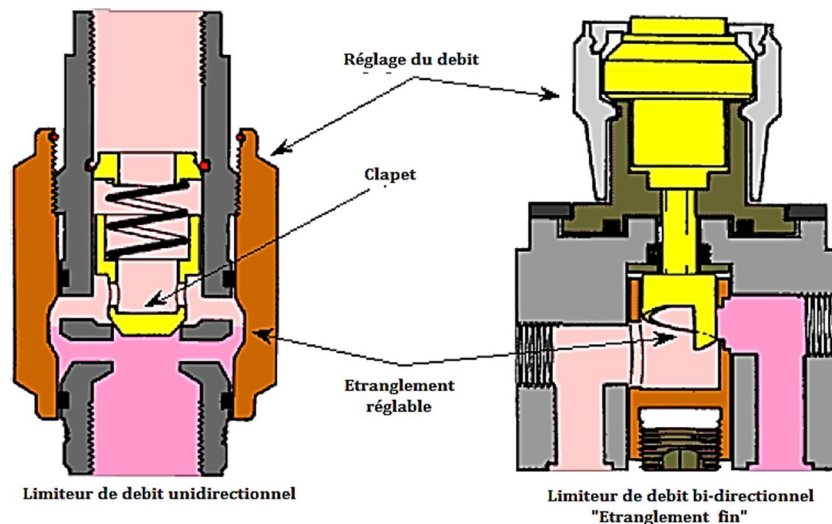


IV.4.2. Appareils de contrôle du débit

Fonction principale: 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.*

IV.4.2. 1. Limiteurs de débit:

Ce sont de simples étranglements sur une conduite. Leur conception est simple et leur prix faible. La plupart sont unidirectionnels grâce à un clapet bipasse incorporé.



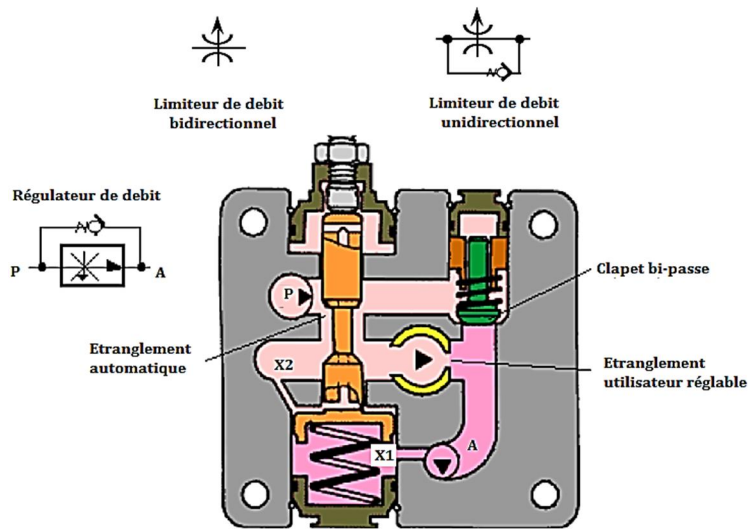
IV.4.2. 2. Régulateurs de débit:

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.



IV.5.Distributeurs

Le distributeur permet au fluide d'être dirigé dans différentes directions, sans pour autant lui imposer de longues distances de détournement. En langage technique, le distributeur est un composant qui assure l'ouverture et la fermeture d'une ou plusieurs voies d'écoulement. Suivant son affectation, le distributeur peut être à deux, trois, quatre ou à une multitude d'orifices (ceux-ci déterminent le nombre de voies) et à deux, trois, quatre ou plus de positions. Le plus simple, un robinet tout ou rien, est un distributeur à deux orifices (une voie d'écoulement) et deux positions (ouvert ou fermé). Dans la position ouverte les deux orifices sont en communication: l'écoulement du fluide se produit, dans la seconde position fermée les orifices sont isolés et le fluide ne peut plus s'écouler. Un distributeur peut être à boisseau (rotatif), à tiroir (alternatif coulissante, à sièges, à billes (dernier système d'avant garde dit: valves logistor). La commande des distributeurs à tiroir est souvent musculaire. Cependant on rencontre de plus en plus des commandes électromagnétiques, hydrauliques, pneumatiques ou encore l'association des combinaisons de ces différents systèmes. [8].

Un distributeur hydraulique est toujours défini par son nombre d'orifices et son nombre de positions (comme ceux pneumatiques). La pression nominale ainsi que celle de pointe qu'il peut supporter doit être indiquée par le constructeur.

Le nombre de positions caractérise le nombre d'emplacements utiles susceptibles d'être pris par le tiroir, le boisseau, etc. du distributeur principal ou par le tiroir pilote.

