

SOMMAIRE

CHAPITRE 1: GENERALITES SUR L'HYDRAULIQUE	1
I. DEFINITION DE L'HYDRAULIQUE	1
II. DOMAINES D'APPLICATION DE L'HYDRAULIQUE:	1
III. DEFINITION DES GRANDEURS: PRESSION & DEBIT	2
IV. LE CIRCUIT DE BASE:	2
V. COUPE D'UN GROUPE HYDRAULIQUE :	3
CHAPITRE 2: LES ECOULEMENTS DES FLUIDES	4
I. GENERALITES:	4
II. LES REGIMES D'ECOULEMENT :	5
III. THEOREME DE BERNOULLI POUR UN FLUIDE REEL :	7
IV. PERTES DE CHARGE :	7
V. FLUIDE REEL TRAVERSANT UNE MACHINE :	9
CHAPITRE 3: LES FLUIDES HYDRAULIQUES	11
I. INTRODUCTION	11
II. CLASSIFICATION	11
III. CARACTERISTIQUES DES HUILES HYDRAULIQUES	12
CHAPITRE 4: LE RESERVOIR	19
I. ROLE	19
II. CONSTITUTION	19
III. SYMBOLISATION	20
CHAPITRE 5: LES FILTRES	21
I. ROLE	21
II. DESCRIPTION	21
III. SYMBOLISATION	22
IV. CARACTERISTIQUES	22
V. FONCTIONNEMENT	22

VI. POSITION DE MONTAGE DES FILTRES DANS LES CIRCUITS :	23
VII. SECURITE DES FILTRES :	24
VIII. EFFICACITE DES FILTRES :	25
IX. REMPLISSAGE ET DEPOLLUTION DES INSTALLATIONS :	26

CHAPITRE 6: LES POMPES	27
-------------------------------	-----------

I. DEFINITIONS	27
II. LES GRANDEURS CARACTERISTIQUES DES POMPES	28
III. CLASSIFICATION ET ANALYSE TECHNOLOGIQUE DES POMPES ET MOTEURS	31
IV. ANALYSE TECHNOLOGIQUE DES MACHINES VOLUMETRIQUES	32

CHAPITRE 7: LES ACCUMULATEURS	39
--------------------------------------	-----------

I. DEFINITION	39
II. SYMBOLISATION	39
III. DOMAINE D'UTILISATION:	39
IV. CONSTITUTION D'UN ACCUMULATEUR:	40
V. TYPES D'ACCUMULATEURS	40
VI. FONCTIONNEMENT:	43
VII. TRAVAUX SUR LES INSTALLATIONS :	44

CHAPITRE 8: LES ORGANES DE LIAISON	51
---	-----------

I. GENERALITES	51
II. TUYAUX RIGIDES ET FLEXIBLES	52
III. LES RACCORDS	52

CHAPITRE 9: LES MODULATEURS DE PUISSANCE	55
---	-----------

I. LE LIMITEUR DE PRESSION OU SOUPAPE DE SURETE	55
II. LE REDUCTEUR DE PRESSION	59
III. LE LIMITEUR OU REDUCTEUR DE DEBIT	61
IV. LES CLAPETS ANTI-RETOUR	62
V. LES DISTRIBUTEURS	65

CHAPITRE 10: LES ACTIONNEURS	69
-------------------------------------	-----------

I. LES VERINS HYDRAULIQUES	69
II. LES MOTEURS HYDRAULIQUES	73
CHAPITRE 11: LA NORMALISATION HYDRAULIQUE	81
I. DISPOSITION DU PLAN :	81
II. REPRESENTATION DES CONDUITES :	81
III. LE REPERAGE DES COMPOSANTS :	81
IV. LE REPERAGE DES ORIFICES DE RACCORDEMENT :	83
V. LE REPERAGE DES CONDUITES HYDRAULIQUES :	83
VI. RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES :	83
CHAPITRE 12: MAINTENANCE DES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES	85
I. INTRODUCTION A LA MAINTENANCE	85
II. MAINTENANCE PREVENTIVE D'UNE INSTALLATION HYDRAULIQUE	88
III. MISE EN SERVICE D'UNE INSTALLATION	92
IV. CONSIGNES A RESPECTER LORS D'UNE INTERVENTION SUR UN CIRCUIT HYDRAULIQUE	95
V. MAINTENANCE CORRECTIVE DES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES : DIAGNOSTIQUE ET CONTROLE	96
VI. MATERIEL MINIMUM NECESSAIRE AU CONTROLE	112
VII. SYNTHESE DES PRINCIPALES ANOMALIES DE FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES HYDRAULIQUES	115

Chapitre 1: Généralités sur l'hydraulique

I. 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 cette forme d'énergie qui est utilisée dans les systèmes hydrauliques industriels et mobiles.

II. 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 public : pelleteuse, niveleuse, bulldozer, chargeuse,...
- ✓ Machines agricoles : benne basculante, tracteur, moissonneuse-batteuse,...
- ✓ Manutention : chariot élévateur, monte-charge, ...

Les avantages des systèmes hydrauliques:

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

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

Les inconvénients des systèmes hydrauliques:

Les systèmes hydrauliques engendrent aussi des inconvénients :

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

Le but de cette partie est de faire une présentation succincte d'une application industrielle de l'hydraulique.



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

III. 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.

IV. Le circuit de base:

Pour transmettre l'énergie d'un point à un autre, il faut constituer un circuit hydraulique comme suit:

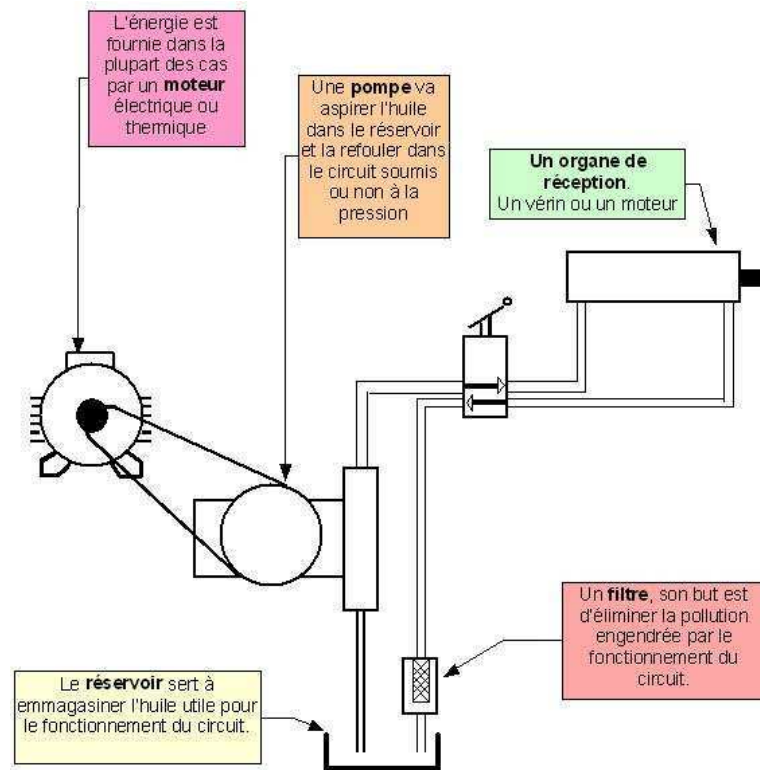


Figure 2. Circuit hydraulique de base

V. Coupe d'un groupe hydraulique :

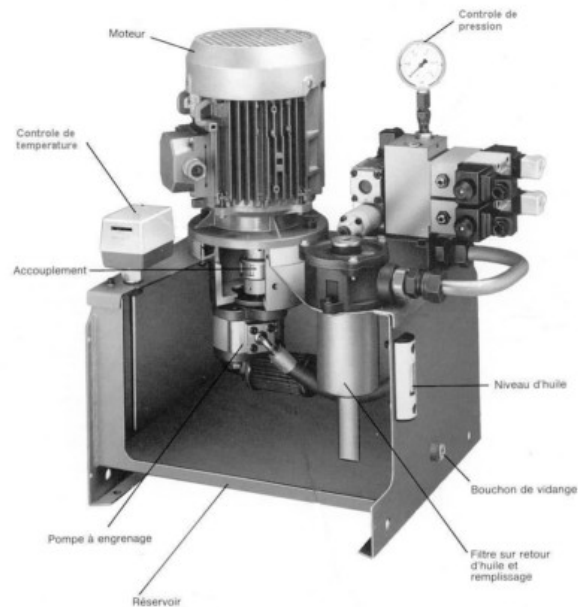


Figure 3. Coupe d'un groupe hydraulique

Chapitre 2: Les écoulements des fluides

I. Généralités:

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.

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.

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)

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

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 $\mu = 0$. (C'est théorique)

Un fluide est réel lorsque $\mu \neq 0$

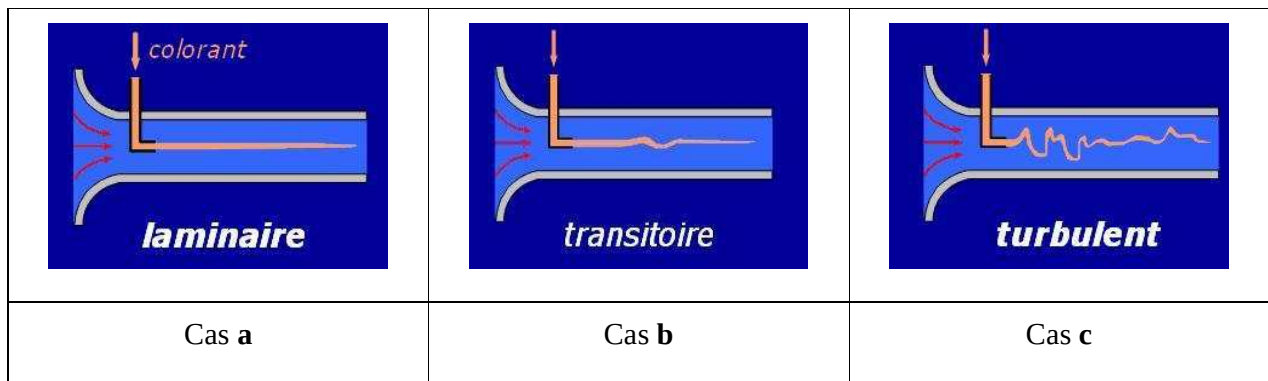
II. Les régimes d'écoulement :

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.

- ✓ **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 des divers fluides.

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

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

Avec :

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

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

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

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

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

Si Re < 2000 le régime est laminaire

Si 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 :

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

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.

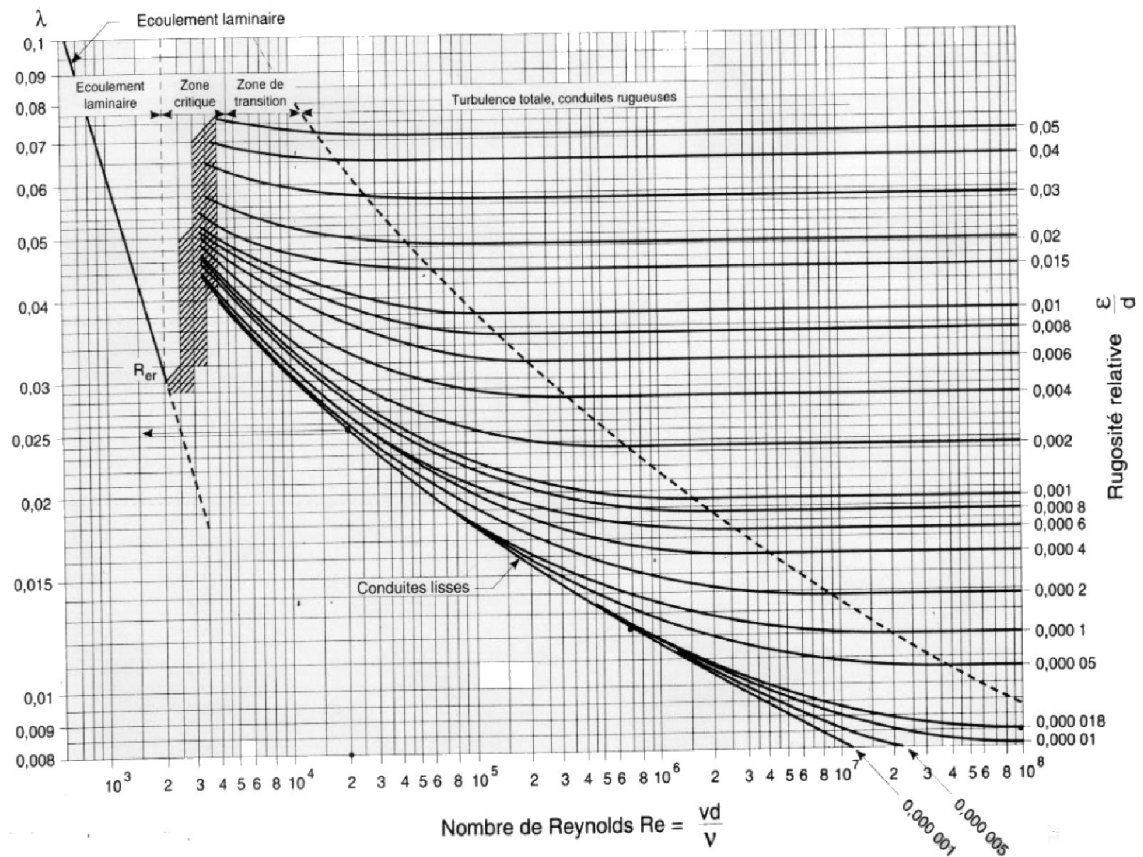


Figure 4. Courbe de Moody

III. 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 :

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

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

Les pertes de charge peuvent être exprimées en pression: $\Delta p_{1,2} = \rho \cdot g \cdot \Delta H_{1,2}$

IV. Pertes de charge :

Les pertes de charge sont à l'origine :

Des frottements entre les différentes couches de liquide et des frottement 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 **$Re < 10^5$** : on a la **loi de Blasius** : $\lambda = 0.316 Re^{-1/4} = (100 Re)^{-1/4}$
- ✓ Turbulent rugueux **$Re > 10^5$** : il y a d'autres lois tel que de **Blench**.

