

Université de Batna 2
Faculté de Technologie
Département de Mécanique

Systemes Hydrauliques et Pneumatiques



**3^{ème} année Licence
Construction Mécanique**

Dr. BOUTEGHMES Djamel



Année universitaire
2019-2020

CHAPITRE I: LES FLUIDES HYDRAULIQUES

1.1-Définition d'un fluide :

Les fluides sont des corps dont les molécules sont très mobiles les unes par rapport aux autres. 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 leur est offert.

1.2- Compressibilité des fluides :

Soit ρ la masse volumique d'un fluide. D'une façon générale, ρ varie avec la pression et la température. On appelle un fluide incompressible lorsque ρ est indépendante de p et T . Les liquides sont très peu compressibles. Pratiquement : on considère que les liquides sont incompressibles et les gaz sont compressibles.

1.3- Viscosité :

Les forces de cohésion intermoléculaire ont tendance à freiner l'écoulement d'un fluide. Cette propriété est appelée viscosité : c'est la capacité d'écoulement d'un fluide.

- ✓ Coefficient de viscosité dynamique « μ » : exprimé dans le système international en Poiseuille (Pl) ou en Pascal seconde (Pa.s)
- ✓ Coefficient de viscosité cinématique « ν » : exprimé dans le système international en mètre carré par seconde (m^2/s)

$$\nu = \mu / \rho$$

Les unités principales définissant la viscosité sont :

- ✓ Le mm^2/s pour la viscosité cinématique. Symbole ν (nu) 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.

1.3.1- La viscosité d'un fluide varie avec :

- ✓ la nature du fluide,

- ✓ la température,
- ✓ la pression.

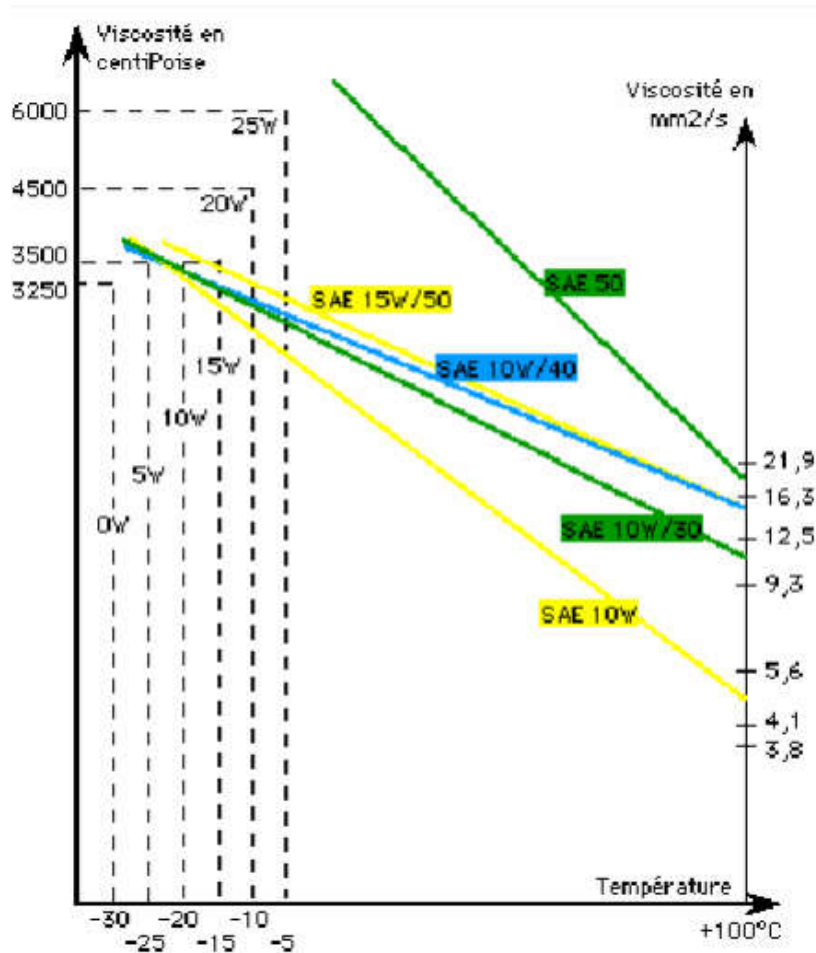
1.3.2- INDICE DE VISCOSITE

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.

Ci-dessous un tableau comparant quelques huiles motrices, on remarque que les huiles multigrades ont un indice de viscosité plus fort que les autres.



Plus la droite de variation de la viscosité est horizontale, plus l'IV est élevé.

1.3.3- CHOIX DE LA VISCOSITE

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 (Δp) 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.

1.4-LES HUILES

1.4.1- Généralité sur les fluides hydrauliques

Les fluides liquides sont présents dans les installations pour leurs incompressibilités. **Incompressibilité** : Aptitude à garder un volume constant même lorsqu'ils sont soumis à des pressions importantes.

Remarque:

Un gaz sous pression peut exploser, un liquide se détend rapidement. Le mouvement avec un liquide est plus régulier qu'avec un gaz. Néanmoins, les liquides se dilatent.

Dilatation : Augmentation de volume dû à l'augmentation de la température.

1.4.2-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 :