Chaque position correspond à une fonction bien définie. En symbolisation, chacune des positions est représentée par une case carrée. Dans un croquis normalisé les conduites doivent en principe aboutir à la case correspondant à la position de repos (neutre). On obtient les autres positions par déplacement latéral des cases.



Deux positions distinctes



Trois positions distinctes



Deux positions distinctes
et un stade intermédiaire
de passage

Désignation des distributeurs, [9].

TYPE		SCHEMA	UTILISATION
2/2	Monostable		Pré-actionneur pour : - commander un actionneur à jet d'air (soufflette, pulvérisateur); - commander un moteur à un sens de marche; - bloquer une circulation d'air en absence de signal de commande.
3/2	Monostable NF		Pré-actionneur pour : - piloter un vérin simple effet ; - alimenter un venturi associé généralement à une ventouse.
	Bistable		
4/2	Monostable		Pré-actionneur pour : - piloter un vérin double effet ; - piloter tout actionneur à deux sens de marche.
	Bistable		
5/2	Monostable		Pré-actionneur pour : - piloter un vérin double effet ; - piloter tout actionneur à deux sens de marche.
	Bistable		
5/2	Monostable Centre ouvert		Ce type de distributeur permet la mise à l'atmosphère des deux chambres du vérin en l'absence de commande : - les masses en mouvement du vérin s'arrêtent dès que toutes les inerties sont vaincues ; - les masses mobiles du vérin sont déplaçables à la main.
	Monostable Centre fermé		Ce type de distributeur permet le blocage des deux chambres du vérin en l'absence de commande : - les masses en mouvement du vérin s'arrêtent immédiatement ; - les masses mobiles du vérin restent bloquées.

IV.6. Les accumulateurs

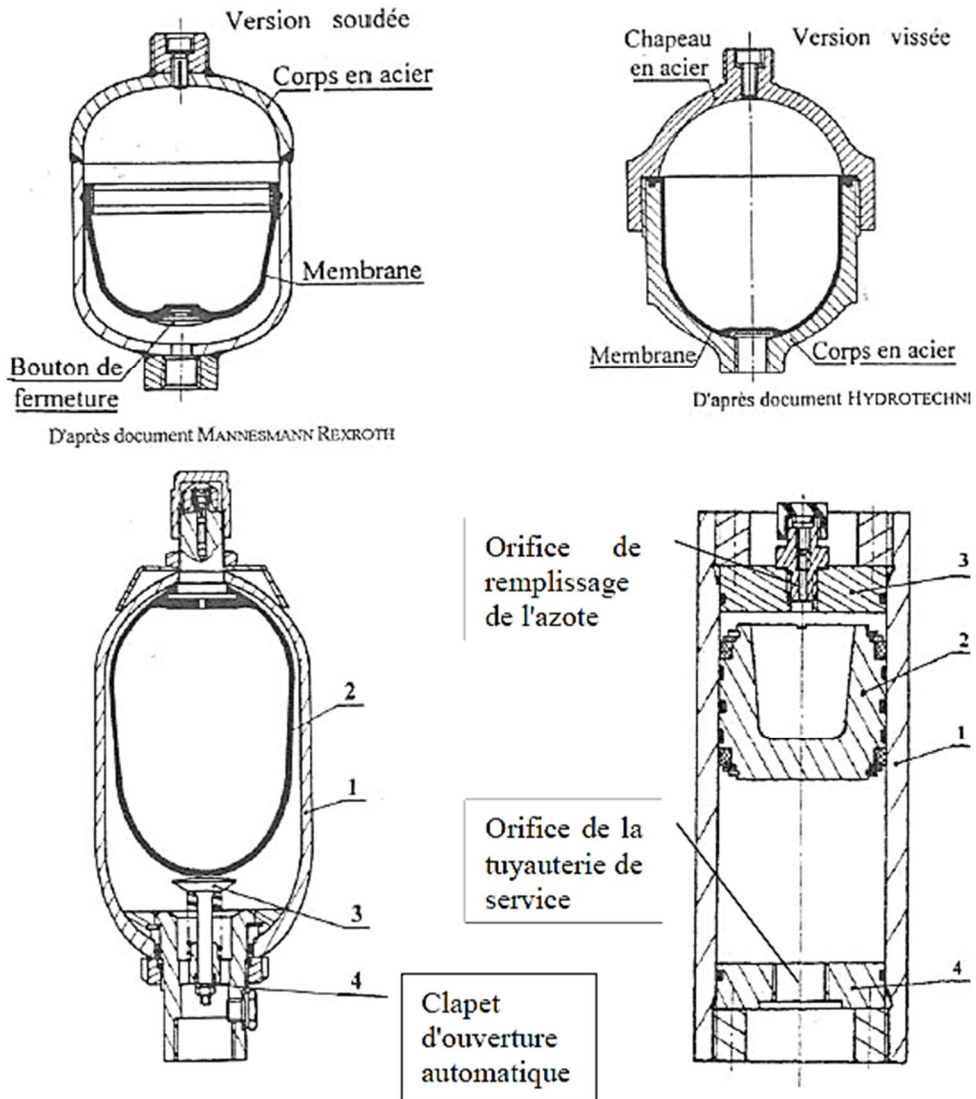
Leur rôle est de stocker un certain volume de fluide sous pression pour le restituer en fonction des besoins. Ils sont aussi utilisés pour les commandes d'urgence ou pour amortir les chocs dans les démarrages des installations.