2. Pertes de charge singulières : ΔH_s

$$\Delta H_s = \lambda_s \frac{L_e}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = k \cdot \frac{v^2}{2g}$$

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**):

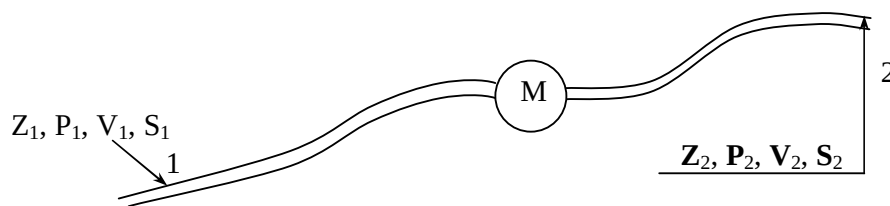
La perte de charge singulière est parfois caractérisée par une longueur équivalente (**L_e**) telle que:

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

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 :

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

V. Fluide réel traversant 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) : $E_{(1)} + E = E_{(2)} + E_{\text{perdu}}$

Le théorème de Bernoulli s'écrit alors :

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

La puissance échangée est une puissance hydraulique :

$$P_{\text{hyd}} = \frac{dW}{dt} = \frac{E \cdot dm}{dt} = E \cdot q_m \Rightarrow P_{\text{hyd}} = \rho \cdot E \cdot q_v$$

Les pertes d'énergie dans les machines sont traduites par un rendement. Ce dernier est le rapport

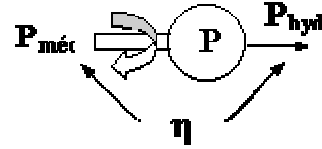
de la puissance utile par la puissance absorbée :

$$\eta = \frac{P_u}{P_{\text{abs}}}$$

Donc, la puissance mécanique est :

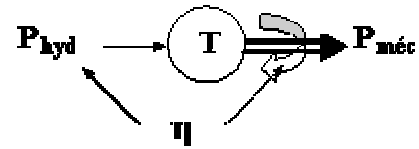
Dans le cas d'une pompe :

$$\eta = \frac{P_{hyd}}{P_{mec}} \quad \text{d'où :} \quad P_{mec} = \frac{P_{hyd}}{\eta}$$



Dans le cas d'une turbine :

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{hyd}} \quad \text{d'où :} \quad P_{mec} = \eta \cdot P_{hyd}$$



Chapitre 3: Les fluides hydrauliques

I. 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.

II. Classification

La norme DIN 51 524 et 51 525 donne les définitions pour les huiles hydrauliques.

Type	Définition
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 viscométriques 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. 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.

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.

Soient dans un écoulement fluide de type laminaire, c'est-à-dire qui se produit par glissement de lames et sans mélange entre les lames voisines, et un parallélépipède infiniment petit limité par plusieurs plans, 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 $\frac{dv}{dz}$ et à un coefficient caractéristique $\mu(P, T)$ du fluide appelé viscosité dynamique, lui-même fonction de la pression et de la température.

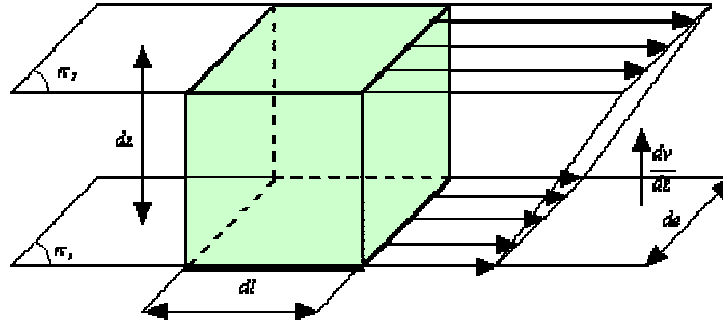


Figure 5. Schéma de principe de la viscosité

La force de contrainte de cisaillement τ proportionnelle au gradient de vitesse est égale à où $\tau = \mu \frac{dv}{dz}$ est le gradient de vitesse et dv 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 fonction également de la température et de la pression.

La viscosité cinématique 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 :

$$\log_{10}(\log_{10}(\nu + a)) = m \log_{10} T + b$$

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

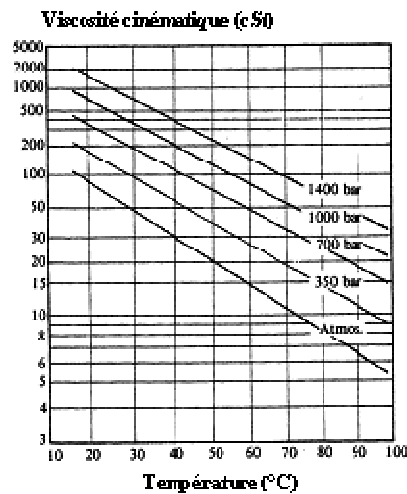


Figure 6. Évolution de la viscosité cinématique ν en fonction de la température

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/pression de valeur $\cong 0.002 \text{ bar}^{-1}$.

La figure ci-dessous donne la variation de la viscosité en fonction de la pression.

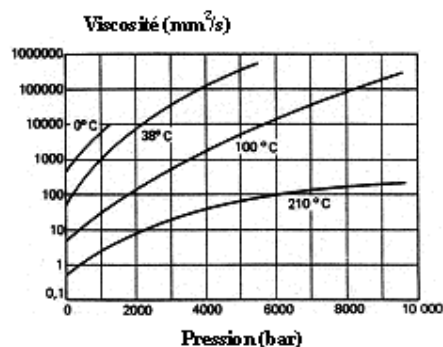


Figure 7. Evolution de la viscosité cinématique ν en fonction de la pression

2. La compressibilité

En hydraulique industrielle classique, l'huile est considérée comme incompressible et les calculs effectués avec une valeur constante du coefficient de compressibilité procurent des résultats satisfaisants.

En électrohydraulique, dans le cadre de la modélisation d'un composant, l'approximation précédente ne peut plus être faite : l'huile doit être considérée comme compressible. Son module de compressibilité est caractérisé, à une température donnée, par la variation de sa masse volumique en fonction de la pression. La masse volumique $\rho(P, T)$ d'un corps, définie par l'expression suivante

$\rho(P, T) = \frac{m}{V}$ où m et V sont la masse et le volume considérés, dépend de la température et de la pression. On donne, à titre d'exemple (figure ci-dessous), le cas de l'huile Shell Tellus 37 :

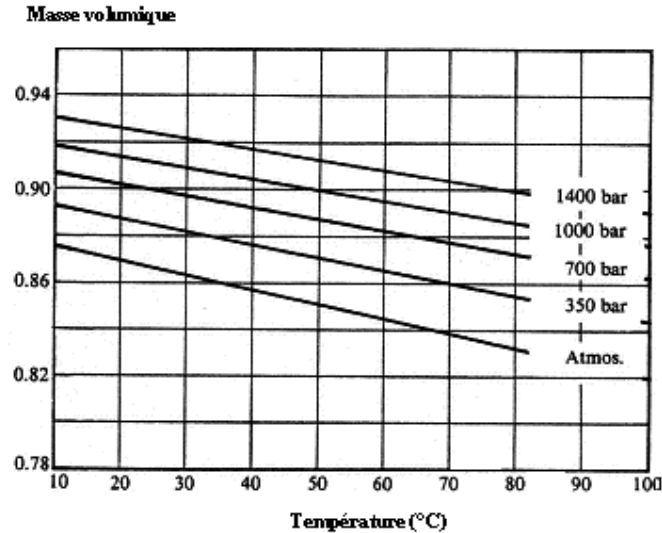


Figure 8. Masse volumique de l'huile Shell Tellus 37

On définit trois modules de compressibilité : 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 :

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

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 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 ci-dessous représente le module de compressibilité de l'huile Shell Tellus 37 :

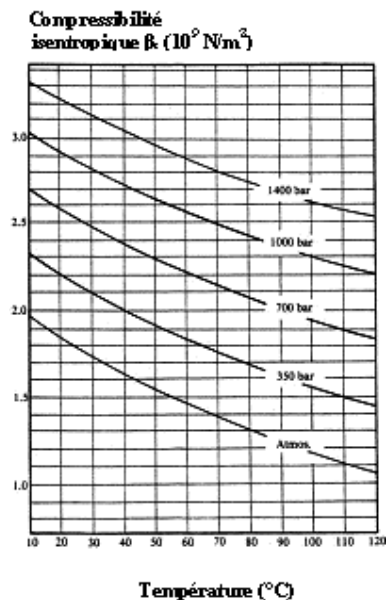


Figure 9. Module de compressibilité isentropique de l'huile Shell Tellus 37 $\beta_s(P, T)$

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 et dissous dans le fluide. On définit alors un module de compressibilité effectif β_e prenant en compte tous ces phénomènes.

Par exemple, dans le cas d'une installation hydraulique classique, les conditions habituelles de fonctionnement sont $P \approx 100 \text{ à } 150 \text{ bar}$, $T \approx 50^\circ \text{C}$. Pour ces valeurs, le module de compressibilité effectif est égal à $\beta_e \approx 10^3 \text{ bar} = 10^8 \text{ Pa}$.

A titre indicatif, nous donnons le graphe représentant l'influence de l'air sur le module de compressibilité dans le cas isotherme où α est le ratio air/huile.

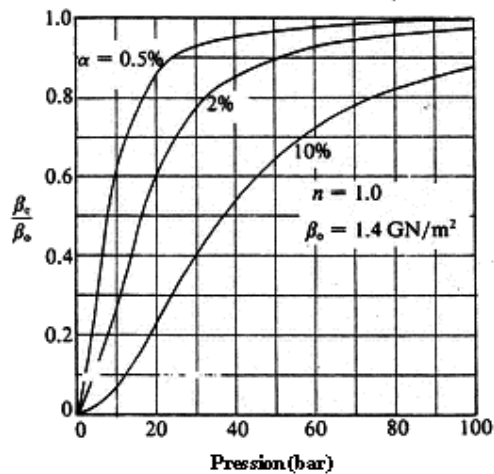


Figure 10. Influence de l'air sur le module β_e

3. Equation d'état isotherme du fluide

L'équation d'état (au sens thermodynamique) est définie par la relation $f(P, V, T) = 0$. 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 :

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dP}{\beta}$$

L'intégration de cette relation en supposant $\beta_e = \text{Cste}$ conduit à l'expression de la masse volumique en fonction de la pression puis à l'expression du volume en fonction de la pression :

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

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

où P_0 est une pression de référence arbitraire.

Chapitre 4: Le réservoir

I. Rôle

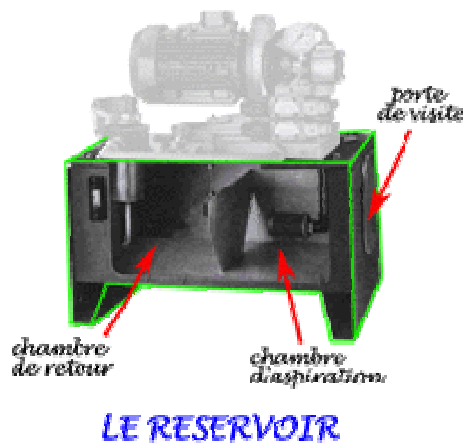
Le réservoir sert principalement:

- ✓ Au stockage de la quantité d'huile nécessaire au fonctionnement correct du système
- ✓ A protéger l'huile contre les éléments extérieurs nuisibles
- ✓ Au refroidissement de l'huile qui revient du système
- ✓ Au support des autres composants du groupe hydraulique tels que le moteur qui entraîne la pompe, le filtre...

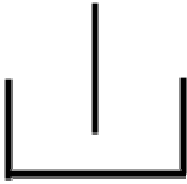
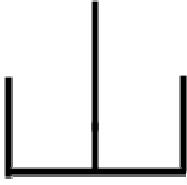
II. Constitution

Le réservoir se compose principalement d'une cuve en acier qui se subdivise généralement (par une cloison) en deux parties qui sont:

- ✓ Une chambre d'aspiration
- ✓ Une chambre de retour
- ✓ Une porte de visite permet le nettoyage du fond du réservoir et les éventuels interventions de maintenance.



III. Symbolisation

Réservoir à conduite débouchante au dessus du fluide	
Réservoir à conduite débouchante au dessous du fluide	

Chapitre 5: Les Filtres

I. 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 :

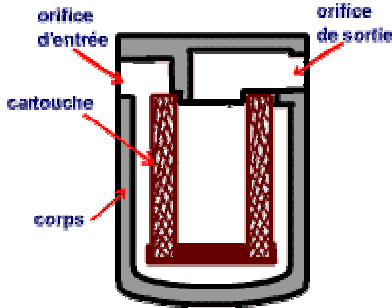
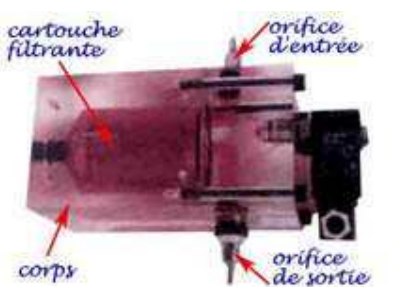
- ✓ Particules venant de l'extérieur (exemple : silice)
- ✓ Particules d'usure venant des composants

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

- ✓ Eau (condensation, infiltration...)
- ✓ Lubrifiant, fluide de coupe, solvant
- ✓ Air en émulsion
- ✓ 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).

II. Description

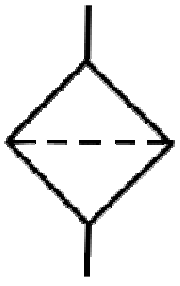
 Le filtre	 LE FILTRE (forme didactique)
Les filtres les plus courants sont constitués de: ✓ Un corps ✓ Une cartouche filtrante ou grille dont la maille est appropriée à la taille des particules à	

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.

III. Symbolisation

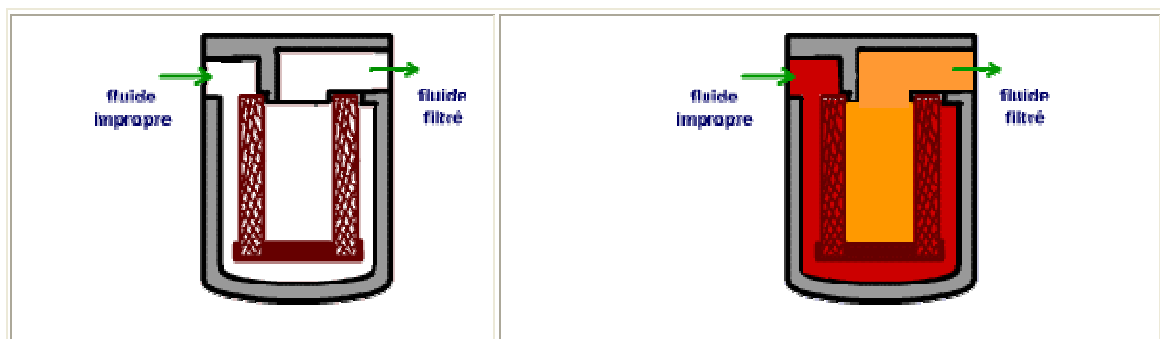
Désignation	Symbole
Le filtre	

IV. Caractéristiques

Les principales caractéristiques d'un filtre sont:

- ✓ Sa porosité moyenne ou degré de filtration (elle correspond au diamètre moyen des particules arrêtées); si ce sont des grosses particules qui sont arrêtées, le filtre est appelé crépine.
- ✓ Son montage (aspiration, refoulement,...)
- ✓ Son débit nominal
- ✓ Sa position de montage (verticale)

V. Fonctionnement



L'image ci-dessus représente un filtre vide qui ne travaille pas pour le moment.	L'image ci-dessus montre le processus de filtration où le fluide qui contient d'impuretés (représenté en rouge) provenant de l'utilisation, a été "nettoyé" de ses impuretés par la cartouche filtrante, ce fluide est redevenu propre pour être renvoyé à l'utilisation (représenté en orange).
---	---

VI. Position de montage 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 bâche 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.

