Chapitre 1- Introduction et Rappels

I- Généralités sur l'hydraulique

I.1 Définition de l'hydraulique

L'hydraulique a pour racine le mot grec hudor (eau). Un système hydraulique est un système qui utilise l'eau ou un liquide quelconque pour son fonctionnement. Dans le système industriel, l'hydraulique se traduit par la transmission et la commande des forces par un liquide (huile) qui est le fluide hydraulique.

Différentes formes d'énergie sont utilisées en hydraulique :

- ✓ L'énergie potentielle (par gravité), exemple : un château d'eau.
- ✓ L'énergie cinétique (par vitesse), exemple : une turbine hydroélectrique.
- ✓ L'énergie par pression : C'est la forme d'énergie qui est utilisée dans les systèmes hydrauliques industriels et mobiles.

I.2 Domaines d'application de l'hydraulique

Machine-outil : presses à découper, presses à emboutir, commande d'avance et de transmission de mouvements, ...

- ✓ Engins de travaux publics : pelle mécanique, niveleuse, bulldozer, chargeuse,…
- ✓ Machines agricoles : tracteur, moissonneuse-batteuse,…
- ✓ Manutention : chariot élévateur, monte-charge, …

- **Les avantages des systèmes hydrauliques :**

Les systèmes hydrauliques offrent de nombreux avantages, à savoir :

- ✓ La transmission des forces et des couples élevés
- ✓ Une grande souplesse d'utilisation
- ✓ Une très bonne régulation de la vitesse des actionneurs du fait de l'incompressibilité du fluide
- ✓ La possibilité de démarrer les installations en charge
- ✓ Une durée de vie élevée des composants, du fait de la présence de l'huile

- **Les inconvénients des systèmes hydrauliques :**

Les systèmes hydrauliques engendrent des inconvénients, tels que :

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

Sur la figure I.1 est présentée une application industrielle de l'hydraulique.

Figure I.1. Exemple d'application industrielle de l'hydraulique

I.3 Définition des grandeurs : PRESSION, DEBIT

Dans une transmission hydraulique :

- ✓ La pression n'existe dans un circuit que s'il y a résistance à l'écoulement de l'huile, c'est l'équivalent mécanique de la force.
- ✓ Le débit est l'équivalent de la vitesse.

I.4 Le circuit de base

Pour transmettre l'énergie d'un point à un autre, il faut constituer un circuit hydraulique comme montré sur la figure I.2 :