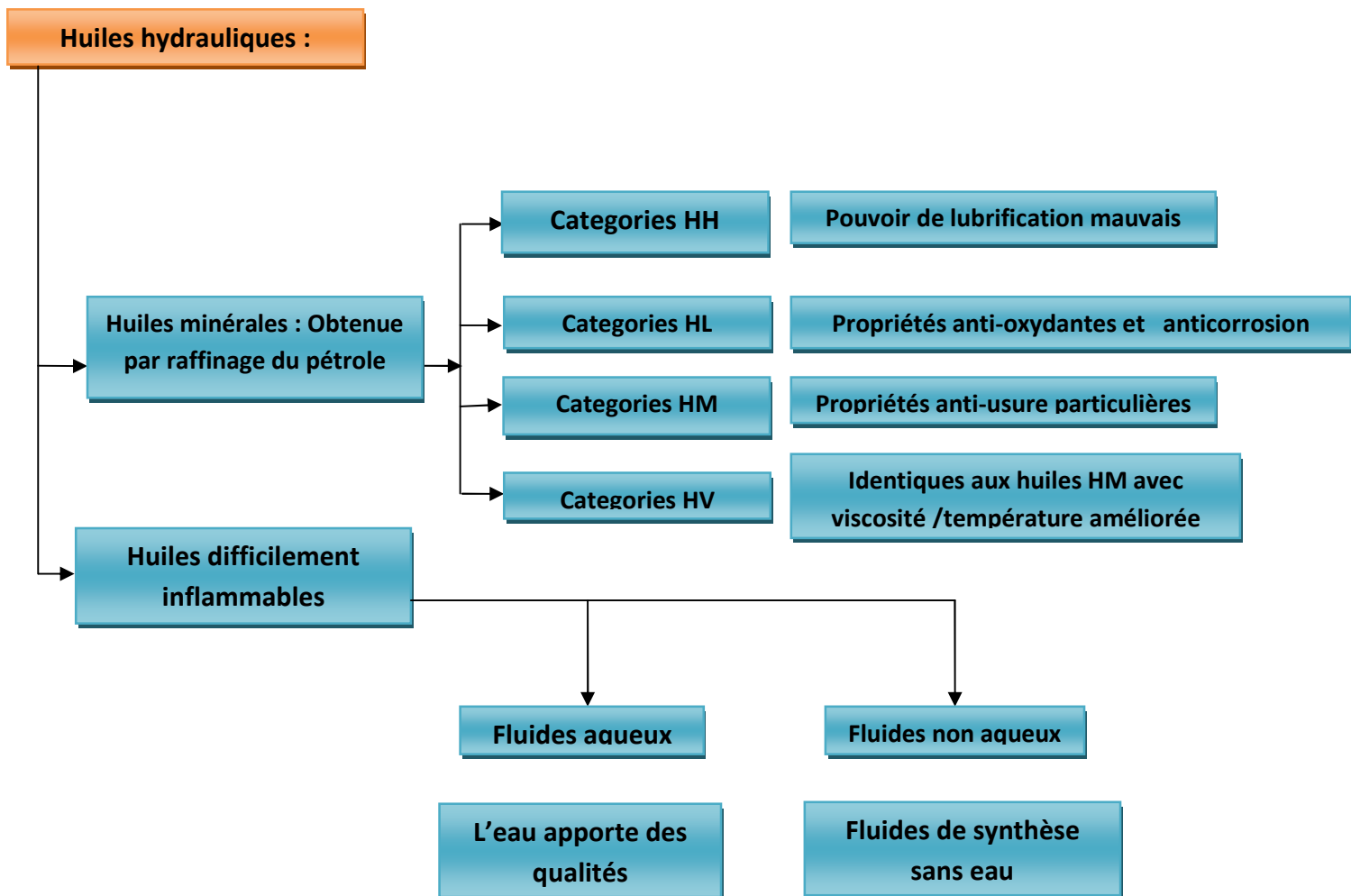
- ✓ elle n'a pas de pouvoir de lubrification,
- ✓ elle facilite la corrosion, – elle s'évapore au-delà de 100 °C,
- ✓ elle congèle à 0 °C.

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

1.4.3- Classification des huiles



1.4.4- 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.

1.4.4.1- Additifs :

Une huile ayant les propriétés demandées pour une utilisation donnée est constituée : d'une huile de base (minérale, synthétique ...) et d'un certain nombre d'additifs, ajoutant chacun une propriété particulière. Voici quelques exemples de propriétés et d'additifs :

- ✓ Anti oxydant : protège les parties métalliques de la corrosion.
- ✓ Détergent : tensio-actif évitant les dépôts (particules, charbons ...) en maintenant en suspension dans l'huile ces dépôts.
- ✓ Anti émulsion : évite le mélange de fluides étrangers avec l'huile (de l'eau par exemple) et favorise la décantation de l'ensemble
- ✓ "Désaérant" : favorise la séparation des gaz de l'huile.
- ✓ Indice de viscosité : des additifs permettent d'augmenter celui-ci.
- ✓ Additif extrême pression : renforce la tenue de l'huile pour des utilisations où le film d'huile a du mal à se former (engrenages en particulier).
- ✓ Anti friction : diminue l'usure des surfaces lubrifiées. - compatibilité avec les élastomères.

1.4.5-Caractéristiques des fluides hydrauliques :

Le fluide hydraulique a pour rôle de transmettre l'énergie fournie par la pompe aux organes récepteurs tels que vérins et moteurs hydrauliques. Il doit présenter des qualités suffisantes pour assurer un bon fonctionnement avec un rendement optimum :

- ✓ être incompressible,
- ✓ assurer une bonne lubrification,
- ✓ conserver ses propriétés malgré le vieillissement,
- ✓ être ni corrosif, ni abrasif.

1.4.6-Choix d'un fluide hydraulique

Le choix d'un fluide est très important afin d'obtenir de son installation une efficacité, un rendement et une longévité optimaux. Le fluide devra répondre aux exigences de sécurité, du matériel et de la maintenance.

1.4.6.1-Les critères de sélection sont :

- ✓ danger d'incendie,
- ✓ température de service continu et de pointe avec également la température de démarrage (viscosité appropriée),
- ✓ présence d'eau,
- ✓ compatibilité avec le matériel (métaux sensibles à la corrosion),
- ✓ toxicité,
- ✓ environnement,
- ✓ coût.

1.4.6.2-Facteurs de maintenance d'une huile:

Pour qu'une huile puisse être efficace dans le temps, afin d'éviter une détérioration prématurée de l'installation, elle doit conserver au maximum ses propriétés.