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.

VII. 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: 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...

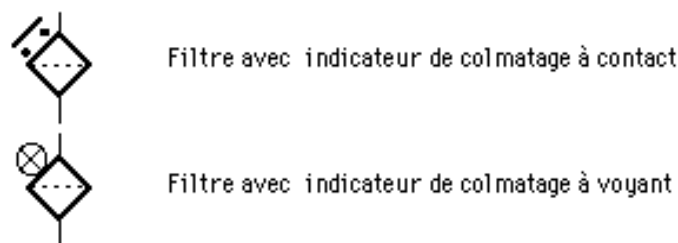


Figure 11. Les indicateurs de colmatage

- ✓ 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.

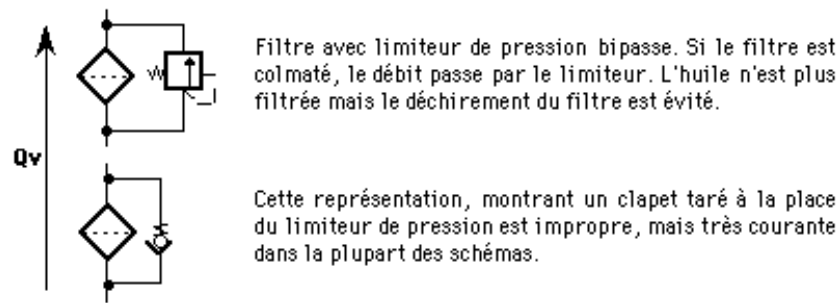


Figure 12. Les limiteurs de pression bipasses

- ✓ 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 13. Les clapets anti-retour

VIII. Efficacité des filtres :

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

1.Efficacité absolue:

On indique alors la taille minimale des particules qui seront toutes arrêtées. Par exemple, un filtre absolu à $10 \mu\text{m}$ ne laissera passer aucune particule de taille $> 10 \mu\text{m}$.

C'est une indication contraignante pour le fabricant, ce qui explique pourquoi cette garantie est peu utilisée; on parle plus souvent d'efficacité relative.

2.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 $10 \mu\text{m}$ ne laissera passer que 5% de particules de **$10 \mu\text{m}$** , 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 β_x . Ce β_x est indiqué par taille de particule et calculé de la manière suivante:

$$\beta_x = \frac{\text{nombre de particules de taille } x \text{ en } \mathbf{amont} \text{ du filtre}}{\text{nombre de particules de taille } x \text{ en } \mathbf{aval} \text{ du filtre}}$$

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

IX. Remplissage et dépollution des installations :

1.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.

2.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 bien sûr nécessaire.

Ces groupes peuvent également recevoir des "filtres" pour l'élimination de l'eau.

Chapitre 6: Les pompes

I. Définitions

Les pompes et les moteurs sont des appareils qui convertissent l'énergie hydraulique en énergie mécanique (moteur) ou inversement (pompe).

Dans le cas de la pompe hydraulique, celle-ci puise généralement le fluide dans un réservoir approprié, par le côté aspiration et elle débite ce fluide par son côté refoulement.

Pour les moteurs hydrauliques, ceux-ci transforment à nouveau l'énergie produite par les pompes en énergie mécanique nécessaire à un récepteur à mouvement de rotation. Les moteurs hydrauliques ont, en général, la même constitution que les pompes hydrauliques de même type.

1.Modèle fonctionnel : Pompe hydraulique

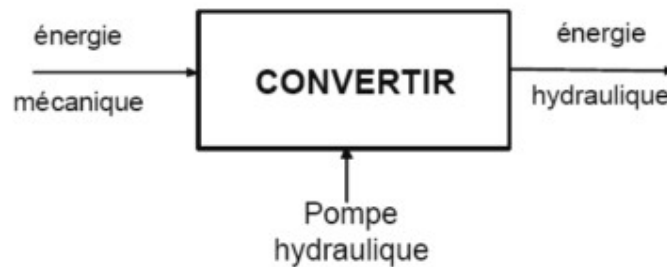
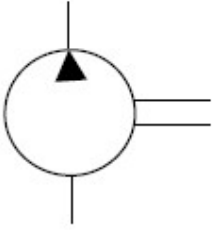
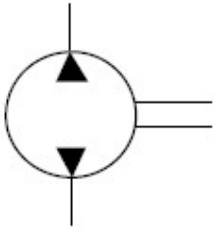
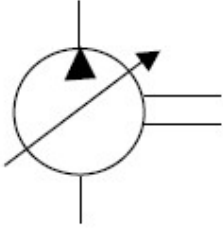
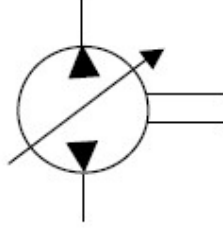
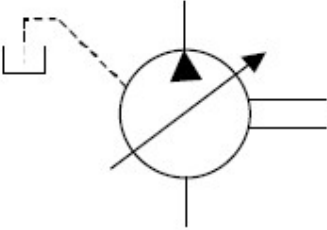
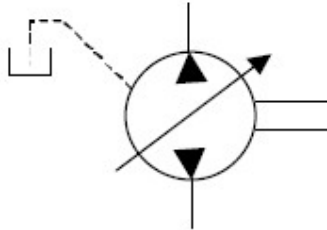


Figure 14. Modélisation de la pompe hydraulique

Figure 15.

Caractéristiques MOE	Vitesse de rotation en tours/minute (tr/mn) Couple en Newton x mètre (N.m)
Caractéristiques MOS	Le débit en L/min

2.Symboles des pompes hydrauliques

	1 sens de débit	2 sens de débit
Pompe à débit fixe		
Pompe à débit variable		
Pompe à débit variable avec drain		

II. Les grandeurs caractéristiques des pompes

1.La cylindrée

C'est la quantité d'huile engendrée (aspirée ou refoulée) pendant un cycle. Elle s'exprime en volume/cycle comme par exemple cm³/tr (moteur et pompes). On distingue deux sortes de cylindrées:

- ✓ La cylindrée géométrique (ou théorique) qui est calculée sur plan à partir des dimensions et formes du composant. Cette cylindrée ne tient pas compte des fuites internes, c'est celle qu'aurait le composant s'il était parfait.
- ✓ La cylindrée réelle qui tient compte des fuites internes. Ces fuites dépendent de nombreux paramètres : viscosité de l'huile, pression d'utilisation, vitesse d'utilisation, âge du composant, etc. La cylindrée réelle est donc variable et fonction de ces paramètres.

Ces cylindrées sont déterminées par les constructeurs (essais) et sont indiquées dans les catalogues en fonction des différents paramètres.

2. Les rendements

Le rendement volumétrique r_v caractérise les fuites internes de ces composants et dépend évidemment des mêmes paramètres que la cylindrée réelle.

Le rendement mécanique r_m caractérise les pertes par frottements et les pertes de charge internes.

Le rendement global r_g , lui, caractérise le rapport entre la puissance entrant dans le composant et celle en ressortant (définition de tout rendement énergétique). Ce rendement ne peut être déterminé que par des essais et il est indiqué par les constructeurs sous forme de tableaux ou de courbes. Le rendement global est donné par la formule suivante :

$$r_g = r_v \times r_m$$

On établit la relation entre les deux cylindrées et le rendement volumétrique:

Pour une pompe :

$$\text{Cylindrée réelle} = \text{Cylindrée géométrique} \times r_v$$

(En effet, la pompe réelle fournit moins d'huile par tour que la pompe parfaite)

Pour un moteur:

$$\text{Cylindrée réelle} = \text{Cylindrée géométrique} / r_v$$

(En effet, le moteur réel absorbe plus d'huile par tour que le moteur parfait).

3. Le débit

Le débit volumique Q_v fourni (pompe) ou absorbé (moteur) :

$$Q_v = N \times \text{Cylindrée réelle}$$

N : étant la fréquence de rotation de l'arbre.

L'unité de Q_v sera en [unité de volume de la Cylindrée] / [unité temps de N]

4. Le couple nécessaire à l'entraînement de l'arbre

Si le rendement d'une pompe (ou d'un moteur) était de 1, alors les puissances d'entrée et de sortie seraient identiques, c'est à dire que: $p \times Q_v = C \times \Omega$. En remplaçant Q_v par son expression précédente on arrive à :

$$C = \frac{pNC_{\text{cylindrique}}}{\Omega} \quad \text{or comme} \quad \frac{N}{\Omega} = \frac{1}{2\pi} \quad \text{alors} \quad C = \frac{pC_{\text{cylindrique}}}{2\pi}$$

On considère également que les pertes volumétriques (fuites) n'ont pas d'effet sur le couple, en effet seules la pression et les surfaces actives (pistons, engrenages, palettes, etc.) entrent en compte dans la détermination géométrique du couple.

Seuls influent les frottements (paliers, joints, etc.) et les pertes de charges internes. Or on peut considérer, à bas régime, que ces pertes sont faibles devant les pertes volumétriques, en conséquence on admet la formule suivante comme acceptable :

$$C = \frac{p \times \text{cylindrée géométrique}}{2\pi}$$

Si les pertes mécaniques et de charges sont considérées comme négligeables

Si les pertes mécaniques et pertes de charge ne sont pas négligeables, il faut multiplier le couple par le rendement mécanique r_m .

Si des moteurs sont raccordés en série ou s'il y a un freinage à l'échappement, alors il faut prendre en compte, dans la formule précédente, la différence de pression aux orifices de chaque moteur :

$$(\Delta P = P_{\text{admission}} - P_{\text{échappement}}) .$$

Pour tenir compte des pertes de charge et des pertes mécaniques, il peut être nécessaire de disposer des courbes utilisateurs (figure ci-dessous) établies par les essais du fabricant. Le couple est alors différent et dépend du régime.

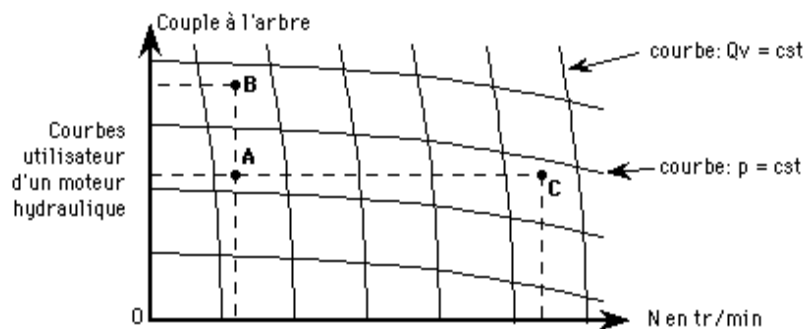


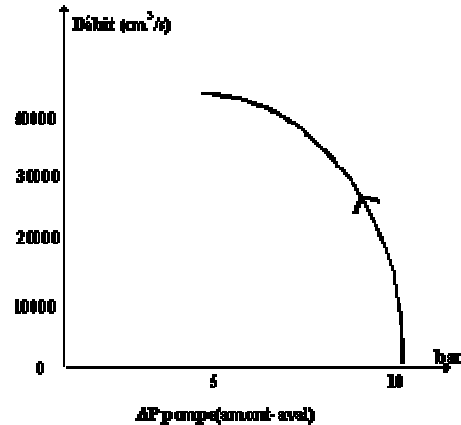
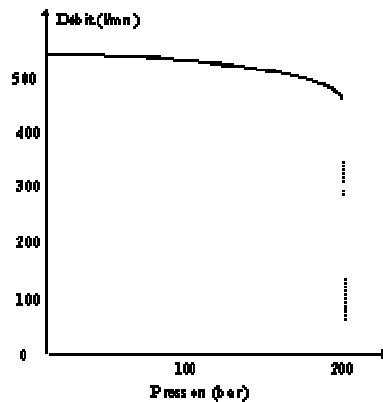
Figure 16. Courbes utilisateurs Couple / vitesses

En B, le couple est plus important qu'en A, le moteur demande plus de débit pour le même régime (fuites internes). En C, la vitesse est plus importante qu'en A, le moteur demande plus de pression pour le même couple (frottements mécaniques et pertes de charge).

III. Classification et analyse technologique des pompes et moteurs

Les pompes hydrauliques se classent en deux familles : hydromécaniques et volumétriques :

Les trois figures qui suivent présentent les caractéristiques $Q = f(P)$ des deux familles de pompes ainsi que le domaine d'application.



Courbe typique $Q = f(P)$ pour les pompes volumétriques

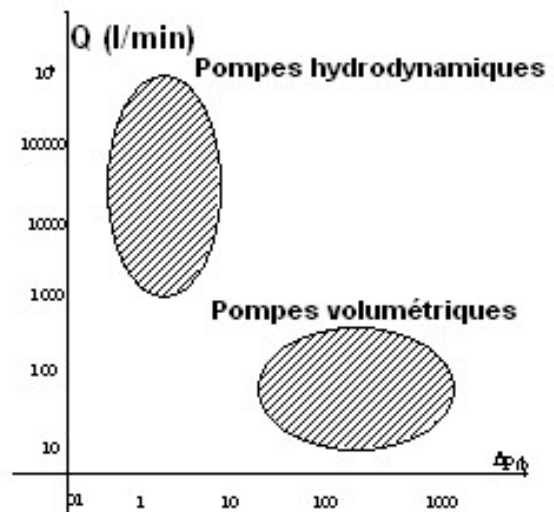


Figure 17. Domaine d'application des pompes

Nous nous intéresserons plus spécialement dans ce cours aux pompes volumétriques utilisées dans les asservissements électrohydrauliques.

1. Les machines hydrodynamiques

Elles se présentent comme des faisceaux de conduites non fermées solidaires d'un axe tournant qui les entraîne en rotation et qui sont, de ce fait, soumises «au champ centrifuge». Ce sont les forces

qui s'exercent entre parois mobiles et fluide qui permettent la transformation d'énergie mécanique en énergie hydraulique. Les pompes hydrodynamiques se situeront donc vers les grands débits et faibles pressions, plus précisément vers les grandes valeurs du rapport débit sur pression.