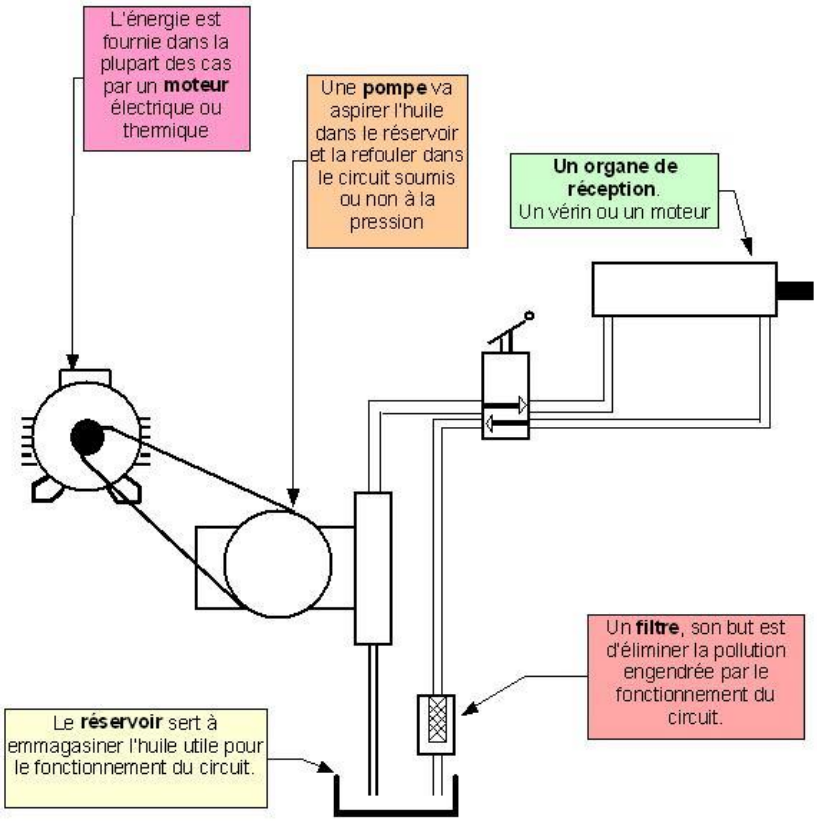


Figure I.2 Circuit hydraulique de base

I.5 Coupe d'un groupe hydraulique

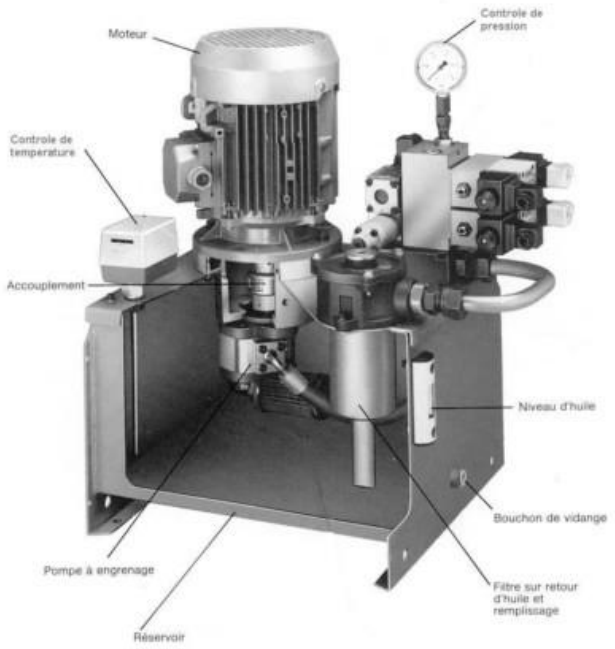


Figure I.3 Coupe d'un groupe hydraulique

II- Les écoulements des fluides

II.1 Généralités

II.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.

Les fluides peuvent être classés en deux groupes : des liquides et des gaz.

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

II.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.

Un fluide est considéré 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.

II.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 (**m²/s**)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

II.1.4 Fluide parfait – fluide réel

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

Un fluide est réel lorsque **μ ≠ 0**

II.2 Les régimes d'écoulement

Expérience (figure II.1) :

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 :

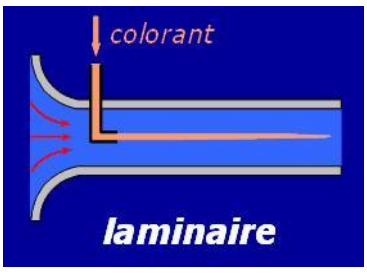
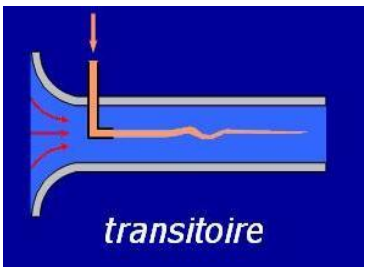
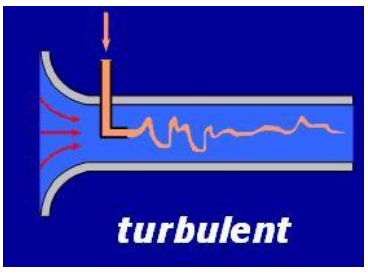
		
Cas **a**	Cas **b**	Cas **c**

Figure II.1 Régimes découlement

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.

- ✓ **Régime laminaire :** (cas **a**) le fluide s'écoule en couches cylindriques coaxiales ayant pour axe le centre de la conduite.
- ✓ **Régime transitoire :** (cas **b**) c'est une transition entre le régime laminaire et ce lui turbulent.
- ✓ **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 une variété de fluides.

La détermination du régime d'écoulement est exprimée par le calcul d'un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds (**Re**).

$$R_e = \frac{D.u.\rho}{\mu} = \frac{D.u}{\mu}$$

Avec :

D : diamètre de la conduite (en **m**)

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

ρ : masse volumique du fluide (en **kg/m^3**)

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

ν : coefficient de viscosité cinématique (en **m²/s**)

- **Si Re < 2000 le régime est laminaire**
- **Si 2000 < Re < 3000 le régime est transitoire**
- **Si Re > 3000 le régime est turbulent**

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

$$D_e = \frac{4 * Section\ du\ conduit}{le\ périmètre\ mouillé\ par\ le\ fluide}$$

La nature du régime d'écoulement d'un fluide est déterminée par la valeur du nombre de reynolds. Les différents régimes d'écoulements sont visualisés par la représentation graphique du diagramme de **Moody** utilisant le nombre de Reynolds pour l'axe des X et le facteur de frottement F pour l'axe des Y.

Le régime d'écoulement d'un fluide, se caractérise sous 3 formes :

- **Régime laminaire** : Un nombre de Reynolds inférieur à 2000 indique que l'écoulement est calme et régulier.
- **Zone critique** : Le nombre de Reynolds situés 2000 et 3000 indique que l'écoulement est instable entre le régime laminaire et le régime turbulent.
- **Régime turbulent** : Un nombre de Reynolds supérieur à 3000 indique que l'écoulement est sous forme de tourbillon et de remous.