Pour cela il convient de respecter certaines règles de maintenance :

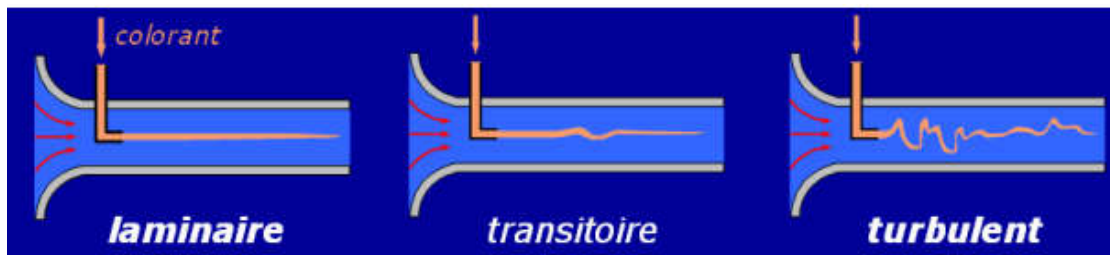
- ✓ Eviter le contact avec l'extérieur si ce n'est à travers le filtre à air du réservoir (propre),

- ✓ Eviter une température excessive de l'huile dans l'installation (prévoir un refroidisseur)
- ✓ Respecter la filtration imposée par le constructeur, • changer régulièrement les filtres,
- ✓ Vérifier le niveau d'huile (entre mini et maxi),
- ✓ Faire l'appoint d'huile à travers un groupe de filtration (conserver la même huile),
- ✓ Prendre des échantillons pour analyse, • utiliser des flexibles et des joints compatibles avec le fluide,
- ✓ Contrôler la teneur en eau pour des fluides de catégorie HFA - HFB - HFC.

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.



- ✓ 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).

$$\text{Re} = \frac{D.u.\rho}{\mu} = \frac{D.u}{\nu}$$

Avec :

D : diamètre de la conduite (en m)

v : vitesse moyenne d'écoulement (en m/s)

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

μ : coefficient de viscosité dynamique (en Pa.s)

u : 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

Remarque : si la section n'est pas circulaire, on définit le diamètre équivalent (De) par :

$$De = \frac{4 * \text{la section de la conduite}}{\text{le périmètre mouillé par le fluide}}$$

1.6-Théorème de BERNOULLI.

Pour un fluide réel : Lorsque le fluide est réel, la viscosité est non nulle, alors au cours du déplacement du fluide, les différentes couches frottent les unes contre les autres et contre la paroi qui n'est pas parfaitement lisse d'où il y a une

perte sous forme de dégagement d'énergie ; cette perte appelée **perte de charge**.

La relation de Bernoulli peut s'écrire sous la forme

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \Delta H_{1,2}$$

$\Delta H_{1,2}$: c'est l'ensemble des pertes de charge entre (1) et (2) exprimé en hauteur. Les pertes de charge peuvent être exprimées en pression / $\Delta p_{1,2} = \rho \cdot g \cdot \Delta H_{1,2}$

1.7-Pertes de charge :

Les pertes de charge sont à l'origine :

- ✓ Des frottements entre les différentes couches de liquide et des frottements entre le liquide et la paroi interne de la conduite le long de l'écoulement : ce sont les pertes de **charge régulières**.
- ✓ De la résistance à l'écoulement provoqués par les accidents de parcours (vannes, coudes,etc...) ; ce sont les pertes de charge **singulières ou localisés** . 1. Pertes de charge régulières : ΔH_r

Soit un écoulement permanent d'un liquide dans une conduite de diamètre D. La perte de charge entre deux points séparés d'une longueur L est de la forme :

$$\Delta H_r = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Avec: **v** : vitesse moyenne du fluide

λ: coefficient de perte de charge régulière.

Pour déterminer le coefficient de perte de charge régulière λ , on fait souvent appel à des formules empiriques tel que :

- ✓ Si l'écoulement est laminaire, nous avons **la loi de Poiseuille**

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

- ✓ Si l'écoulement est turbulent, on a deux cas :
- ✓ **Turbulent lisse:** $R \leq 10^5$: on a la loi de Blasius.

$$\lambda = 0.316 Re^{-1/4} = (100 Re)^{-1/4}$$

- ✓ **Turbulent rugueux:** $R > 10^5$: il y a d'autres lois tel que de Blench.

$$\Delta H_r = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Avec k : coefficient de perte de charge singulière qui dépend de la forme géométrique de la conduite (rétrécissement de section, coude, vanne, etc...).

Remarque : Longueur équivalente de conduite (L_e):

La perte de charge singulière est parfois caractérisée par une longueur équivalente

(L_e) telle que: $K = \lambda L_e / D$

L'avantage est de relativiser directement l'importance des pertes de charge singulières par rapport aux pertes de charge régulières et de faciliter le calcul du circuit lorsque les conduites sont toutes de même diamètre :

$$\Delta H = \Delta H_r + \Delta H_s = \lambda \frac{L + L_e}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

1.8-Les filtres :

Les polluants présents dans un circuit occasionnent des dommages et/ou une usure prématurée des composants Ces polluants peuvent être de deux types :

1-Solides, par exemple :

- ✓ Particules venant de l'extérieur (exemple : silice)

- ✓ Particules d'usure venant des composants

2-Solubles ou non solides, par exemple :

- ✓ Eau (condensation, infiltration...)
- ✓ Lubrifiant, fluide de coupe, solvant - Air en émulsion
- ✓ Gommages, boues provoquant des dépôts

Nous ne décrivons que les filtres destinés à l'élimination des particules solides, en se rappelant qu'il existe des appareils et procédés spécifiques pour les autres polluants (l'eau en particulier).

Les filtres les plus courants sont constitués d'une grille dont la maille est appropriée à la taille des particules à retenir. Cette grille peut être constituée de différents matériaux : grillage, feutre, papiers, synthétiques...

D'autres filtres utilisent un champ magnétique pour piéger les particules magnétiques.

1.8.1- Position des filtres dans les circuits :

Il y a plusieurs possibilités qui ont leurs avantages et inconvénients. Il est possible de combiner plusieurs de ces possibilités.

1-A l'aspiration:

Le filtre est installé avant la pompe.

➤ **Avantages :**

tout le circuit est protégé, pompe comprise.

➤ **Inconvénients :**

La perte de charge provoquée par le filtre devant être faible (pour éviter une cavitation de la pompe), la maille de celui-ci ne peut être très fine. Ces filtres, appelés aussi crépines, sont presque toujours présents dans les bâches, mais ils ne suffisent généralement pas à la protection du circuit et doivent être complétés par une des solutions suivantes.

2- Au refoulement:

Le filtre est installé après la pompe (ou avant une portion de circuit). Avantages : la perte de charge étant indifférente, la maille du filtre peut être très fine. Tout le circuit est protégé. Inconvénients : la pompe n'est pas protégée, ce qui impose une bêche confinée (c'est le cas généralement). Les parois des filtres doivent supporter la pression du circuit, ce qui donne des filtres volumineux, lourds et chers. Ils doivent être protégés contre le colmatage. On évite cette solution lorsque c'est possible, bien que cela soit la filtration la plus efficace pour le circuit. c) **3-Au retour:**

Le filtre est installé sur les canalisations de retour d'huile.