2. Les machines volumétriques

Les machines volumétriques fonctionnent à la manière d'une seringue : une action mécanique (augmentation de volume) crée un vide partiel à l'aspiration et une deuxième action mécanique (diminution du volume) oblige le fluide à pénétrer dans le circuit, c'est la phase de refoulement. Ces machines volumétriques permettent, dans de bonnes conditions, la mise en œuvre de grandes pressions et de débits faibles. Ces considérations expliquent en partie que les pompes des systèmes de commande et d'asservissement à fluide sous pression soient toujours des pompes volumétriques qu'ils travaillent ou non à pression constante.

On peut classer les machines volumétriques de cette manière :

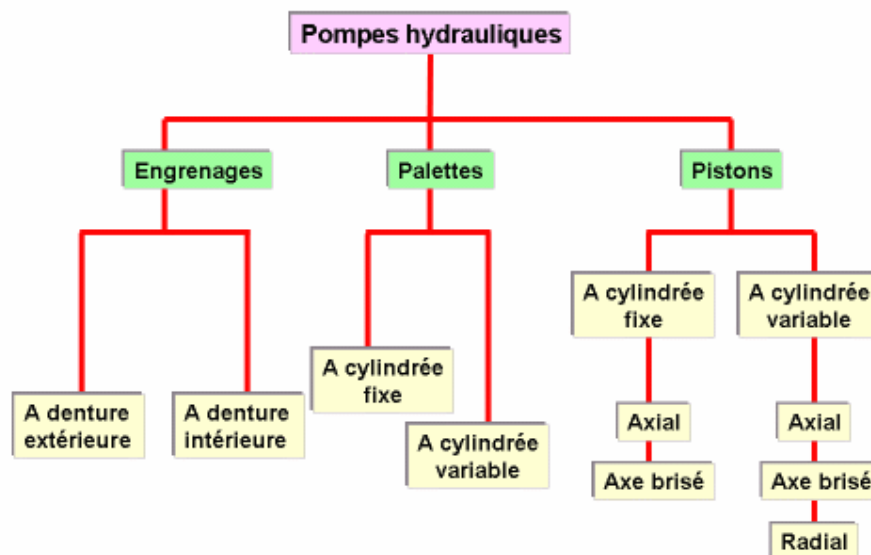


Figure 18. Classification des machines volumétriques

Nous allons donner ci-après les schémas technologiques, photos, etc. des principales pompes et moteurs utilisés. Cette présentation n'est pas exhaustive.

IV. Analyse technologique des machines volumétriques

1. Pompes et moteurs à pistons axiaux

On entend par ce terme: «unité dont les pistons sont disposés parallèlement à l'axe». Ces unités sont adaptées, de par leur technologie, à des vitesses relativement élevées. Elles peuvent être à

cylindrée fixe ou variable. La gamme de pressions pouvant aller jusqu'à 450 bar. La course des pistons est provoquée par l'inclinaison d'un plateau par rapport au barillet contenant les pistons. Si l'inclinaison est variable, alors la cylindrée est variable. Le nombre de pistons détermine la stabilité du débit aux orifices : en effet chaque piston est soit à l'aspiration, soit au refoulement, le débit présente donc des irrégularités d'autant plus grandes que le nombre de pistons est faible ou que celui-ci est pair.

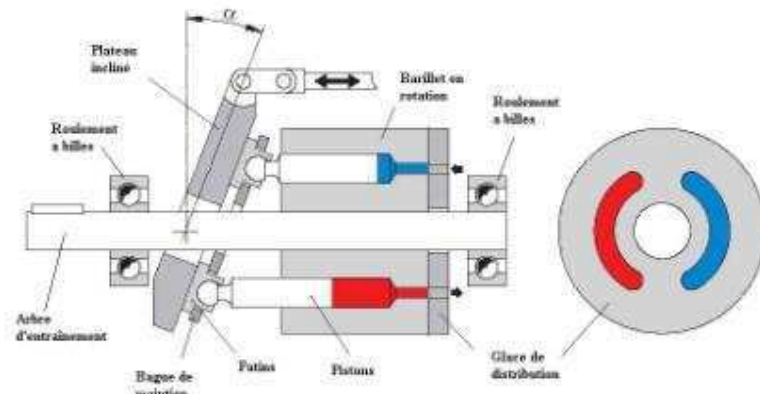


Figure 19. Pompe à pistons axiaux à axe droit, plateau inclinable

Certaines unités, dites "à axe brisé", sont classées dans les unités à pistons axiaux à cause de leur technologie et de leurs caractéristiques similaires. Ces unités ont une cylindrée fixe, fonction de l'angle arbre/barillet.

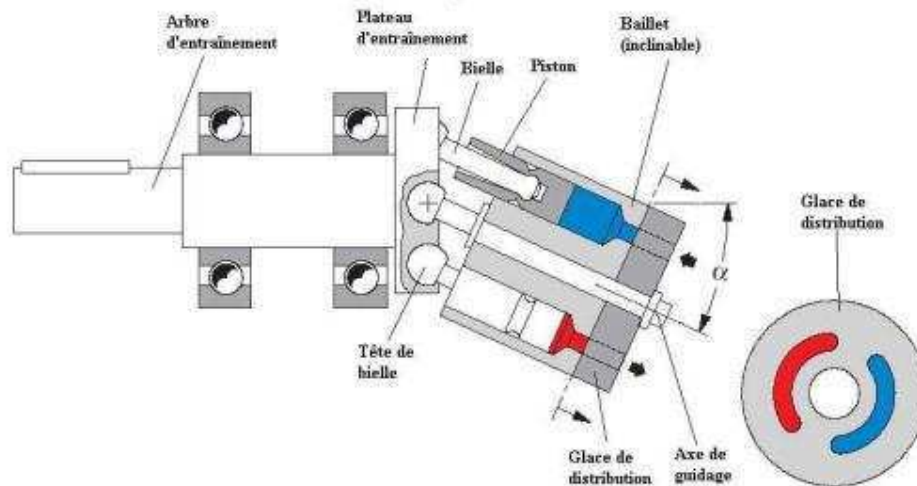


Figure 20. Pompe à axe brisé à barillet inclinable

Dans ce principe (pompe à axe brisé, barillet inclinable), le barillet est entraîné par les pistons qui reçoivent eux-mêmes leur mouvement par le plateau d'entraînement. Le barillet est guidé soit par un axe central soit logé dans un roulement à aiguilles. Il peut être incliné par rapport à l'axe d'entraînement. La cylindrée de la pompe varie en fonction de l'angle d'inclinaison du barillet. Ce principe de construction permet de réaliser des pompes à débit « réversibles ».

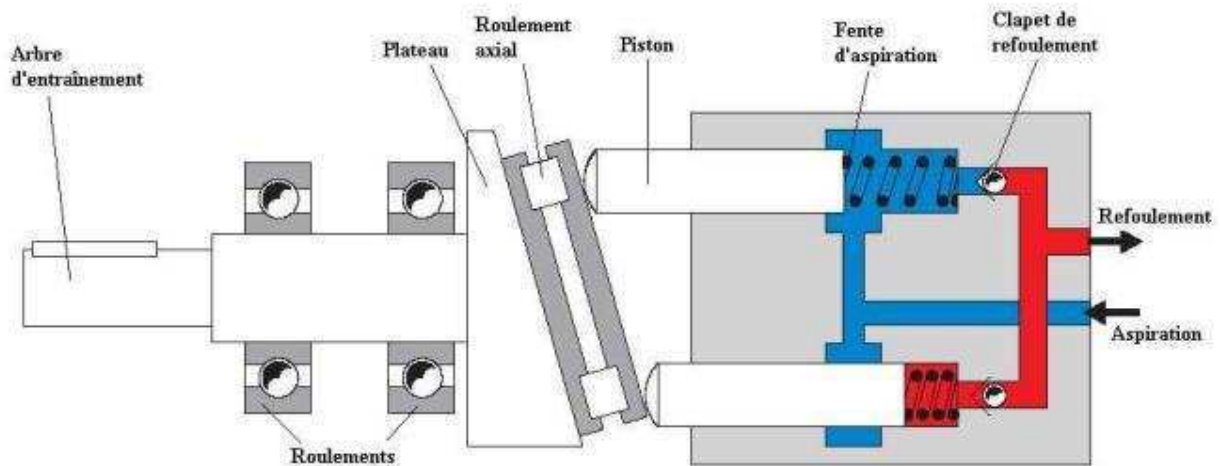


Figure 21. Pompe à plateau oscillant (pistons axiaux à clapets)

Dans ce principe (pompe à plateau oscillant), l'arbre d'entraînement fait osciller le plateau d'entraînement, qui transmet un mouvement alternatif aux pistons immobilisés en rotation. Les pistons sont appliqués par des ressorts de rappel sur le plateau.

Un palier axial avec un roulement encaisse les forces développées par le couple piston-plateau d'entraînement. Le redressement du sens des débits des différents pistons est réalisé, soit par une distribution à clapets, soit par des fentes sur les pistons. L'angle du plateau oscillant n'est pas modifiable, de ce fait, la cylindrée d'une telle pompe est constante. De par ce procédé très simple, le débit peut être varié de façon continue.

2.Pompes et moteurs à engrenages

Les pompes et moteurs à engrenage sont constituées de 2 pignons engrenant dans un boîtier, lorsque les dents se quittent, le volume inter dents augmente ; c'est l'aspiration. L'huile transite ensuite entre les dents par la périphérie de l'engrenage. Lorsque les dents engrènent, le volume inter dents diminue ; c'est le refoulement.

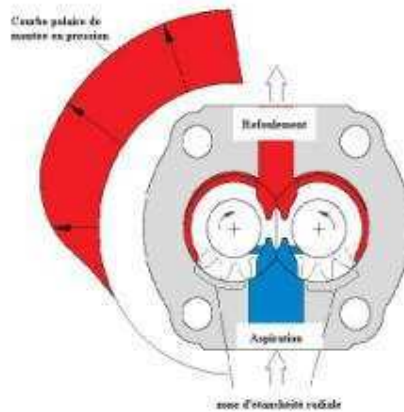


Figure 22. Principe de la pompe à engrenage

L'engrenage peut être à denture externe ou interne. Ces unités sont adaptées à des vitesses (≤ 2000 tr/min) et pressions moyennes (engrenage externe $\gg 250$ bar, engrenage interne $\gg 250-300$ bar). Elles sont à cylindrée fixe. Leur prix est modique, et elles sont assez bruyantes. Les pompes à engrenages peuvent être accouplées les unes à la suite des autres (jusqu'à 4) sur le même arbre, et entraînées par le même moteur. Les équilibrages hydrostatiques sur les paliers sont poussés, car les étanchéités internes se font sur des distances faibles (dents). Les jeux doivent être nuls, sans effort pièces / pièces. En conséquence elles ne supportent souvent qu'un seul sens de rotation, à moins de démonter et d'inverser certaines pièces.

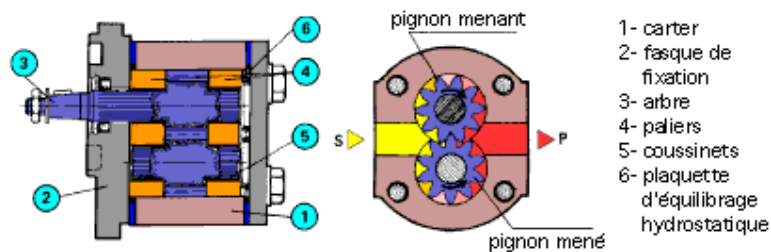


Figure 23. Source Rexroth - Pompe à engrenage externe ($p < 250$ bar)

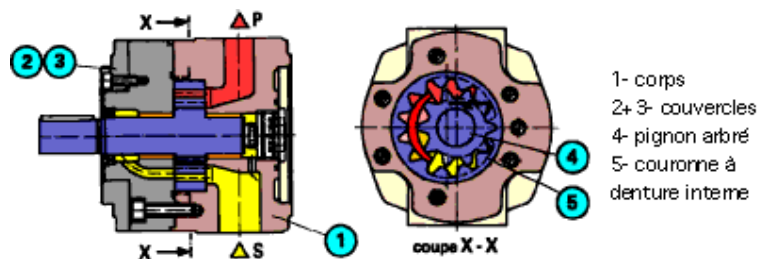


Figure 24. Source : Rexroth- Pompe à engrenage interne ($p < 210$ bar)

Les deux figures ci-dessous représentent le synoptique et la photographie d'une pompe à engrenage externe :

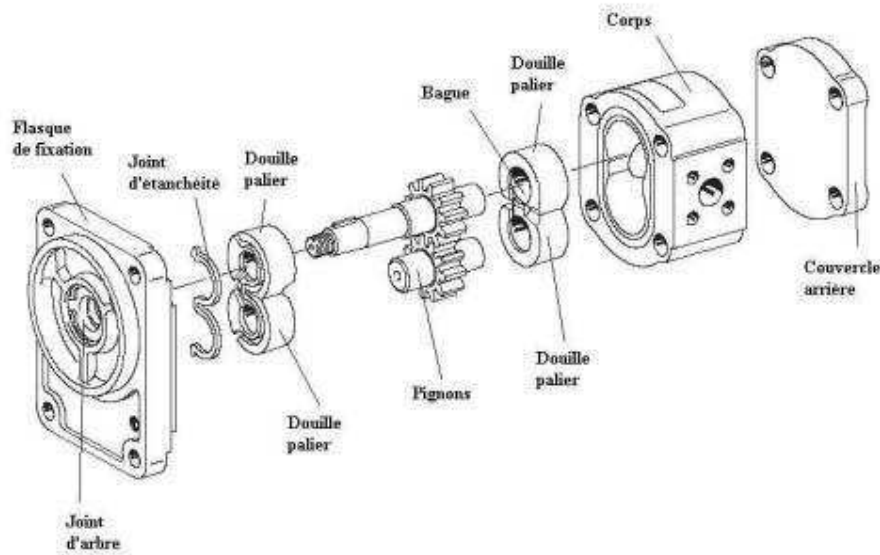


Figure 25. Schéma d'une pompe à engrenage externe

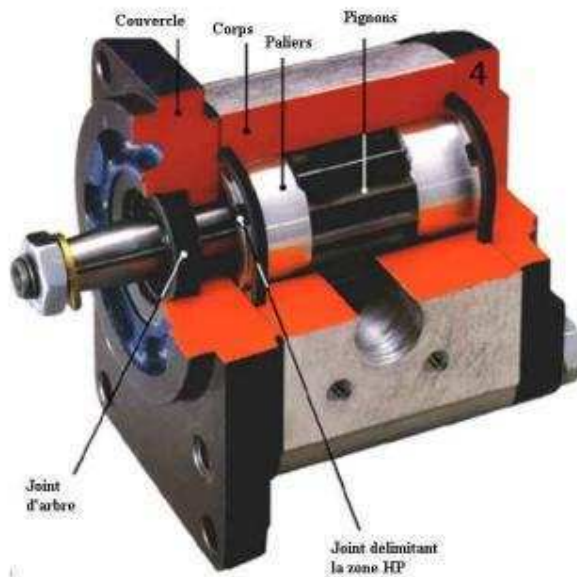


Figure 26. Photo d'une pompe à engrenage externe

3. Pompes et moteurs à palettes

Un rotor tourne dans un anneau excentré. Le volume compris entre ces deux éléments est fractionné par des palettes coulissant dans le rotor. Sur un demi-tour le volume inter palettes augmente ; c'est l'aspiration. Sur l'autre demi-tour, le volume inter palettes diminue, c'est le refoulement (voir figure ci-dessous).