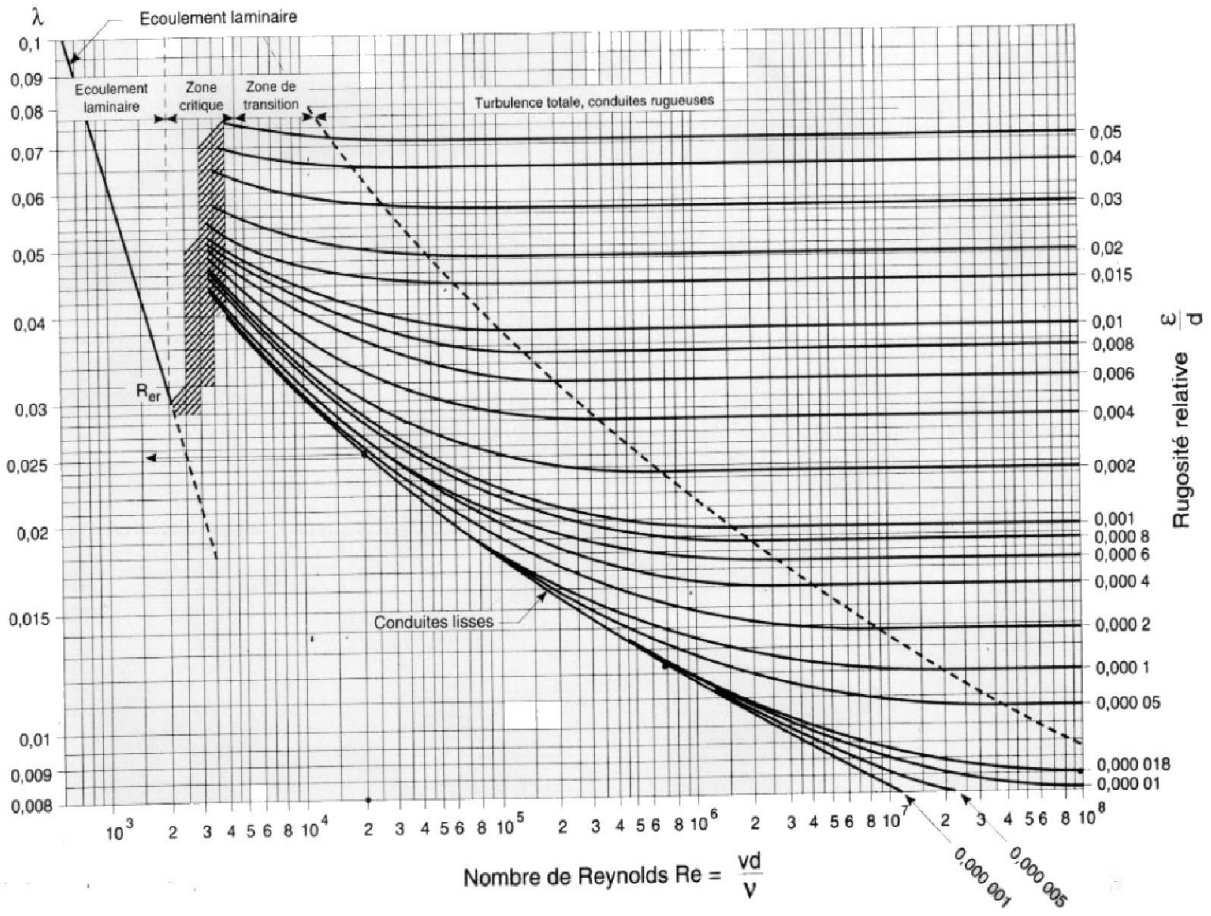


Figure II.2 Courbe de Moody

II.3 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 est appelée ***perte de charge***.

La relation de Bernoulli peut s'écrire sous la forme :

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho.g} = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho.g} + \Delta H_{1,2}$$

$\Delta H_{1,2}$: c'est l'ensemble des pertes de charge entre les positions (1) et (2), exprimé en hauteur.

Les pertes de charge peuvent être exprimées en pression :

$$\Delta P_{1,2} = \rho.g.\Delta H_{1,2}$$

II.4 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, représentent les **pertes de charge régulières**.

La résistance à l'écoulement provoqués par les accidents de parcours (vannes, coudes,etc…), engendre les ***pertes de charge singulières ou localisés*** .

1.Pertes de charge régulières : ΔHr

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 :

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

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***

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

Si l'écoulement est turbulent, on a deux cas :

- ✓ Turbulent lisse **R<10^5** : on a la **loi de Blasius** : $\lambda = 0.316\, R_e^{-1/4} = (100\, R_e)^{-1/4}$
- ✓ Turbulent rugueux **R>10^5** : il y a d'autres lois tel que **Blench :** $\lambda = 0.79\sqrt{\frac{\varepsilon}{d}}$

Où - ε : rugosité de la surface interne de la conduite (mm)

- d : diamètre intérieur de la conduite (mm)

2. Pertes de charge singulières : ΔHs

$$\Delta H_s = \lambda \frac{L_e}{D}.\frac{v^2}{2g} = k.\frac{v^2}{2g}$$

Avec

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

$\boldsymbol{L_e}$: Longueur équivalente de conduite

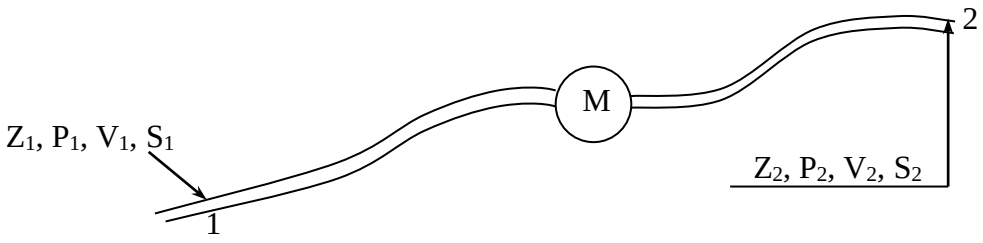
La perte de charge singulière est parfois caractérisée par une longueur équivalente (**L_e**) tel que :

$$k = \lambda \frac{L_e}{D}$$

L'avantage est de faciliter le calcul du circuit lorsque les conduites sont de même diamètre :

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

II.5 Fluide réel parcourant une machine :



Lorsque le fluide traverse une machine hydraulique, alors il y a un échange d'énergie entre le fluide et la machine.