➤ **Avantages :**

La perte de charge étant indifférente, la maille du filtre peut être très fine. La pression étant faible, les filtres sont plus légers et moins chers. Les particules étant collectées et/ou produites dans le circuit, elles sont arrêtées avant de polluer la bêche.

➤ **Inconvénients :**

La bêche doit être confinée. Ils doivent être protégés contre le colmatage. Cette solution efficace et économique est très souvent employée. A noter qu'il peut être intéressant de filtrer les retours de drains, car c'est aux passages de tiges ou d'arbres que la pollution extérieure s'introduit.

3 -Sécurité des filtres :

Il s'agit essentiellement d'une protection contre le colmatage. A force d'arrêter des particules, le filtre finit par se boucher (se colmater) et il est nécessaire de le remplacer. Si ce remplacement n'est accidentellement pas fait, les parois du filtre colmaté vont se déchirer sous l'effet de la perte de charge ainsi occasionnée et toutes les particules accumulées vont se déverser d'un coup dans le circuit ; on imagine aisément la catastrophe que cela représente ! Les protections courantes sont: - Les indicateurs de colmatage, fig1: ils donnent une information lorsque la perte de charge provoquée par le colmatage devient inacceptable. Cette information peut être un voyant, un contact géré par la partie commande...

CHAPITRE II : Les pompes volumétriques

2-1-Principe de fonctionnement :

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur du quel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Ce déplacement est cyclique. Pendant un cycle, un volume de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé. On distingue :

- ✓ les pompes volumétriques alternatives (à piston)
- ✓ les pompes volumétriques rotatives (Ex : à engrenages, à palettes, à lobes,..)

A) Description :

Une pompe volumétrique est constituée : * D'un corps fixe ou Stator, * D'un ou de plusieurs éléments mobiles participant au déplacement du fluide à l'intérieur de la pompe, d'autres éléments mobiles destinés à mettre en mouvement les éléments précédents. Pour ce type de pompes, l'entrée et la sortie sont non communicantes grâce à une étanchéité interne, ainsi les fuites seront minimales et les pressions importantes.

B) Fonctionnement :

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 (auto-amorçage) 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

C) Les réalisations des pompes volumétriques :

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

2.2- Les pompes à engrenages :

2.2.1- Pompes à engrenage extérieur (fig. 1-)

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.

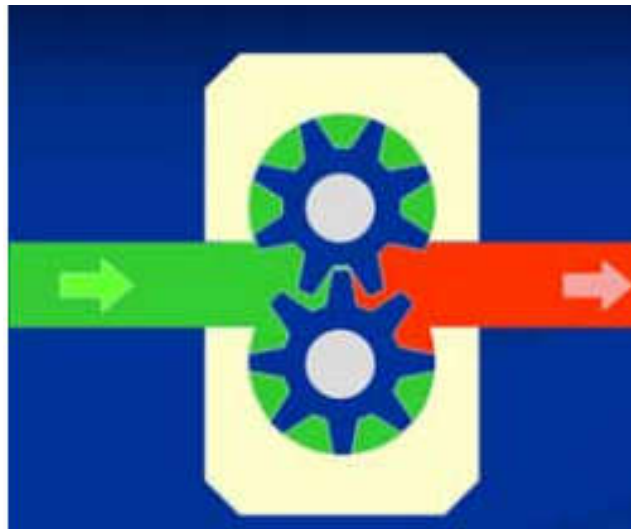


Figure -1-Pompes à engrenage extérieur.

2.2.2- Pompes à engrenage intérieur : (fig. 2-)

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 pour ainsi diminuer les fuites internes et augment la pression de service.

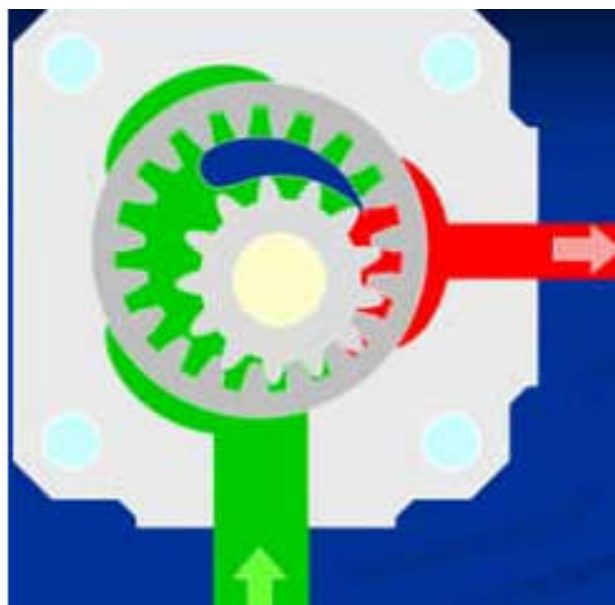


Figure -2-Pompes à engrenage intérieur.

2.3- Les pompes à pistons :

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

2.3.1- Pompes à pistons axiaux (fig. 3 -)

Les axes des pistons sont parallèles entre eux et l'axe principal de la pompe. Les bielles sont en liaisons rotules avec le plateau incliné d'un angle α (fixe ou variable) qui est à l'origine des mouvements alternatifs des pistons.

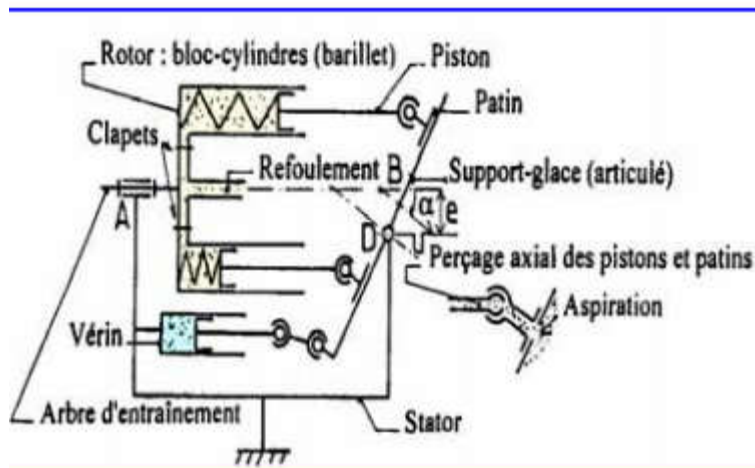


Figure.3 - Pompes à pistons axiaux .