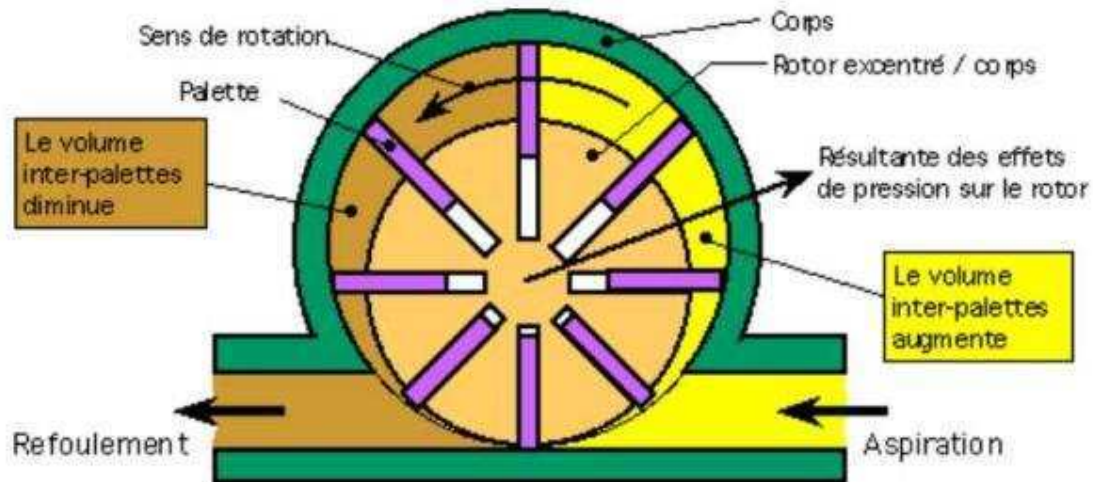


Figure 27. Principe d'une pompe à palettes

Le modèle de pompe à palettes ci-dessus présente l'inconvénient d'une action de pression sur le rotor importante. Pour remédier à cela, les constructeurs rendent la pompe symétrique pour équilibrer les effets de pression sur le rotor. Les paliers de celui-ci ne supportent alors aucune action importante (voir figure ci-après).

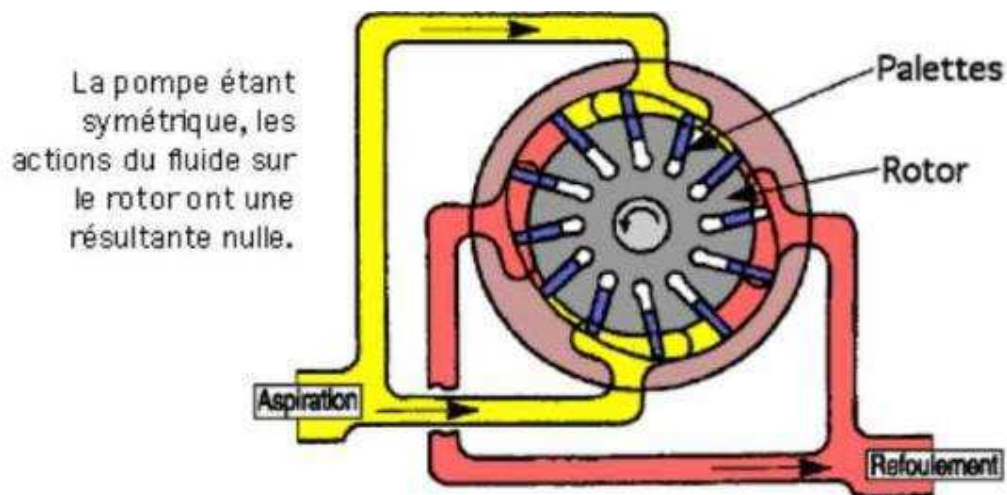


Figure 28. Principe d'une pompe à palette

Il existe des pompes à palettes à cylindrée variable, la variation de cylindrée s'obtient en faisant varier l'excentration entre le rotor et le corps (stator).

Chapitre 7: Les accumulateurs

I. Définition

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...

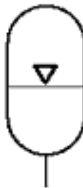
Dans certains cas l'utilisation d'un accumulateur est indispensable pour la sécurité, ex élévateur des charges.

Accumulateurs hydropneumatiques

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)



II. Symbolisation

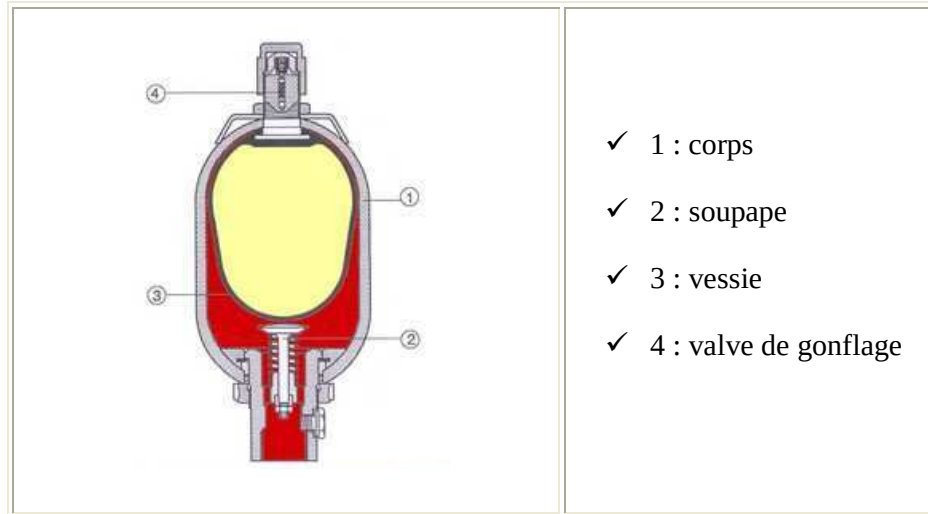
	
Accumulateur sans précontrainte	Accumulateur avec précontrainte au gaz

III. 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.

IV. Constitution d'un accumulateur:



V. Types d'accumulateurs

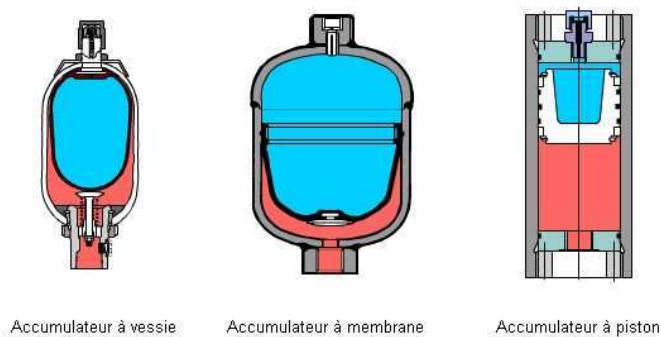


Figure 29. Types d'accumulateur

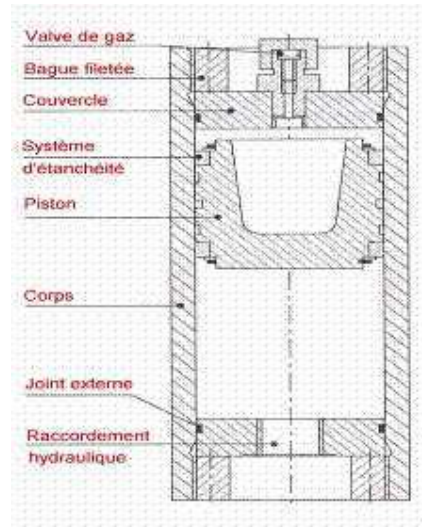
à membrane	à vessie	à piston
Forme approximativement sphérique, volume à restituer faible, bonne étanchéité.	Volume à restituer moyen, réaction rapide, bonne étanchéité et durée de vie.	Volume à restituer important, mauvaise étanchéité qui cause la variation de la pression du gaz à long terme. Temps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

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 :

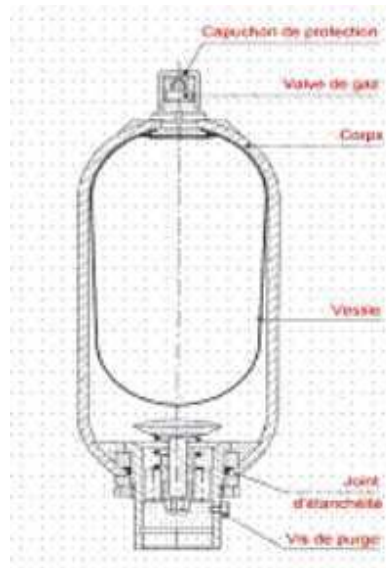
L'azote sous pression est contenu dans une enveloppe appelée : vessie, qui isole l'huile de l'azote.

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 :

- ✓ La verticale (valve de gaz en haut)
- ✓ L'horizontale

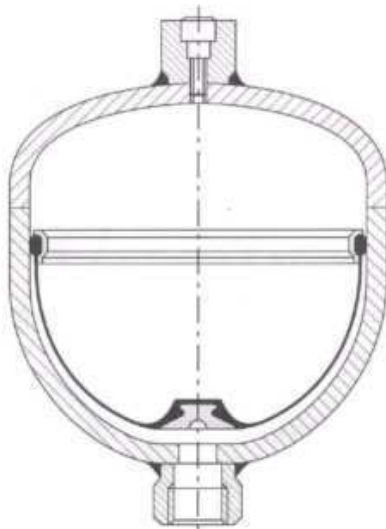
Il permet des cycles à fréquence élevée pouvant atteindre les 120 hertz.



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

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.

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

VI. 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 fonctionnement comporte trois phases :

Phase n°1 : Gonflage de la vessie :

La vessie de l'accumulateur est gonflée avec de l'azote à une pression p_1 et occupe alors tout le volume V_1 du réservoir. Lorsque la pression dans le circuit hydraulique est à une valeur supérieure à la pression de gonflage p_1 , l'huile pénètre dans l'accumulateur : c'est la phase n°3 de la charge de l'accumulateur.

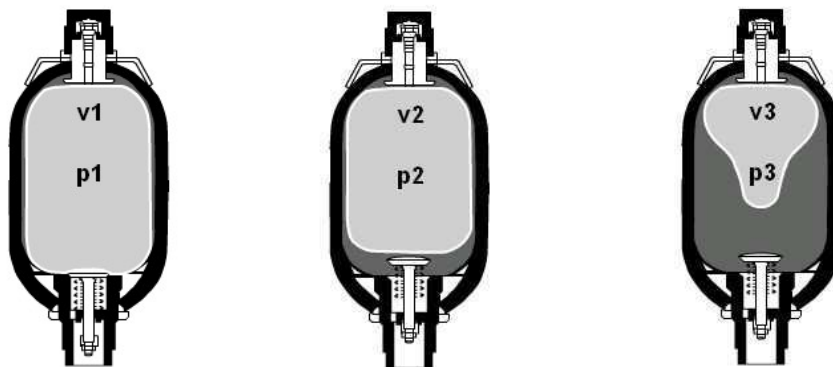
Phase n°2 : Utilisation de l'accumulateur :

Au cours du fonctionnement de l'installation hydraulique, si la pression dans le circuit diminue, l'énergie stockée dans l'azote est utilisée et l'accumulateur fournit une quantité d'huile s'ajoutant à celle de la pompe hydraulique. Cette phase correspond à la pression de service minimale p_2 où le volume est alors V_2

Phase n°3 : Charge de l'accumulateur :

La vessie de l'accumulateur est comprimée par l'huile du circuit hydraulique grâce à la pompe de la source de puissance du circuit hydraulique. Cette phase correspond à la pression de service maximale p_3 où le volume est alors V_3 .

Phase n°1 : Gonflage de la vessie Phase n°2 : Utilisation de l'accumulateur Phase n°3 : Charge de l'accumulateur



Remarque: 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

VII. Travaux sur les installations :

Les installations équipées d'accumulateurs permettent l'exécution de mouvements, pendant un temps déterminé, lorsque la pompe est arrêtée, grâce au fluide sous pression emmagasiné dans la capacité.

Lors d'une intervention, il convient de décharger hydrauliquement l'accumulateur. A cet effet, il est impératif de prévoir des blocs de sécurité avec valve de décharge à commande électromagnétique.

Avant toute intervention sur une installation hydraulique possédant un accumulateur, il faut obligatoirement décharger hydrauliquement l'installation.

En aucun cas il ne faut effectuer des travaux de soudure ou des travaux mécaniques sur des accumulateurs. Il est donc recommandé de s'adresser à des ateliers spécialisés ou des agents agréés de la marque en cas de réparation.

1.Le groupe de sécurité

Chaque accumulateur doit être accompagné d'un groupe de sécurité. Ce groupe ou bloc de sécurité est monté sur l'accumulateur, du côté de l'orifice hydraulique.

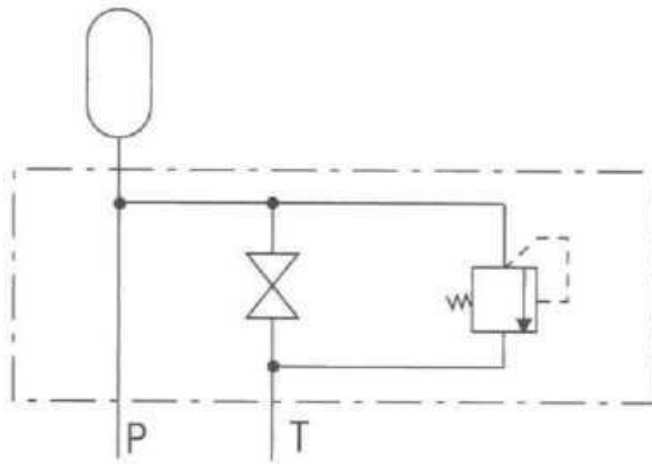
Il doit obligatoirement comporter :

Un dispositif de limitation de pression qui limite la pression de l'huile dans l'accumulateur

Un dispositif de vidange qui permet la mise au bac de l'huile contenue dans l'accumulateur

Deux dispositifs de vidange sont possibles :

A - Si le volume de l'accumulateur ne dépasse pas 2,5 litres et si l'accumulateur est utilisé pour un maintien en pression ; le dispositif peut être un robinet du type « quart de tour », à commande manuelle.