Soit **E** l'énergie par unité de masse échangée entre le fluide et la machine.

On pose : E > **0** si la machine est motrice (pompe)

E < 0 si la machine est réceptrice (turbine)

Le bilan énergétique appliqué entre (1) et (2) : $E_{(1)} + \mathbf{E} = \mathbf{E}_{(2)} + \mathbf{E}_{perdu}$

Le théorème de Bernoulli s'écrit alors :

$$\frac{1}{2}v_1^2 + g.z_1 + \frac{P_1}{\rho} + E = \frac{1}{2}v_2^2 + g.z_2 + \frac{P_2}{\rho} + \Delta H_{1,2}$$

La puissance échangée est une puissance hydraulique :

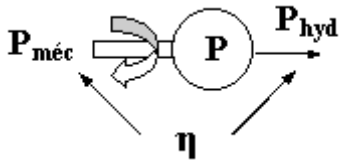
$$P_{hydr} = \frac{dW}{dt} = \frac{E.dm}{dt} = E.q_m \qquad \text{d'où} \qquad P_{hydr} = \rho.E.q_v$$

Les pertes d'énergie dans les machines sont traduites par un rendement. Ce dernier est le rapport de la puissance utile par la puissance absorbée :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

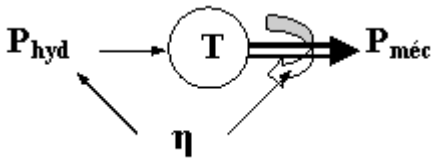
Donc, la puissance mécanique est :

- Dans le cas d'une pompe :



$$\eta = \frac{P_{hyd}}{P_{méc}} \qquad \text{d'où} \quad P_{méc} = \frac{P_{hyd}}{\eta}$$

- Dans le cas d'une turbine :



$$\eta = \frac{P_{méc}}{P_{hyd}} \qquad \text{d'où} \quad P_{méc} = \eta.P_{hyd}$$

III- Les fluides hydrauliques

III.1 Introduction

Le respect des performances prévues, la durée de vie, la sécurité de fonctionnement et, en définitive la rentabilité d'une installation hydraulique sont directement influencés par le choix du fluide hydraulique. Dans la plupart des applications, on utilise des fluides à base minérale qui entrent dans la classe des « huiles hydrauliques ». A côté des types d'huiles hydrauliques bien connus et utilisés sans problème, on distingue les fluides difficilement inflammables qui imposent un examen de

compatibilité avec les composants hydrauliques et souvent une limitation des performances de ces derniers. Les missions d'un fluide hydraulique sont très variées. Les principales sont les suivantes :

- ✓ Transmission de la puissance hydraulique de la pompe jusqu'au moteur ou vérin,
- ✓ Graissage de toutes les pièces en mouvement telles que : pistons, tiroir de distributeurs, paliers, éléments de commande et captage, etc.,
- ✓ Protection contre la corrosion des surfaces métalliques humidifiées.
- ✓ Évacuation des impuretés, boue, eau, air, etc.,
- ✓ Dissipation des calories dues aux pertes provoquées par les fuites et frottements.

En regard de ces missions, il faut prendre en considération les propriétés particulières de chaque classe définies par une classification de la norme.

III.2 Classification (tableau1)

Tableau1. Définitions des huiles hydrauliques selon la norme DIN 51 524 et 51 525

Types	Définitions
H	Huiles hydrauliques sans additifs. Elles ont les caractéristiques des huiles de graissage type C selon DIN 51 517. Ces huiles sont de moins en moins utilisées en hydraulique.
HL	Huiles hydrauliques avec additifs améliorant les performances anti-rouille et anti-oxydation. Ces huiles sont généralement utilisées dans les circuits hydrauliques travaillant jusqu'à des pressions de services de 200 bars. Elles résistent correctement aux sollicitations thermiques de ces circuits.
HLP	Huiles hydrauliques avec additifs permettant un usage en haute pression grâce à leurs performances anti-usure. Ces huiles trouvent leur emploi dans les circuits travaillant à des pressions de service au dessus de 200 bar (norme ISO future : HM).
HV	Huiles hydrauliques ayant des performances viscomètriques très améliorées. Les autres propriétés sont identiques à celles de la classe HLP.

Cette classification en grande catégorie est complétée par une série de chiffres définissant l'indice de viscosité. Dans beaucoup d'applications, du type mobile, pour des raisons de facilités d'approvisionnement, les constructeurs et surtout les utilisateurs adoptent les huiles moteurs et de transmissions selon la classification SAE. Il faut citer ici les huiles ATF (Automatic Transmission Fluid) qui sont utilisées dans les coupleurs hydrauliques.

III.3 Caractéristiques des huiles hydrauliques

Les caractéristiques des huiles hydrauliques sont présentées en vue d'une utilisation dans la régulation de systèmes électrohydrauliques.

L'huile est un fluide considéré comme un milieu continu déformable, sans rigidité, qui peut s'écouler, c'est-à-dire subir de grandes variations de forme sous l'action de forces qui sont d'autant plus faibles que ces variations de formes sont plus lentes. Les propriétés physiques les plus importantes du point de vue mécanique sont l'isotropie, la mobilité, la viscosité, ainsi que la compressibilité.