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 :

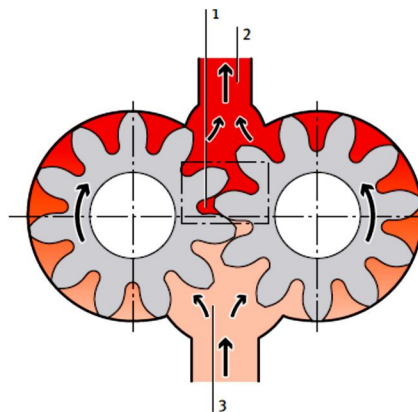
- A membrane (soudée ou vissée).
- A piston ;

- A vessie ; [2]

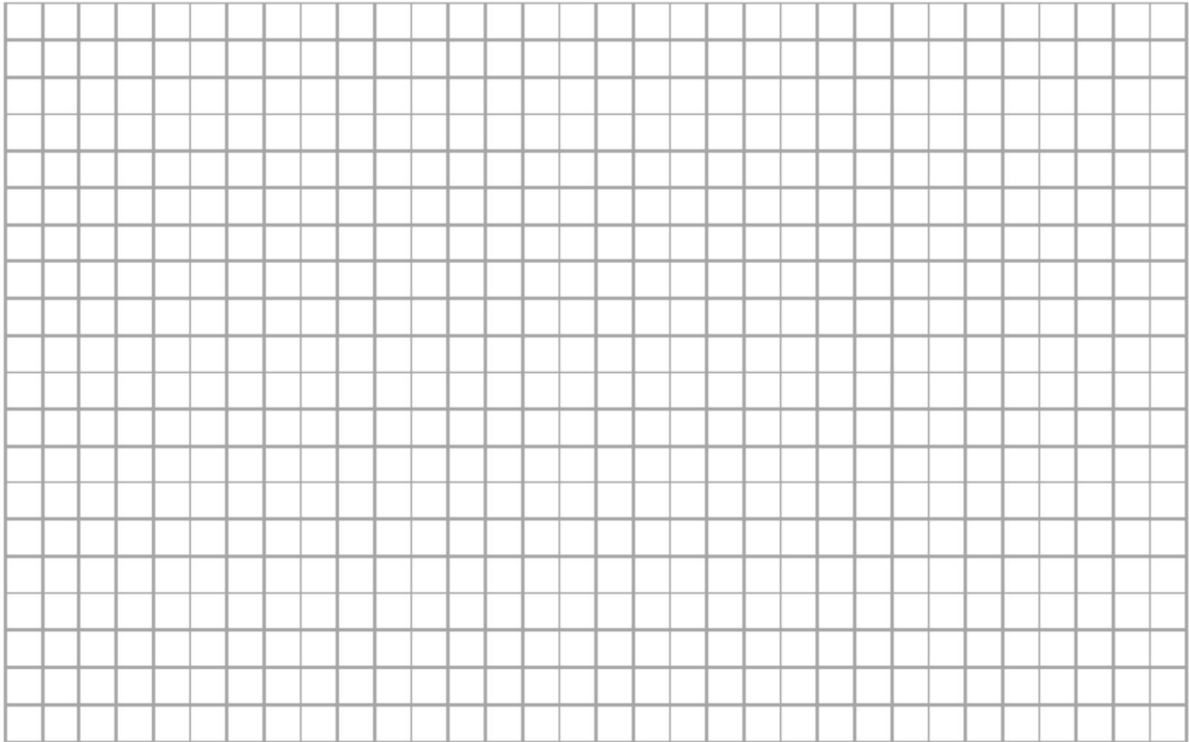


IV.6. Applications

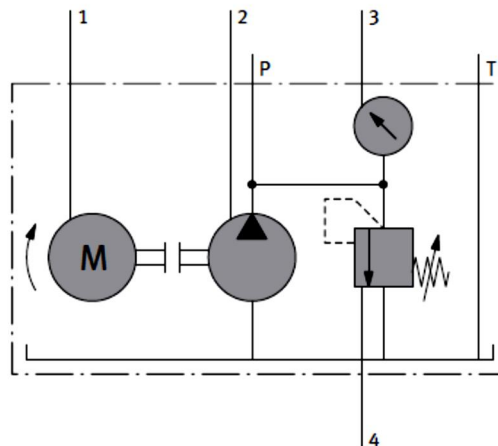
IV.6. 1. Décrivez le mode de fonctionnement de la pompe à engrenage représentée.