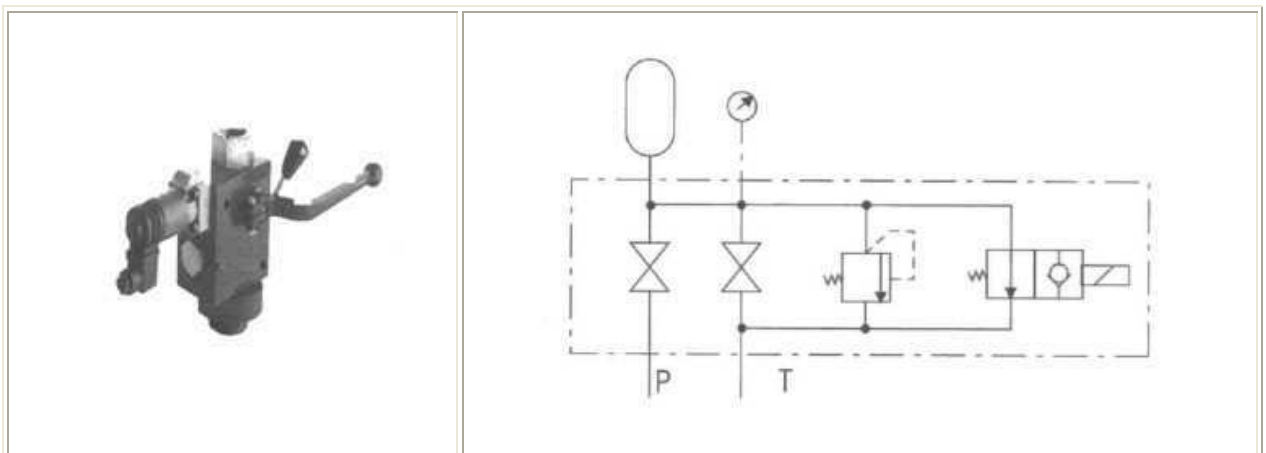
Dans ce cas, un panneau d'avertissement doit être apposé visiblement et durablement à proximité du robinet de vidange. Il doit comporter les indications suivantes :

DANGER ACCUMULATEUR SOUS PRESSION
VIDANGE MANUELLE

B - Dans les autres cas, le système de vidange sera un électro-distributeur, ouvert au repos, qui assurera la vidange de l'accumulateur lors de l'arrêt du groupe générateur de pression.

Il peut également comporter:

- ✓ Une prise de pression permettant le raccordement d'un manomètre
- ✓ Une commande manuelle pour le limiteur de pression, permettant la décompression progressive de l'accumulateur
- ✓ Un robinet permettant d'isoler l'accumulateur du circuit de pression



2.Réglementation:

Si le produit de la pression maximum (en bar) par la contenance (en litre) est supérieur à 80, les accumulateurs sont soumis à la réglementation concernant les appareils sous pression de gaz, définie par les arrêtés et décrets ministériels du 18/01/1943, du 23/07/1943, du 15/01/1978 et du 24/11/1982.

1) La mise en service

La mise en service d'un accumulateur neuf est subordonné à une première épreuve dans les conditions soumises à la réglementation. Ils sont éprouvés à une pression égale à 4 fois la pression d'utilisation, sous la responsabilité du fabricant.

2) Maintenance

Le propriétaire est tenu d'assurer les nettoyages, réparations et remplacements nécessaires. Ces appareils doivent être visités périodiquement à la demande de l'utilisateur.

- ✓ Une nouvelle épreuve est obligatoire tous les 10 ans.
- ✓ Une nouvelle épreuve est obligatoire tous les 5 ans, dans les cas où la face interne est en contact avec :
 - ✓ Un gaz autre que l'azote
 - ✓ Un autre fluide autre qu'une huile minérale spécialement destinée aux transmissions hydrauliques
- ✓ Avant une nouvelle épreuve, une visite intérieure est obligatoire.

3) Sécurité

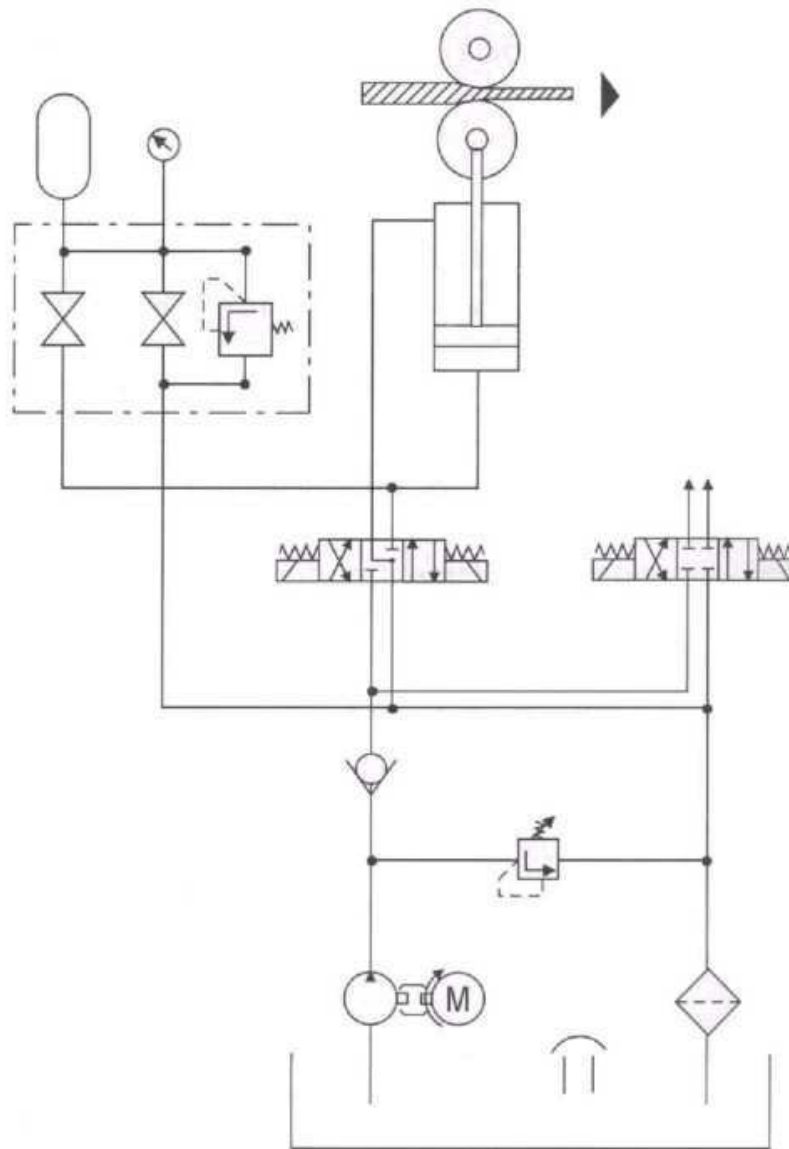
- ✓ La pression de remplissage en gaz doit être portée sur chaque accumulateur, sous la responsabilité de l'utilisateur.
- ✓ Le gaz de gonflage de l'accumulateur est de l'azote. En aucun cas de l'air ou un autre gaz ne doivent être utilisés
- ✓ (risque d'explosion).

3. Les différentes fonctions d'un accumulateurs

1) En maintien de pression

L'accumulateur compense les fuites d'un circuit sous pression et assure le maintien des efforts sur les récepteurs.

- ✓ Quand le distributeur est piloté du côté X : le vérin sort et l'accumulateur se décharge.
- ✓ Quand le distributeur revient au centre : l'accumulateur maintient la pression au vérin.
- ✓ Quand le distributeur est piloté du côté // : le vérin rentre et l'accumulateur se décharge.



2) En réserve d'énergie

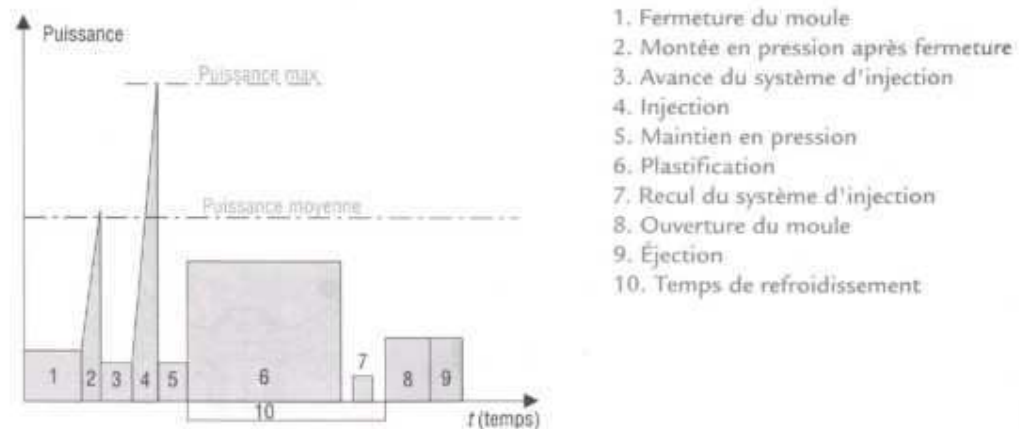
On stocke une quantité d'huile dans l'accumulateur et on restitue la totalité de cette huile sous pression.

Deux cas peuvent se présenter :

- ✓ A un moment donné, on a besoin d'une pointe de puissance

Exemple : cycle de presse à injecter.

Au lieu de dimensionner la pompe pour le débit maximum, on la dimensionne pour un débit moyen que l'on complète par celui d'un accumulateur, que la pompe a préalablement chargé.



- ✓ L'huile stockée dans l'accumulateur permet d'alimenter des actionneurs pour initialiser le système dans le cas d'une défaillance du groupe hydraulique.

3) En amortissement de chocs

Deux cas peuvent se présenter :

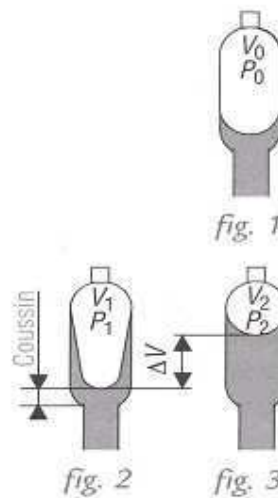
- ✓ **Anti-coups de bélier :**

Lorsque l'on coupe brutalement une circulation d'huile sous pression, on provoque un choc dans le circuit. Plus la puissance transmise est importante, plus le choc dû à la décélération instantanée est important.

L'accumulateur est placé à l'endroit de la coupure, se remplit. Le « coups de bélier » est absorbé par l'accumulateur qui joue ainsi le rôle d'accumulateur de choc.

- ✓ ➤ **Antichoc mécanique :**

Lorsque des chocs mécaniques, externes au circuit hydraulique, viennent perturber ce dernier, on installe un accumulateur. Il absorbera l'énergie due au choc en se remplissant d'huile qu'il restituera dans le circuit, après le choc.



4. Les courbe de calcul

Bien que cette tâche n'incombe pas, généralement à un agent de maintenance, nous allons traiter deux exemples de calcul.

Le problème consiste à calculer V_0 : C'est le volume d'un accumulateur qui gonflé à la pression P_0 (fig. 1), est chargé à la pression P_2 (le volume d'azote étant alors égale à V_2 – fig. 3), pourra restituer une quantité d'huile ΔV , en assurant en fin de décharge une pression égale ou supérieure à P_1 alors que le volume d'azote est égal à V_1 (fig. 2).

On peut écrire : $\Delta V = V_1 - V_2$

Les relations fixes entre les paramètres d'un accumulateur sont les suivantes :

$$V_1 = V_0 * 0,9$$

$$P_0 = P_1 * 0,9 \text{ (réserve de 10 \% pour le coussin d'huile)}$$

La formule est donc :

$$V_0 = (P_2 * \Delta V) / [0,9 * (P_2 - P_1)]$$

5.1. Exemple 1 :

Un accumulateur doit pouvoir restituer 2 litres d'huile à une pression comprise entre 100 et 150 bars.

- ✓ Si la fréquence est lente et à température constante (formule ci-dessus) :

$$\begin{aligned}V_0 &= (P_2 * \Delta V) / [0,9 * (P_2 - P_1)] \\&= (150 * 2) / [0,9 * (150 - 100)] \\&= 6,67 \text{ l}\end{aligned}$$

$$P_0 = P_1 * 0,9 = 100 * 0,9 = 90 \text{ bars}$$

- ✓ Si la fréquence est rapide : moins de 1 min par cycle, il faut multiplier V_0 par 1,4
- ✓ Si la température extérieure est variable, les formules sont modifiées (cas de figure non traité)

5.2. Exemple 2 :

Sur une presse d'ébénisterie, après la mise sous pression, on souhaite assurer le maintien du serrage par un accumulateur pendant 30 minutes.

La pression normale de serrage est de 150 bars, on tolère qu'elle descende à 140 bars. Le débit de fuite mesuré sur les vérins est de 0,2 pour 30 minutes.

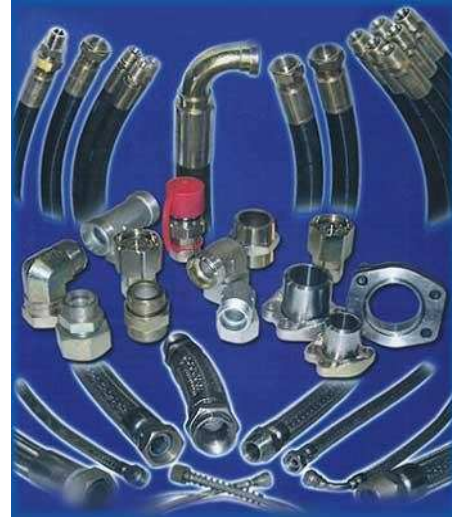
Quel volume d'accumulateur faudrait-il installer ?

$$\begin{aligned}V_0 &= (P_2 * \Delta V) / [0,9 * (P_2 - P_1)] \\&= (150 * 0,2) / [0,9 * (150 - 140)] \\&= 3,33 \text{ l}\end{aligned}$$

Chapitre 8: Les organes de liaison

I. Généralités

Les liaisons entre les différents composants d'un circuit hydraulique qui permettent ainsi le transport de l'énergie hydraulique s'effectuent par des tubes rigides ou flexibles, des canaux dans des blocs, des plaques de base, etc. La liaison entre ces différents éléments se fait généralement de façon démontable grâce à des raccords.



Le choix des éléments de liaison se fait avec des critères suivants : pression statique et dynamique, débit, étanchéité, vibrations mécaniques et hydrauliques, manipulation facile, influence de l'ambiance, prix.