Les huiles que nous utiliserons seront isotropes, c'est-à-dire que leurs propriétés seront identiques dans toutes les directions de l'espace. Elles seront également mobiles c'est-à-dire qu'elles n'auront pas de forme propre : elles occuperont la forme du récipient qui les contient ou elles s'écouleront. En ce qui concerne la viscosité et la compressibilité, nous allons en donner quelques notions.

III.3.1 La viscosité

La viscosité d'un fluide est la propriété exprimant sa résistance à une force tangentielle. La viscosité est due principalement à l'interaction entre les molécules du fluide. Considérons un écoulement sous régime laminaire ; l'écoulement fluide de type laminaire se produit par glissement de lames et sans mélange entre les lames voisines formant un parallélépipède infiniment petit limité par plusieurs plans comme présenté dans la figure III.1. Alors la force retardatrice (due au frottement des molécules) qui prend naissance au sein du liquide entre les plans horizontaux, parallèlement à l'écoulement, est proportionnelle à la surface "ds", au gradient de vitesse "dv" et à un coefficient caractéristique du fluide $\mu(P,T)$ appelé viscosité dynamique qui est fonction de la pression et de la température.

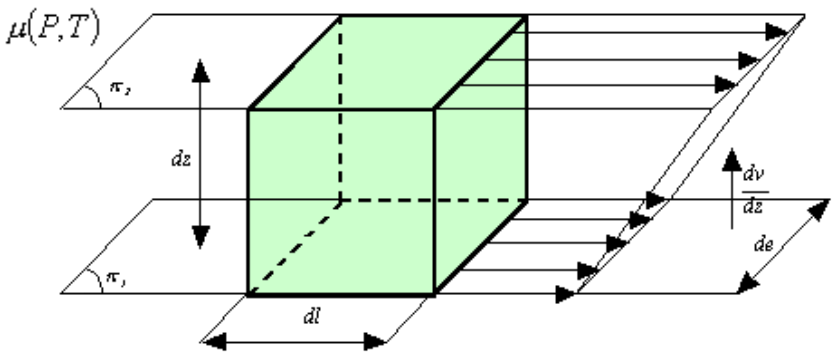


Figure III.1 Schéma de principe de la viscosité

La contrainte de cisaillement "τ" proportionnelle au gradient de vitesse est égale à

$$\tau = \mu \frac{dv}{dz}$$

où : - *dv* est le gradient de vitesse

- *dz* est la distance entre deux lames.

La relation liant les viscosités dynamique et cinématique est :

$$\nu(T,P) = \frac{\mu(T,P)}{\rho(T,P)}$$

où $\rho(P,T)$ est la masse volumique qui est fonction également de la température et de la pression.

La viscosité cinématique "ν" dépend fortement de la température. Il est donc nécessaire que la valeur de la viscosité de l'huile utilisée soit donnée pour une température précise. La relation de Mac Coull décrit la relation entre la température et la viscosité cinématique :

$$log_{10}\left(log_{10}(\nu + \alpha)\right) = m\ log_{10}T + b$$

où "ν" est la viscosité cinématique exprimée en "cSt" (centistokes), *T* est la température en °K , "α" est une constante égale à 0.7 lorsque $\nu > 1.5\ cSt$, *m* et *b* sont des constantes caractéristiques de l'huile.

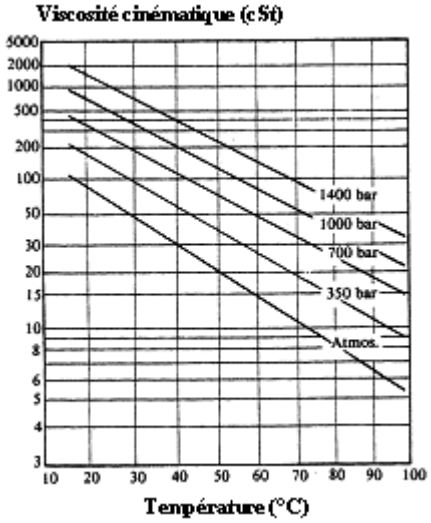


Figure III.2 Évolution de la viscosité cinématique " ν " en fonction de la température

Une transformation logarithmique des coordonnées viscosité-température permet de convertir les courbes en lignes droites.

La viscosité de l'huile augmente aussi avec la pression. Les variations de la viscosité en fonction de la pression sont données par la loi de BARUS :

$$\mu_p = \mu_{p0} e^{kp}$$

Où " μ_p" est la viscosité absolue à la pression *P*, "μ_{p0}" la viscosité absolue à la pression atmosphérique et "*k*" un coefficient de viscosité à la pression de valeur ~ 0.002 bar^{-1}.

La figure ci-dessous montre l'évolution de la viscosité en fonction de la pression.