2.3.1- Pompes à pistons radiaux : (fig. 4-)

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

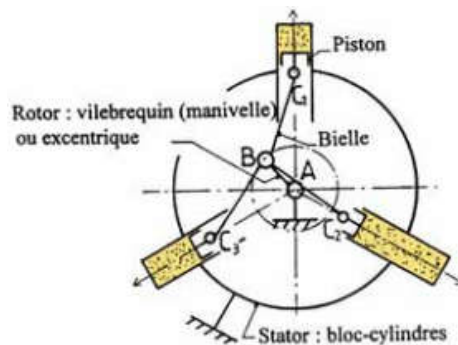


Figure.4 - Pompes à pistons radiaux.

2.4- Pompes à palettes: (fig. 5 -)

La rotation du rotor entraîne celle des palettes dont les extrémités sont continuellement en contact avec le stator aux points C_i , grâce à la force centrifuge. Outre, des ressorts de compression poussent les bases des palettes.

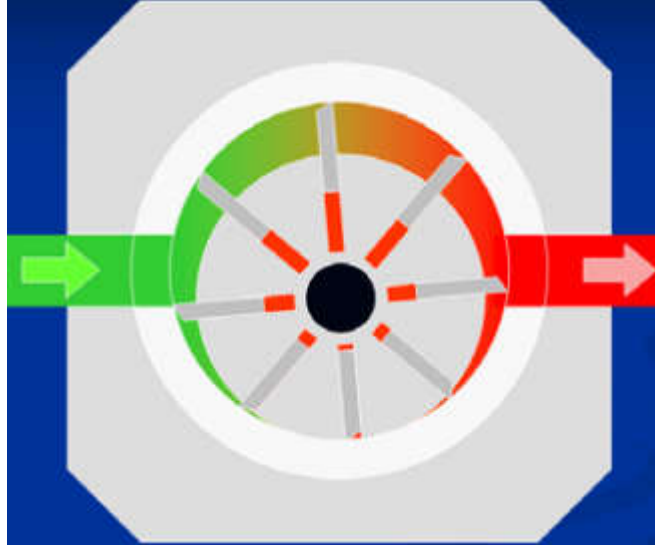


Figure.5 - Pompes à palettes.

2.5- Pompes à vis : (fig. 6 -)

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 un est central.

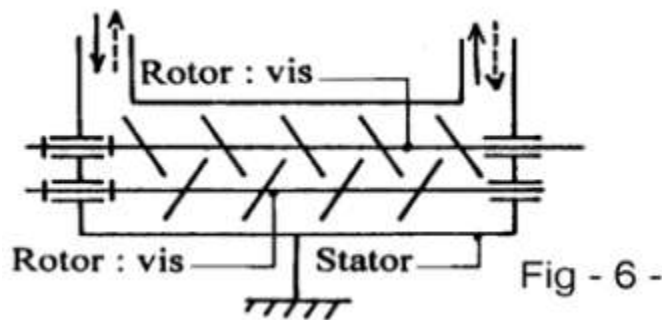


Figure.6 - Pompes à vis.

2.6 Pompes péristaltiques : (fig. 7-)

La rotation du rotor entraîne le roulement sans glissement des rouleaux sur le tuyau déformable solidaire du stator. Cette pompe existe aussi avec trois rouleaux à 120 ° e) Pompes péristaltiques : (fig -7-) La rotation du rotor entraîne le roulement sans glissement des rouleaux sur le tuyau déformable solidaire du stator. Cette pompe existe aussi avec trois rouleaux à 120 °

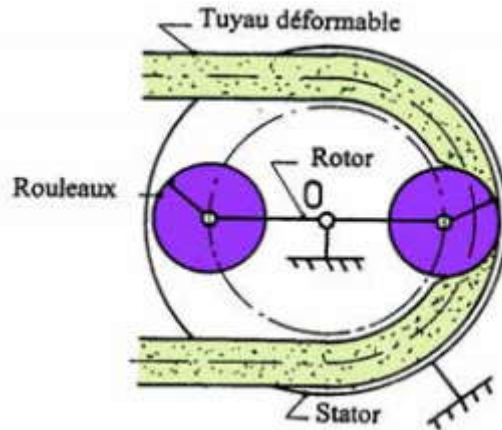


Figure.7 - Pompes péristaltiques.

2.7-Grandeurs associées aux pompes :

2.7.1- La cylindrée (Cy) :

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

✓ Unités : [m³ /tr] ; [l/min] ou [l/tr].

2.7.2- Les débits :

a- Le débit moyen théorique : (q v moy)

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

$$\underline{q_{vmoy} = Cy.N}$$

Avec N : Fréquence de rotation en [tr/s]

Cy : Cylindrée en [m³/ tr]

b- Le débit moyen réel: (q v moy r)

Le volume refoulé par la pompe en pratique, mesuré en une unité de temps.

2.7.3- Les puissances :

a- La puissance mécanique : (P m) Puissance fournie à l'arbre d'entraînement de la pompe par le moteur et peut être donnée par les deux relations suivantes :

$$P_m = C \cdot \omega \quad \text{Ou} \quad P_m = q_{vmoy} (p_{sth} - p_e)$$

Avec :

- ✓ **C** : Couple d'entraînement de pompe en [Nm]
- ✓ **ω** : vitesse angulaire en [rad / s]
- ✓ **p_{sth}** : Pression de sortie théorique en [pa]
- ✓ **p_e** : Pression d'entrée en [pa]

b- La puissance hydraulique : (P hyd)

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

$$P_h = q_{vmoyr} (p_s - p_e) \quad \text{Avec } p_s \text{ est la pression mesurée réellement à la sortie en [pa]}$$

4- Les rendements :

a- Le rendement volumétrique :

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

$$\eta_v = \frac{q_{vmoyr}}{q_{vmoy}}$$

b- Le rendement mécanique :

Le fluide à la pression d'entrée refoulé à la pression de sortie $p_s = p_e$. Une chute de pression due à des effets mécaniques et hydrauliques fait passer p_{sth} à p_s , ainsi on détermine :

$$\eta_m = \frac{(p_s - p_e)}{(p_{sth} - p_e)}$$

c- Le rendement hydromécanique (η_{hm}) :

A cause des frottements mécaniques entre les différentes pièces et du frottement de liquide contre les parois, le couple reçu par la pompe ne sera pas entièrement transformé en pression :

$$\eta_{hm} = \frac{Cyl.\Delta p}{2\pi.C}$$

avec : Cyl : Cylindrée en m^3/tr

Δp : différence de pression aux bornes de la pompe en Pa.