Les points essentiels à considérer lors du choix des tuyaux et raccords sont la matière, le diamètre intérieur et l'épaisseur de la paroi :

Le diamètre intérieur d'une tuyauterie et des raccords détermine la valeur du débit qui permet le calcul de la vitesse d'écoulement du fluide. Le régime d'écoulement (laminaire ou turbulent) fonction du nombre de Reynolds où intervient la vitesse d'écoulement du fluide dépend donc du diamètre intérieur. La section de passage se calcule avec la relation suivante :

$$Section = \frac{Q}{v}$$

où **Q** est le débit et **V** est la vitesse d'écoulement du fluide.

L'épaisseur de la paroi du tube est fonction de la pression de fonctionnement **P** à l'intérieur du tube Cette épaisseur dépend de la pression d'éclatement du tube. Pour la déterminer, il faut multiplier la pression de fonctionnement par un coefficient dont la valeur est comprise entre 4 et 6.

II. Tuyaux rigides et flexibles

Les tuyaux rigides sont soit en tube acier (haute pression) et leur désignation est définie par la norme NF A 49 – 330 donnant le diamètre intérieur et l'épaisseur de la paroi, soit en cuivre ou en alliage d'aluminium (basse et moyenne pression).

Les tuyaux flexibles sont constitués d'un fourreau intérieur en caoutchouc synthétique résistant aux hydrocarbures et assurant l'étanchéité, d'une ou plusieurs tresses textiles (basse pression) ou tresses de fils d'acier (moyenne et haute pression) qui lui confèrent sa résistance à la pression, d'une robe extérieure en caoutchouc synthétique qui le protège des agents extérieurs.

III. Les raccords

Les raccords ont pour rôle d'assurer une liaison démontable entre les composants hydrauliques et les tuyaux rigides et flexibles. Les figures ci-dessous en donnent quelques exemples :

1. Les raccords à bague coupante

Les raccords à bague coupante sont adaptés à la plupart des conditions d'utilisation qui se retrouvent dans l'industrie. Ce modèle de raccord est réalisé selon la norme DIN 2353. Le principe de ce système réside dans l'emploi d'une bague coupante qui se glisse sur le tube préalablement préparé. L'écrou du raccord pousse la bague dans le cône interne de l'embout du raccord. La lèvre coupante de la bague repousse un bourrelet du tube vers le fond du cône.

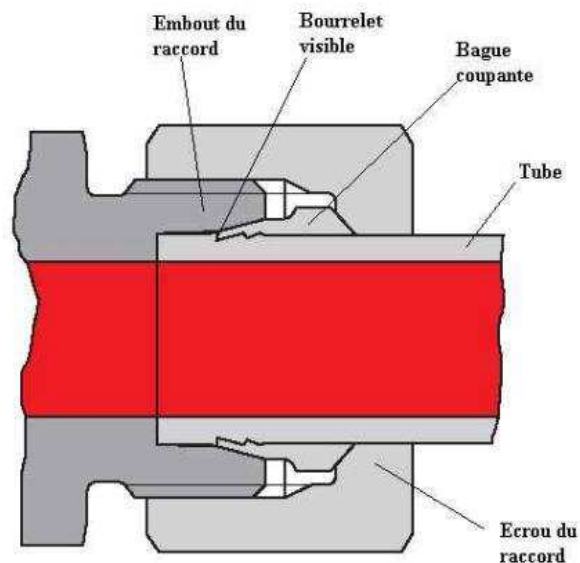


Figure 30. Raccord à bague coupante

2. Les raccords flasqués pour tube rigide et flexible

Les raccords flasqués sont plus particulièrement utilisés sur les pompes haute pression. La liaison entre le tube et la bride du raccord peut être du type « soudé » ou « vissé ». pour les flexibles, la liaison se fait par l'intermédiaire d'un embout vissé ou serti.

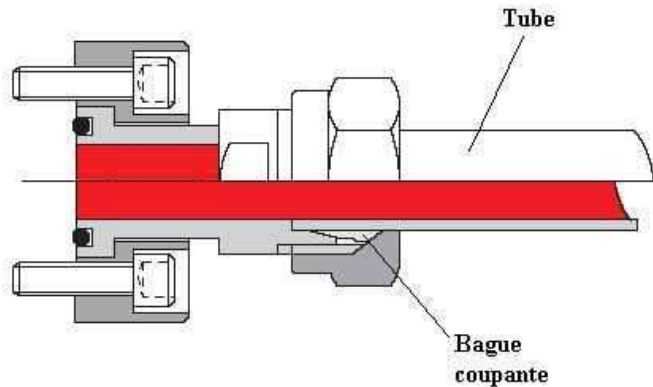


Figure 31. Raccord flasqué pour tube rigide

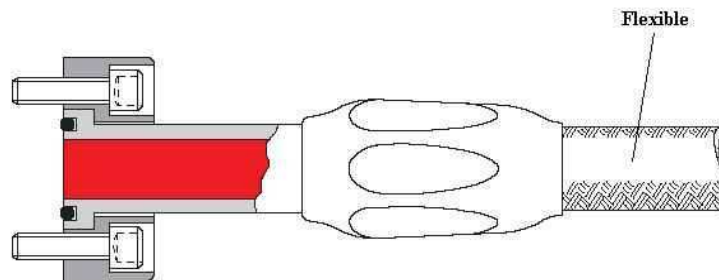


Figure 32. Raccord flasqué pour tube flexible

3. Les accouplements enfichables ou rapides

Pour faciliter un désaccouplement ou branchement rapide de centrale ou composants, on munit les flexibles d'accouplements enfichables ou rapides.

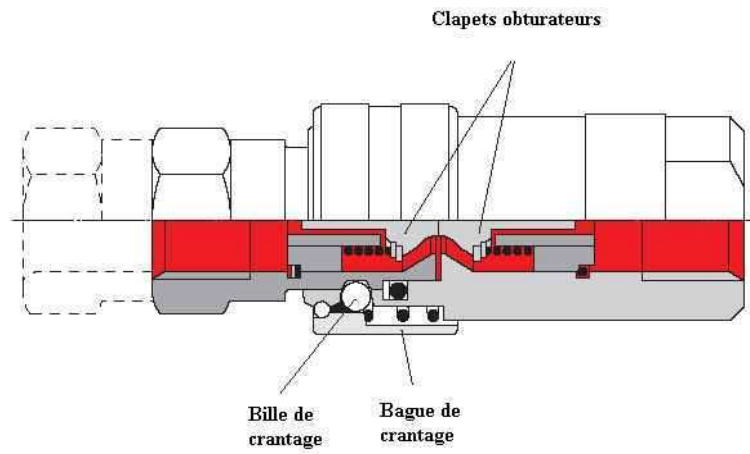


Figure 33. Accouplement enfichable ou rapide

4.Les raccords tournants

Le raccord tournant assure le raccordement entre un élément fixe et un autre en rotation

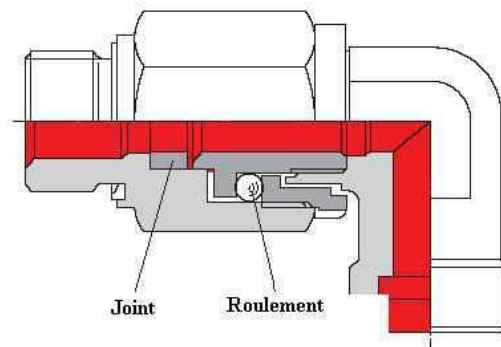


Figure 34. Raccord tournant

Chapitre 9: Les modulateurs de puissance

I. Le limiteur de pression ou soupape de sûreté

1.Fonction :

Il a pour fonction de limiter la pression dans un circuit et de faire retourner au bac le débit excédentaire. Il est monté en dérivation sur la conduite pression.

En cas de blocage du débit, la pression va monter dans le circuit jusqu'à éclatement d'une conduite ou d'un appareil.

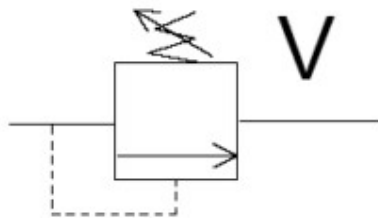
Le limiteur de pression intervient alors pour retourner au bac la totalité du débit lorsque la pression atteint la valeur de tarage.

Les limiteurs de pression peuvent être :

- ✓ à action directe,
- ✓ à commande indirecte,
- ✓ à commande pilotée.



2.Symbolique



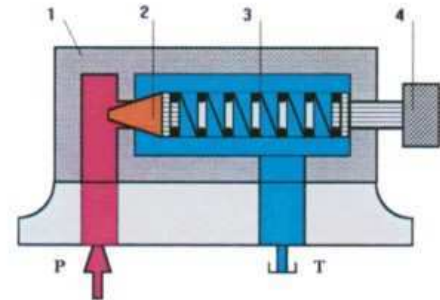
3. Le limiteur de pression à action directe :

Il est constitué d'un clapet **2** poussé sur son siège par un ressort tarable **3** au moyen d'une vis **4**. Lorsque la pression régnant dans la conduite produit une force supérieure à la force du ressort **3** il y a décollement du clapet **2** et évacuation de l'huile.

On distingue :

La pression d'ouverture, qui permet de décoller le clapet ;

La pression de plein débit, qui le maintient ouvert. Celle-ci est généralement différente de la pression d'ouverture, car pour permettre la circulation de la totalité du débit, le clapet doit reculer davantage, comprimant un peu plus le ressort et entraînant une pression plus élevée. Il y a donc un décalage entre la pression d'ouverture qui décolle le clapet et la pression de plein débit.



Les limiteurs de pression à action directe ont une marge de surpression élevée (différence entre les pressions de plein débit et d'ouverture) qui limite leur utilisation aux petits débits sinon leur fonctionnement devient saccadé et bruyant.

De plus, il est générateur de vibrations et de coups de bélier. En effet pour évacuer un débit élevé, il faut un clapet de grand diamètre. Lors de sa levée, celui-ci permet un débit important amenant immédiatement une chute de pression dans la conduite, d'où fermeture brutale du clapet. Le débit ne s'évacuant plus, la pression monte de nouveau provoquant l'ouverture du clapet et le processus reprend. La soupape fonctionne alors de façon saccadée en rafales. Ce type de fonctionnement doit être systématiquement évité. L'utilisation du limiteur de pression en commande directe est généralement limitée à 10 l / min et 140 à 210 bars selon les constructeurs. Pour les valeurs supérieures on utilise alors un limiteur de pression à commande indirecte

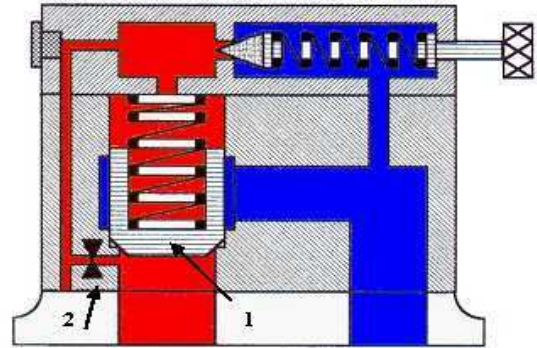
4. Le limiteur de pression à commande indirecte (ou à clapet équilibré) :

Le clapet n'est plus appliqué sur son siège par la seule force d'un ressort. La pression de l'huile s'exerce aussi sur la face supérieure, ce qui permet un équilibrage hydraulique. Il suffit alors d'un faible ressort pour vaincre les frottements et assurer la fermeture du clapet. Le clapet est quelquefois,

selon les constructeurs, remplacé par un piston ou un tiroir. Mais le principe de fonctionnement reste le même.

Cette soupape comporte deux parties :

une partie puissance constituée par le clapet équilibré **1**, qui fait retourner à la bêche tout débit excédentaire ; l'alimentation en huile de la face supérieure du clapet ou du piston se fait au travers d'une restriction **2** logée soit dans le clapet (ou le piston) ou dans un canal annexe. Cette restriction apporte une légère temporisation au déséquilibre des forces agissant sur le clapet et provoque la levée de celui-ci, permettant ainsi l'évacuation du fluide excédentaire.



- ✓ Une partie pilote composée d'une petite soupape de sûreté à action directe. Cette soupape est en communication avec la chambre située à la face supérieure du clapet principal et permet de tarer, avec une assez bonne précision, la pression admissible dans la conduite.

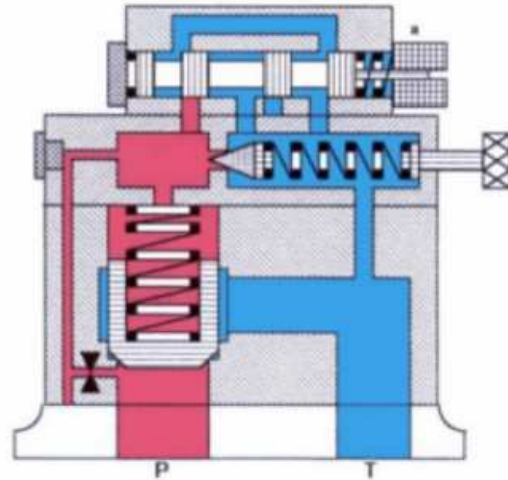
Cette soupape à action directe, n'ayant à réguler que le débit pilote qui passe au travers de la restriction, peut donc être de très petite dimension. Le mouvement du clapet pilote étant de faible amplitude, il ne vibre pas et le fonctionnement du clapet principal est plus doux, la régulation est plus fine et plus souple, et la pression d'ouverture atteint 90 à 95 %, de la pression de plein débit. La consommation du clapet pilote varie, selon les appareils et les constructeurs, de 0,5 l / min à 1 l / min .

Le corps et la tête pilote du limiteur de pression sont généralement en fonte hydraulique. Les clapets et sièges sont en acier traité et les portées sont rectifiées.

5.Décharge de la pompe par pilotage du limiteur de pression :

Pour ne pas laminer le débit de la pompe durant les temps morts de la machine, ou en cas d'arrêt d'urgence, on retourne alors directement au réservoir, sans contre-pression, la totalité de ce débit. Une électrovanne normalement ouverte assure la mise à la bêche du débit pilote (celui qui traverse la restriction). N'ayant plus de pression pilote, le clapet principal se soulève et fait retourner au réservoir le débit principal. La pompe tournant sans pression, il en résulte une économie d'énergie non négligeable. Enfin l'huile n'étant plus laminée, sa température se stabilise, permettant l'arrêt du refroidisseur, donc une économie d'eau.

Cette électrovanne de petites dimensions (1 / 8") peut être prévue sur la soupape ou dans celle-ci ou peut être extérieure à l'appareil et raccordée à son pilotage. Seule la soupape de sûreté est dimensionnée pour le débit principal



6.Le limiteur de pression avec pilotage externe :

C'est une soupape de sûreté à piston équilibré commandée à distance par une soupape à action directe. Le tarage de la soupape à action directe doit être inférieur à celui de la soupape principale, sinon c'est le clapet pilote de celle-ci qui se déplace le premier, fixant ainsi la valeur du tarage.