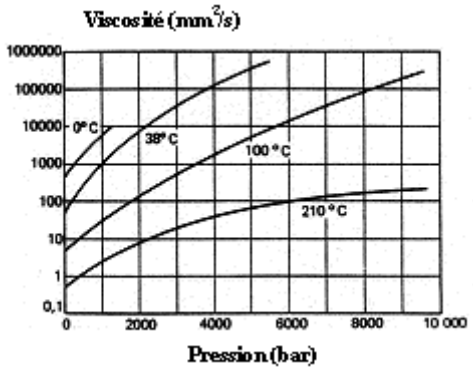


Figure III.3 Variation de la viscosité cinématique " ν " en fonction de la pression

III.3.2 La compressibilité

L'huile est considérée comme incompressible en hydraulique industrielle classique, ainsi les calculs effectués avec une valeur constante du coefficient de compressibilité fournissent des résultats satisfaisants. A l'inverse, en électrohydraulique, lors la modélisation d'un composant, l'approximation précédente ne peut convenable : l'huile doit être considérée comme compressible. Le module de compressibilité est caractérisé à une température donnée par la variation de sa masse volumique en fonction de la pression. La masse volumique $\rho(T, P)$ d'un corps, dépend de la température et de la pression, elle est définie par l'expression :

$$\rho(T,P) = \frac{m}{V}$$

Où : ***m*** et ***V*** sont la masse et le volume considérés

La figure III.4 illustre la variation de la masse volumique "ρ " dans les conditions de température et la pression, cas de l'huile Shell Tellus 37 :

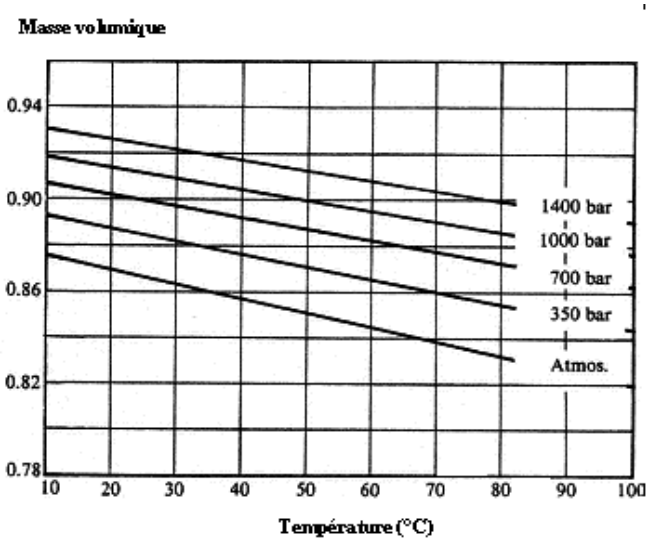


Figure III.4 Masse volumique de l'huile Shell Tellus 37

Trois modules de compressibilité sont définis : le module de compressibilité isotherme, le module de compressibilité isentropique et le module de compressibilité effectif.

1. Module de compressibilité isotherme

Le module de compressibilité isotherme "β_T " est homogène à une pression :

$$\beta_T(P,T) = \frac{1}{\chi_T(P,T)} = -V\left(\frac{\delta P}{\delta V}\right)_T$$

Où : $\frac{\delta V}{V}$ est la variation relative de volume et "δP" est la variation correspondante en pression.

Il peut aussi s'exprimer à partir de la masse volumique :

$$\beta_T(P,T) = \rho\left(\frac{\delta P}{\delta \rho}\right)_T$$

2. Module de compressibilité isentropique

Le module de compressibilité isentropique "β_S" est homogène à une certaine pression :

$$\beta_S(P,T) = -V\left(\frac{\delta P}{\delta V}\right)_{S(P,T)} = \frac{1}{\chi_S\,(P,T)}$$

Ce module de compressibilité est une fonction de la température et de la pression. A titre indicatif, la figure III.5 représente le module de compressibilité de l'huile Shell Tellus 37 :

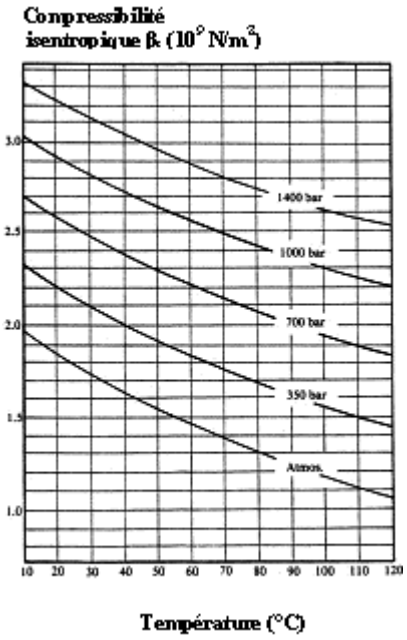


Figure III.5 Module de compressibilité isentropique "$\beta_S(P,T)$" de l'huile Shell Tellus 37

3. Module de compressibilité effectif

A la compressibilité de l'huile, il faut ajouter d'autres effets intervenant sur le module de compressibilité "β " (Bulk Modulus), en particulier l'élasticité des différentes enceintes, de la tuyauterie et du réservoir de l'installation ainsi que l'air entraîné délayé dans le fluide. On définit alors un module de compressibilité effectif "βe" prenant en compte tous ces phénomènes.

A titre d'exemple, dans le cas d'une installation hydraulique classique, les conditions habituelles de fonctionnement sont : P≈100 à 150 bar et T≈50 °C, le module de compressibilité effectif est égal à

$$\beta e \approx 10^5 bar = 110^9 \, Pa$$

La figure III.6 représente l'influence de l'air sur le module de compressibilité "βe" dans le cas isotherme où "α" est le ratio air/huile.