C : couple en N.m

d - Le rendement global: C'est le rapport de la puissance à la sortie et celle à l'entrée : P_p

$$\eta_t = \frac{P_{hyd}}{P_{mec}} \quad \text{or} \quad P_{hyd} = \Delta p \cdot Q_{réel} \quad \text{et} \quad P_{mec} = C \cdot \omega$$

$$\text{avec} \quad \omega = \frac{2\pi.N}{60} \quad \text{donc :} \quad \boxed{\eta_t = \eta_V \cdot \eta_{hm}}$$

5- Le couple d'entraînement (C)

Le couple à appliquer à l'arbre d'entraînement de la pompe : Unité : [Nm]

$$P_h = \eta_g \times P_m \Leftrightarrow (p_s - p_e) \times q_{v \text{ moy } r} = \eta_g \times C \times \omega \quad \text{or} \quad q_{v \text{ moy } r} = Cy \times N \times \eta_v$$

$$\text{et} \quad \omega = 2\pi N \quad \text{on aura donc} \quad Cy \times N \times \eta_v \cdot (p_s - p_e) = \eta_g \times C \times 2\pi N$$

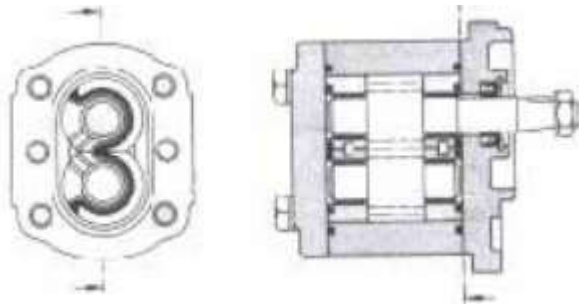
$$\text{D'où} \quad \boxed{C = \frac{Cy(p_s - p_e)}{2\pi\eta_m}}$$

2.8-Les moteurs hydrauliques :

a) 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.



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

b) Principaux types de 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)

<p>Moteur à palettes: L'huile sous pression provoque la rotation des palettes implantées sur le rotor. <i>Avantages :</i> réalisation simple <i>Inconvénients :</i> puissance transmise relativement faible.</p>	
---	--

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. $Cy =$

$$2r.tan\alpha.n.s$$

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

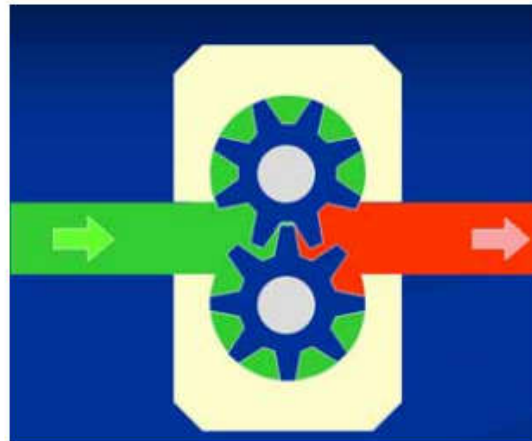
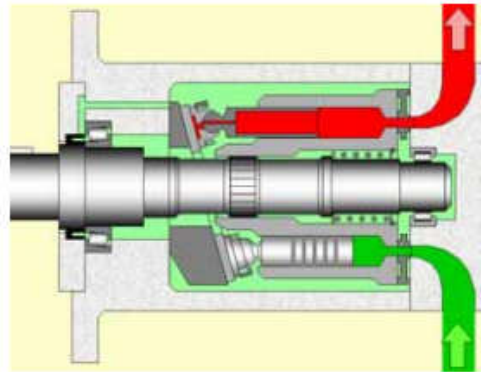
Inconvénient: coûteux.

Moteur à engrenage :

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

Avantages : encombrement très réduit, économique.

Inconvénients: rendement limité.

**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

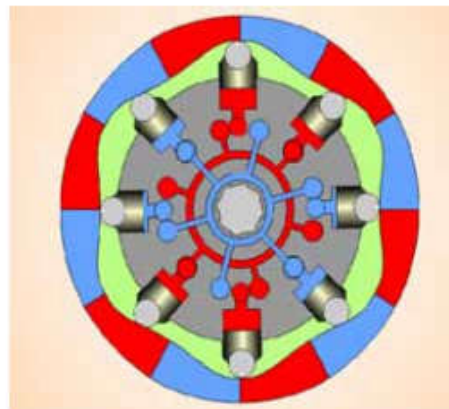
$$Cy = n.n'.c.s.$$

n: nombre des pistons

n' : nombre de courses par tour.

c: course.

s: surface du piston.



2.8.1-Problèmes rencontrés:

A) gavage des moteurs hydrauliques:

Lorsque la pression est coupée, le moteur continu à tourner sous l'effet de l'inertie créant ainsi une dépression dans le circuit et fonctionne comme une pompe, risque d'un phénomène de cavitation, d'où la nécessité d'un circuit secondaire appelé circuit de gavage permettant d'alimenter le moteur quand la pression dans le circuit principale s'annule, le moteur s'arrête alors progressivement. * 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.

B) 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 : $\frac{3}{4}$ Une pompe à débit variable : dans ce cas, le moteur seul doit être alimenté par la Pompe $\frac{3}{4}$ Un limiteur de débit : dans ce cas, le montage peut s'effectuer de deux façons différentes.