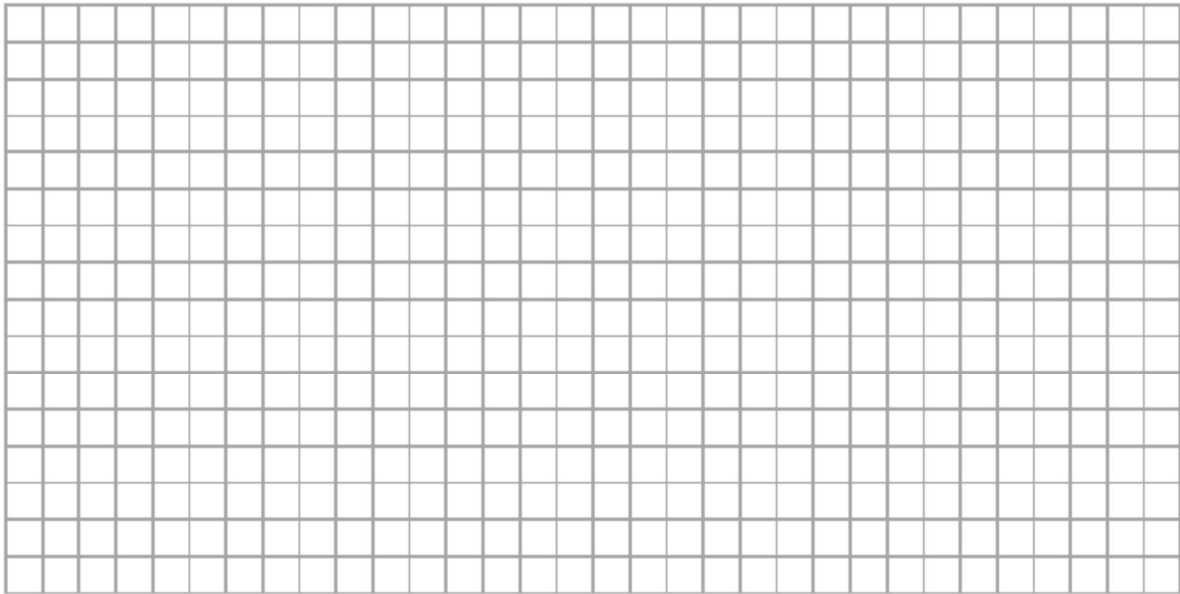
Pompe à engrenage – Vue en coupe ; 1 : fluide emprisonné, 2 : chambre de compression, 3 : chambre d'aspiration



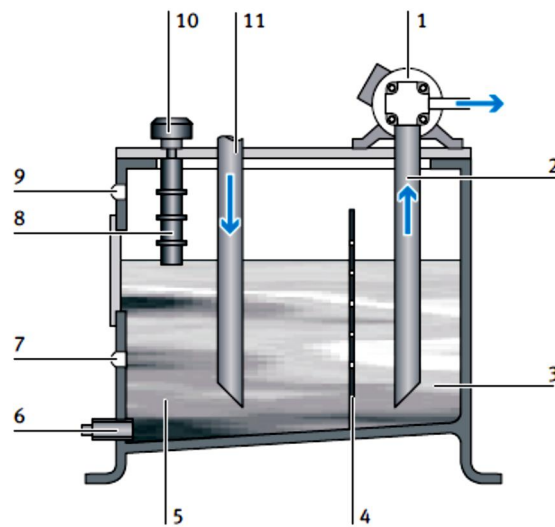
IV.6. 2. Nommez les symboles grisés et décrivez brièvement la fonction des composants.



Groupe hydraulique – Symboles



IV.6. 3. Notez en face de chaque composant du groupe hydraulique le numéro de repère auquel il correspond sur le dessin.



Cours " Systèmes hydrauliques et pneumatiques", L3, S6, Construction mécanique,
Université de M'sila
Dr: Debih Ali

Groupe hydraulique – Représentation schématique

N° du composant	Composant (désignation)
	Bouchon de vidange
	Chambre d'aspiration
	Tube d'aspiration
	Prise d'air avec filtre à air
	Plaque de stabilisation
	Filtre de remplissage
	Jauge, niveau maximal
	Jauge, niveau minimal
	Moteur et pompe
	Retour d'huile
	Chambre de retour d'huile