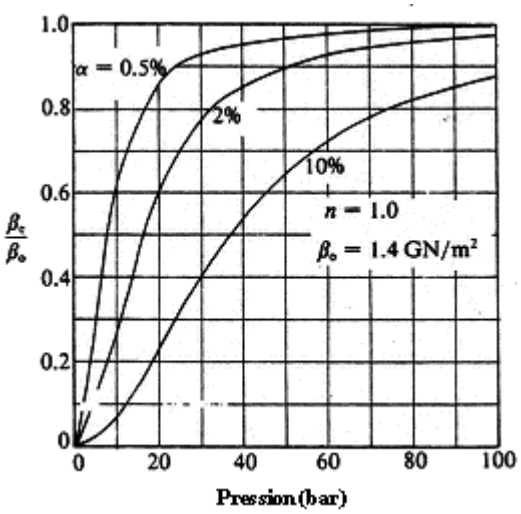


Figure III.6 Influence de l'air sur le module "βe"

4. Equation d'état isotherme du fluide

L'équation d'état (au sens thermodynamique) est définie par la relation f(ρ,V,T)=0. L'hypothèse d'un module de compressibilité constant permet d'expliquer la dépendance du volume avec la pression. En effet, d'après la définition du module de compressibilité exprimé à partir de la masse volumique, on obtient :

$$\frac{\delta\rho}{\rho} = \frac{\delta P}{\beta}$$

L'intégration de cette relation en supposant "β=Cte", ce qui amène aux expressions suivantes :

- la masse volumique en fonction de la pression : $\rho(P,T) = \rho(P_0,T) exp\left(\frac{P - P_0}{\beta(T)}\right)$

$$V(P,T) = V(P_0,T) exp\left(-\frac{P - P_0}{\beta(T)}\right)$$

- le volume en fonction de la pression :

Où "P_0 " est une pression de référence arbitraire.

IV- Les Filtres

IV.1 Rôle

Les polluants présents dans un circuit hydraulique occasionnent des dommages et/ou une usure prématurée des composants

Ces polluants peuvent être de deux types :

- **Solides**, par exemple :

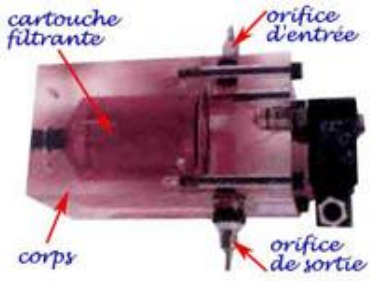
  - ✓ Particules venant de l'extérieur (exemple : silice)
  - ✓ Particules d'usure venant des composants

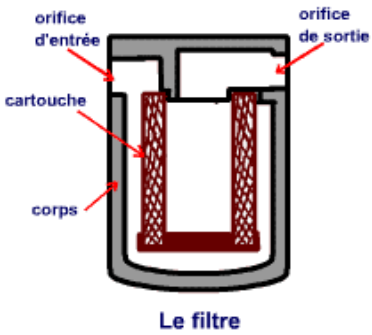
- **Solubles ou non solides**, par exemple :

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

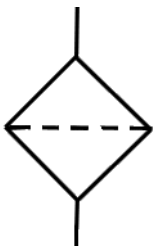
Nous ne décrirons que les filtres destinés à l'élimination des particules solides, en se rappelant qu'il existe des appareils et procédés spécifiques pour les autres polluants (l'eau en particulier).

VI.2 Description





Le filtre



Symbole

Figure IV.1 Les filtres

Les filtres les plus courants sont constitués de :

- ✓ Un corps
- ✓ Une cartouche filtrante ou 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…
- ✓ Un orifice d'entrée et un orifice de sortie

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

IV.3 Caractéristiques

Les principales caractéristiques d'un filtre sont :

- ✓ La porosité moyenne ou degré de filtration (elle correspond au diamètre moyen des particules arrêtées) ; pour les grosses particules arrêtées, le filtre est appelé crépine.
- ✓ Le montage (aspiration, refoulement,...)
- ✓ Le débit nominal
- ✓ La position de montage (verticale)

IV.4 Fonctionnement

La figure IV.2 montre le processus de filtration où le fluide qui contient les impuretés (représenté en rouge) provenant de l'utilisation, a été "nettoyé" par la cartouche filtrante. Le fluide est redevenu propre pour être renvoyé à l'utilisation (représenté en orange).

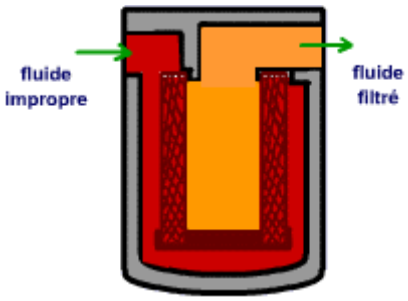


Figure IV.2 Processus de filtration

IV.5 Position de montage des filtres dans les circuits :

Il existe plusieurs possibilités de montage des filtres, selon leurs avantages et inconvénients. Il est possible de réaliser des montages :

- ***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.

- ***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 bâche confinée (c'est le cas général). Les parois des filtres doivent supporter la pression du circuit, ce qui donne des filtres volumineux, lourds et chers, requérant des protections contre le colmatage.