2.8.2-Puissance hydraulique:

C'est la puissance d'entrée pour le moteur.

$$P_h = Q_e \cdot \Delta p \quad \text{avec } \Delta p = (p_e - p_s)$$

Δp en [Pa], QV en [m^3 /s] Ph en [W]. Le fluide entre dans le moteur avec un débit Q_e débité réellement par la pompe, mais le moteur ne peut refouler que le débit $Q_s = C_y \cdot N$ le débit excédentaire constitue les fuites on peut écrire alors : $Q_e = Q_s + q_{fuites}$ et le rendement volumétrique est :

$$\eta_v = \frac{Q_s}{Q_e} = \frac{C_y \cdot N}{Q_e} \quad (N \text{ en } [tr/s])$$

2.8.3- Puissance mécanique:

C'est la puissance de sortie développée par le moteur :

$$P_m = C \cdot \omega$$

C en [mN], ω en [rad/s] P_m en [W]

2.8.4- Rendement: Le rendement global du moteur est :

$$\eta_g = \frac{P_m}{P_h} = \frac{C \cdot \omega}{Q_e \cdot \Delta p} = \eta_m \cdot \eta_v$$

Où η_m est le rendement mécanique du moteur. En remplaçant dans l'expression précédente Q_e par $C_y \cdot N / \eta_v$ et ω par $2\pi N$, on trouve :

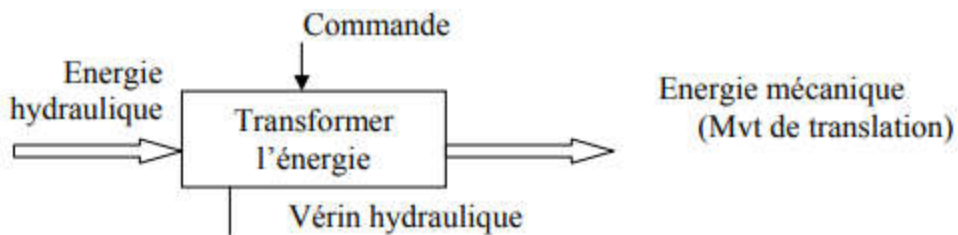
$$\eta_m = \frac{2\pi \cdot C}{C_y \cdot \Delta p}$$

CHAPITRE III : LES VERINS

3.1- Les récepteurs hydrauliques :

Les récepteurs hydrauliques transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique. On distingue : - Les récepteurs pour mouvement de translation : les vérins. - Les récepteurs pour mouvement de rotation : les moteurs hydrauliques.

1) Les vérins : a) Définition : Un vérin est l'élément récepteur de l'énergie dans un circuit hydraulique. Il permet de développer un effort très important avec une vitesse très précise.



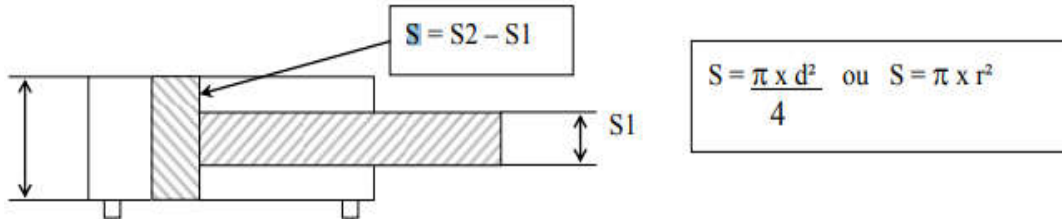
3.2- Principaux types de vérins

	symboles	schémas
<p>Vérin simple effet L'ensemble tige piston se déplace dans un seul sens sous l'action du fluide sous pression. Le retour est effectué par un ressort ou charge. Avantages : économique et consommation de fluide réduite. Inconvénients : encombrant, course limité. Utilisation : travaux simples (serrage, éjection, levage...)</p>		
<p>Vérin double effet L'ensemble tige piston peut se déplacer dans les deux sens sous l'action du fluide. L'effort en poussant est légèrement plus grand que l'effort en tirant. Avantages : plus souple, réglage plus facile de la vitesse, amortissement de fin de course réglable. Inconvénients : plus coûteux. Utilisation : grand nombre d'applications industriels</p>		
<p>Vérins spéciaux</p> <p>1- Vérin à tige télescopique : simple effet permet des courses importantes tout en conservant une longueur repliée raisonnable.</p> <hr/> <p>2- Vérin rotatif : l'énergie du fluide est transformée en mouvement de rotation. L'angle de rotation peut varier de 90° à 360°. Les amortissements sont possibles.</p>	 	

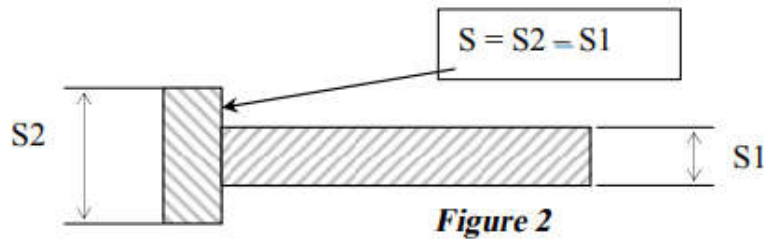
3.3- -DIMENSIONNEMENT DES VERINS :

a) Pour déterminer la pression (p) d'utilisation d'un vérin, il faut connaître

- ✓ La force F nécessaire à développer.
- ✓ La section annulaire S



b) Détermination des vitesses de sortie et de rentrée des tiges de vérins hydrauliques :



- ✓ Formule classique

$$V = \frac{Q}{S_2} \quad \text{Avec: } V \text{ est en [m/s] ; } Q \text{ est en [m}^3\text{/s] et } S_2 \text{ et en [m}^2\text{]}$$

- ✓ Formule pratique:

$$V = \frac{Q}{0.06 \times S_2} \quad \text{Avec: } V \text{ est en [cm/s] ; } Q \text{ est en [l/mn] et } S_2 \text{ et en [cm}^2\text{]}$$

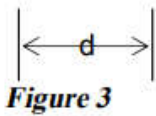
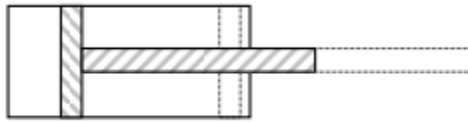
Avec: V est en [m/s] ; Q est en [m³/s] et S₂ et en [m²]

C) TRAVAIL ET RENDEMENT D'UN VERIN :

- ✓ Unité de calcul : L'unité de travail est le Joule. Le symbole est J

$$W = F \times d$$

D- PUISSANCE D'UN VERIN:



→
F = force utile du vérin
Travail utile effectué par le vérin
W = F x d

*** Puissance utile :**

$P = \frac{W}{t}$ (J) or $W = F \times d$ d'où $P = \frac{F \times d}{t}$ mais comme \underline{d} (course) égale la vitesse v
t (s) t (temps)

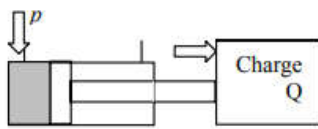
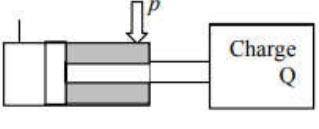
$$P = F \cdot V$$

(Watt) (N) (m/s)

- ✓ Données nécessaires : Efforts exercés dans les deux sens, en poussant et en tirant, cadence ou vitesse de la tige, conditions de service : amortissement et énergie cinétique à dissiper...
- ✓ Diamètre et course : une fois le type choisi, à partir des données, il faut déterminer le diamètre D de l'alésage et la course C de la tige. Le diamètre de tige d dépend de D (normalisé).