- ***Au retour :***

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

Avantages : la perte de charge étant insensible, 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 bâche.

Inconvénients : la bâche doit être confinée. Les filtres doivent être protégés contre le colmatage.

Cette solution est efficace et économique, elle est la plus fréquemment 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.

IV.6 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, ce qui conduit à son effondrement.

Les protections courantes sont :

- ✓ Les indicateurs de colmatage : ils fournissent 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…

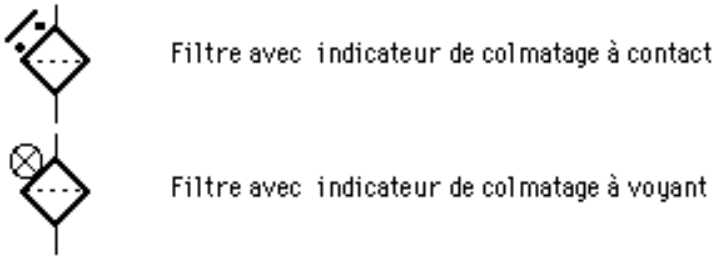


Figure IV.3 Les indicateurs de colmatage

- ✓ Les limiteurs de pression bipasses : dès que la perte de charge provoquée par le colmatage devient inacceptable, le débit d'huile passe à côté du filtre. Ce dispositif protège également le filtre lors des démarrages à froid, lorsque la viscosité de l'huile est trop importante. La plupart des filtres sont équipés de ce dispositif.

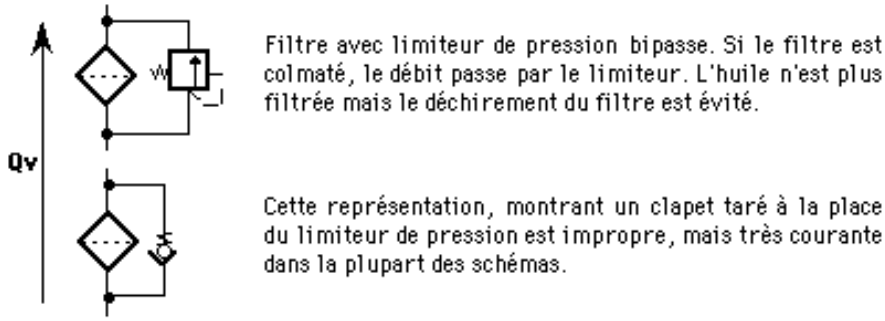


Figure IV.4 Les limiteurs de pression bipasses

- ✓ Les clapets anti-retour : ils évitent un débit à contresens, ce qui provoquerait un retour des impuretés accumulées dans le circuit. Cette protection est nécessaire en particulier pour les filtres au retour lorsque le circuit peut (ou doit) "réaspirer" de l'huile (présence de vérins en particulier).

Figure IV.5 Les clapets anti-retour

IV.7 Efficacité des filtres :

L'efficacité d'un filtre s'exprime par la taille des particules arrêtées, exprimée en µm (10^{-3} mm).

- ***Efficacité absolue :***

On indique alors la taille minimale des particules qui seront toutes arrêtées. Par exemple, un filtre absolu à 10 µm ne laissera passer aucune particule de taille > 10 µm. C'est une indication contraignante pour le fabricant, ce qui explique pourquoi cette garantie est peu utilisée ; on parle plus souvent d'efficacité relative.

- ***Efficacité relative :***

On donne l'efficacité relative d'un filtre, par taille nominale de particules, en indiquant le pourcentage de particules arrêtées. Par exemple, un filtre ayant une efficacité de 95% à 10 µm ne laissera passer que 5% de particules de **10 µm**, en un seul passage. On peut indiquer plusieurs efficacités pour des tailles de particules différentes.

Les fabricants utilisent souvent une autre façon de désigner l'efficacité, le **ß$_x$**. Ce **ß$_x$** est indiqué par taille de particule et calculé de la manière suivante :

$$\beta_x = \frac{Nombre\ de\ particules\ de\ taille\ \boldsymbol{x}\ en\ amont\ du\ filtre}{Nombre\ de\ particules\ de\ taille\ \boldsymbol{x}\ en\ aval\ du\ filtre}$$

Par exemple, un filtre ayant un ß$_{10}$ = 200 ne laissera passer que 0,5% de particules de 10 µm (son efficacité relative est alors de 99,5%).

IV.8 Remplissage et dépollution des installations :

- ***Remplissage :***

Les huiles industrielles livrées en fûts sont garanties à une classe de pollution maximale donnée, qui peut être insuffisante pour certaines installations. Il est alors nécessaire de remplir la bâche avec un groupe de remplissage équipé d'un filtre adéquat. Cette méthode peut être utile lorsque les fûts sont ouverts depuis longtemps (nombreuses ouvertures et fermetures de la bonde), pour éviter un remplissage d'huile polluée.

- ***Dépollution :***

Lorsqu'une installation présente une huile polluée (classe de pollution non acceptable) et que la vidange représente un coût important, on peut utiliser ce même groupe pour filtrer l'huile en dérivation

jusqu'à ce que celle-ci reprenne une classe de pollution acceptable. Le contrôle de la pollution en cours d'opération est nécessaire. Ces groupes peuvent également recevoir des "filtres" pour l'élimination de l'eau.