Normalisation ISO et AFNOR	
Diamètre D (mm)	8-10-12-16-20-25-32-40-50-63-80-100-125-160-200-250
Courses recommandées (mm)	50-100-150/160-200-250-300/320-400-500-600-700-800-900-1000

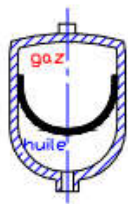
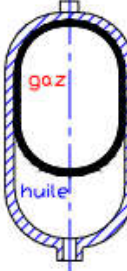
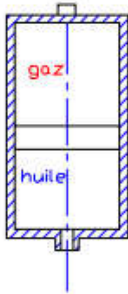
E) Effort théorique :

En poussant	En tirant
 $F = p.S = p.\pi.R^2$	 $F = p.S' = p.\pi.(R^2 - r^2)$

- ✓ Rendement : les frottement internes au vérin (joint d'étanchéité et bague de guidage) amènent une perte d'énergie et abaissent le rendement.

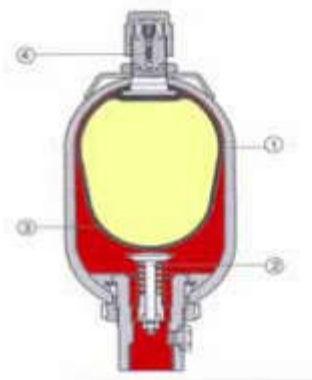
3.4-Les accumulateur :

Les accumulateurs sont des appareils entrant dans la constitution des systèmes hydrauliques. Ils servent à emmagasiner une réserve d'énergie. Ils se montent en dérivation avec le circuit principal permettant de stocker une quantité de fluide sous pression et la restituer (donner) en cas de besoin, par exemple en cas de chute de pression accidentelle, compensation des fuites, équilibrage des forces... Dans certains cas l'utilisation d'un accumulateur est indispensable pour la sécurité, ex élévateur des charges. Accumulateurs hydropneumatique Ce sont des accumulateurs à gaz avec élément de séparation entre le gaz et le fluide. Le gaz le plus souvent utilisé est l'azote (inerte et de bonne compressibilité)

à membrane	à vessie	à piston
 Forme approximativement sphérique, volume à restituer faible, bonne étanchéité.	 Volume à restituer moyen, réaction rapide, bonne étanchéité et durée de vie.	 Volume à restituer important, mauvaise étanchéité qui cause la variation de la pression du gaz à long terme. Temps de réponse important à cause de l'inertie du piston.

Domaine d'utilisation: Les accumulateurs hydrauliques peuvent assurer des fonctions variées et en particulier : * Le stockage d'énergie permettant d'économiser la puissance des pompes dans les installations à fonctionnement intermittent. * Une réserve d'énergie (en secours) pouvant intervenir lors d'une panne de la pompe ou d'une baisse de pression dans le circuit, ainsi que la compensation des fuites.

3.4.1, Constitution d'un accumulateur:



- 1 : corps
- 2 : soupape
- 3 : vessie
- 4 : valve de gonflage

3.4.2 Fonctionnement:

Dans les circuits hydrauliques, le fluide ne peut pas être comprimé. Afin de sauvegarder une réserve d'énergie sous pression, on se sert d'un gaz : l'azote. Ce gaz est comprimé dans un réservoir par le fluide hydraulique. En cas de besoin, le gaz se détend pour restituer le fluide sous pression dans le circuit.

Le gaz et le fluide ne sont pas en contact. Ces deux éléments sont séparés dans deux chambres par une paroi élastique. Selon la paroi, il existe trois catégories d'accumulateurs :

- ✓ à piston
- ✓ à vessie
- ✓ à membrane

3.4.3 TYPES D'ACCUMULATEURS

1. L'accumulateur à piston:

Les deux parties de l'accumulateur sont isolées l'une et l'autre par un piston qui assure l'étanchéité. Le piston est généralement muni d'un système de compensation d'usure des garnitures. L'accumulateur à piston ne nécessite aucun entretien, ni regonflage. Il peut fonctionner dans n'importe quelle position, mais il est préférable de le monter verticalement (valve de gaz en haut), afin d'éviter le dépôt de particules polluantes véhiculées par l'huile sur les joints du piston.

2. L'accumulateur à vessie :

L'azote sous pression est contenu dans une enveloppe appelée : vessie, qui isole l'huile de l'azote. Le clapet installé vers l'arrivée d'huile empêche la vessie de se déformer jusque dans l'orifice d'arrivée d'huile ; il empêche un phénomène d'extrusion. Ce clapet se ferme aussi si le débit maximum, pour lequel l'appareil est conçu, venait à être dépassé. Cet accumulateur peut fonctionner dans n'importe quelle position comprise entre : $\frac{3}{4}$ la verticale (valve de gaz en haut) $\frac{3}{4}$ l'horizontale Il permet des cycles à fréquence élevée pouvant atteindre les 120 hertz.

3. L'accumulateur à membrane :

L'azote et l'huile sont séparés par une membrane élastique mais étanche. La pastille située en bas de la membrane empêche l'extrusion de celle-ci en cas de décharge brusque. Cet accumulateur s'installe comme un accumulateur à vessie.

1. MONTAGE: Les accumulateurs à vessie sont montés en principe verticalement (valve à huile vers le bas).

Les accumulateurs à membrane sont montés indifféremment. Toutefois, la fixation doit être robuste et l'emplacement facile d'accès.