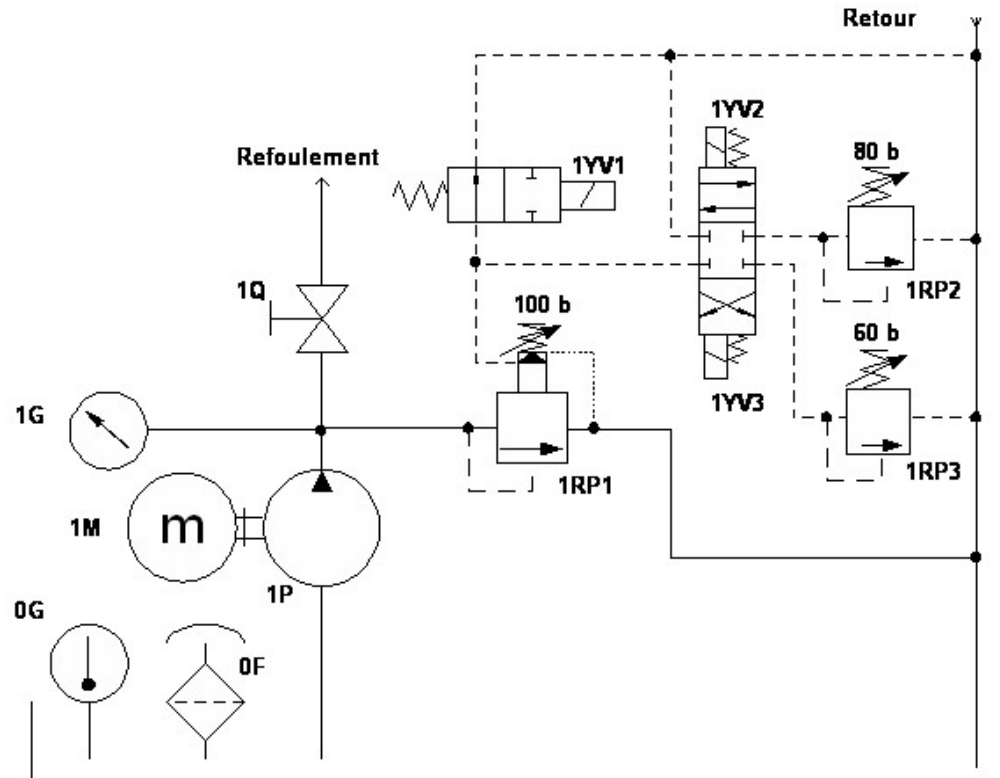
Dans tous les cas, on obtiendra comme pression maximale sous le clapet principal (donc dans la conduite) l'équivalent de la pression qui règne au-dessus de celui-ci. Cette pression pilote sera celle autorisée par le plus faible des tarages. On peut ainsi, en utilisant un distributeur, obtenir plusieurs valeurs de pression dans un même circuit.

Aussi pour éviter le battement entre plusieurs, on laissera une marge de pression d'au moins 8 à 10 bars entre les différents tarages.

Commande à trois étages de pression avec décharge de pompe :

La pompe est déchargée par l'électrovanne incorporée au limiteur de pression.

Un distributeur à trois positions oriente le débit pilote vers l'un ou l'autre des limiteurs de pression à commande directe. C'est la commande électrique des bobines, qui détermine la pression en service.



II. Le réducteur de pression



1.Fonction:

Réduire la pression du réseau principal et la maintenir constante dans une partie du circuit.

2.Symbol:

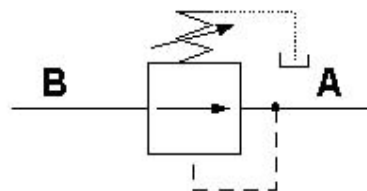


Figure 35. sans clapet anti retour

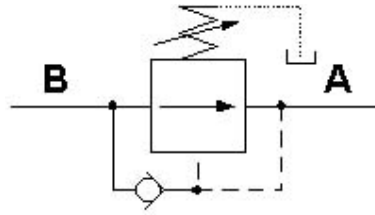
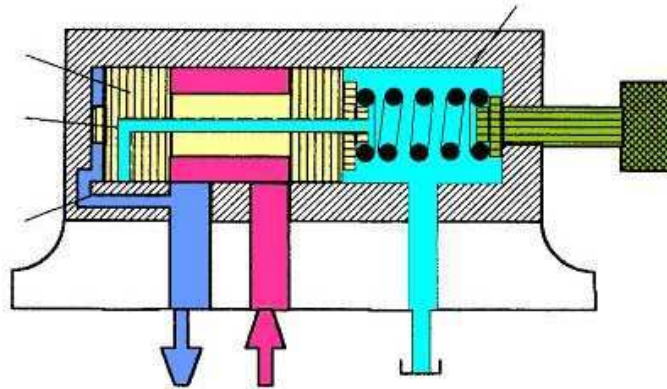


Figure 36. avec clapet anti retour

3.Fonctionnement:



Le fluide circule de B vers A. Le canal 3 permet à la pression venant de A, d'agir sur la surface du tiroir 1.

Ceci engendre une force à laquelle s'oppose la force du ressort 4.

Lorsque la pression en A crée une force supérieure à la force du ressort 4, le tiroir 1 se déplace vers la droite et ferme le passage de B vers A. Ainsi le circuit A n'étant plus alimenté, la pression est réduite et reste stable.

En cas de surpression en A, le tiroir 1 se déplace encore plus vers la droite et met en communication le circuit A avec le réservoir par l'intermédiaire du canal 2 et du drain Y.

Remarques:

Le réducteur de pression se monte toujours en série sur les circuits.

Les réducteurs ne sont pas tous munis d'un canal interne, (comme le canal 2 sur le schéma de principe ci-dessus) dans ce cas, ils sont incapables d'éliminer les surpressions.

Si le fluide doit pouvoir circuler de A vers B, il faut alors choisir un réducteur de pression équipé d'un clapet anti-retour.

III. Le limiteur ou réducteur de débit

1.Fonction:

Limiter ou réduire la vitesse du débit dans un circuit hydraulique afin de régler la vitesse des actionneurs lorsque la charge est fixe.

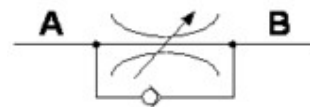
2.Symboles :



Bi-directionnel
influencé par la viscosité



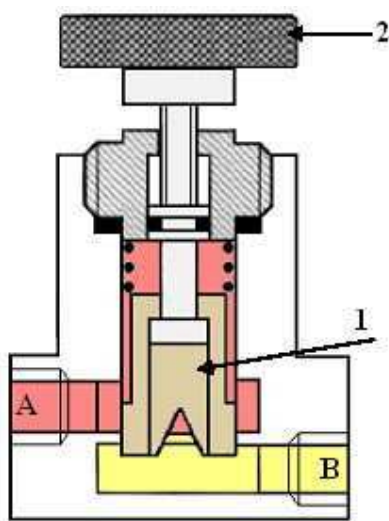
Bi-directionnel non
influencé par la viscosité



Uni-directionnel

Repère:Q

3.Fonctionnement:



Des entailles en forme de **Vé** situées à la base du tiroir **1**, permettent un réglage progressif du passage du débit entre les orifices **A** et

La rotation de la molette **2** fait monter ou descendre le tiroir **1** (suivant le sens de rotation de la molette).

Ce modèle est équipé d'un clapet anti-retour. Lorsque le débit circule de **B** vers **A**, le tiroir **1** se soulève et laisse passer le débit sans le freiner.

Remarques.

Il existe un grand nombre de principes de fonctionnement et donc de formes différentes

Le limiteur de débit se monte en série sur les canalisations.

Il peut se monter :

- ✓ Sur l'admission, on freine l'huile entrant dans le récepteur,
- ✓ Sur l'évacuation, on freine l'huile sortant du récepteur,
- ✓ En soustraction, on dévie une partie du fluide vers le réservoir.

On l'appelle aussi étrangleur.

Si le débit n'est pas réglable, on l'appelle striction.

Pour un réglage donné, le débit est constant que si la charge est constante, si la charge est variable il faudra employer un régulateur de débit.

IV. Les clapets anti-retour

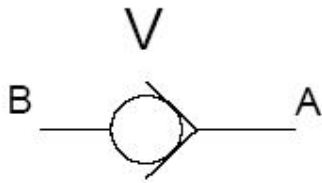
1.Fonction

Un tel dispositif permet de contrôler le sens de circulation du fluide (huile pour l'hydraulique et air pour la pneumatique). Il permet le passage d'un liquide, d'un gaz, d'air comprimé, ... dans un sens et bloque le flux si celui-ci venait à s'inverser.

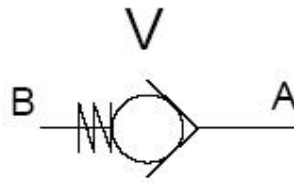


Permet la circulation de l'huile de A vers B et bloquée de B vers A, pour le clapet taré il faut une pression égale ou supérieure à la valeur de tarage.

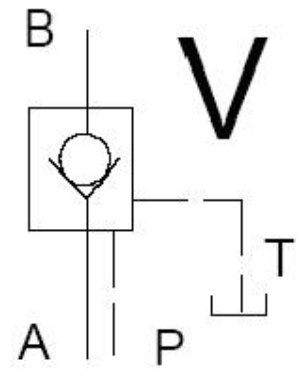
2. Symbole



Clapet anti-retour non taré



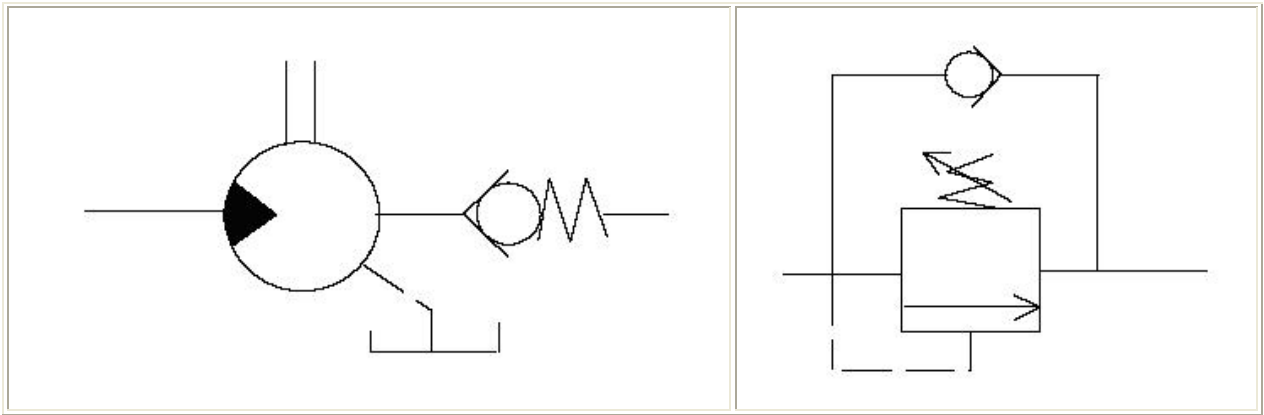
Clapet anti-retour non taré



Clapet anti-retour piloté

3. Application

Protection d'une pompe contre les surpressions.	Filtre avec clapet de dérivation
Utilisé comme système de freinage d'un moteur hydraulique en agissant par contre pression	Monté en dérivation d'un appareil



4.Exemple

Soit à maintenir une Charge (schéma ci-dessous) en position haute.

Solution 1: Utiliser un distributeur à centre fermé Résultat: Les fuites interne au niveau du jeu fonctionnel du tiroir. La charge n'est pas maintenue à sa position	Solution 2: Utiliser un clapet anti-retour simple. Résultat: le clapet anti-retour permet la monter de la charge et rend la descente impossible

Donc Il faut un clapet capable:

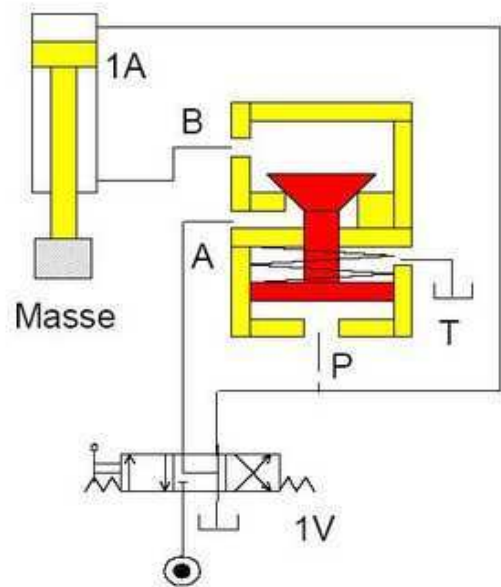
- 1 - de maintenir efficacement la charge.
- 2 - de permettre le passage du fluide dans les 2 sens

Cet appareil est désigné sous le nom de **clapet de anti-retour piloté**.

Dans la position flèches droites du distributeur 1V, le fluide est admis en A, il soulève le clapet et s'écoule vers B. On obtient la remontée du vérin 1A. En position centrale de 1V la charge tend à provoquer la descente de 1A

Le clapet se ferme, 1A est bloqué en position.

Pour obtenir la descente de 1A. Il faut soulever le clapet. On place 1V en position flèches croisées, le fluide se dirige vers 1A coté fond et la pression admise aussi en P agira sur le piston de pilotage du clapet permettant l'ouverture donc le passage de B vers A. L'orifice A étant relié au réservoir par 1V.



V. Les distributeurs

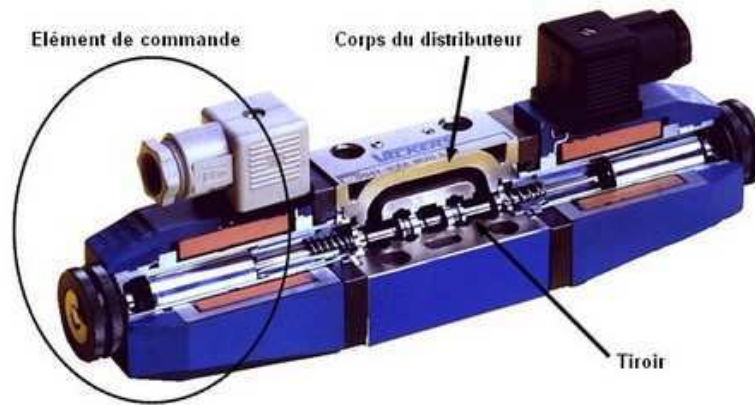


1.Fonction :

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

2.Constitution:

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



3.Fonctionnement :

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

4. Symbolisation:

La symbolisation se réalise en 2 étapes :

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

Représentation du type de commande.

Construction du symbole de base :

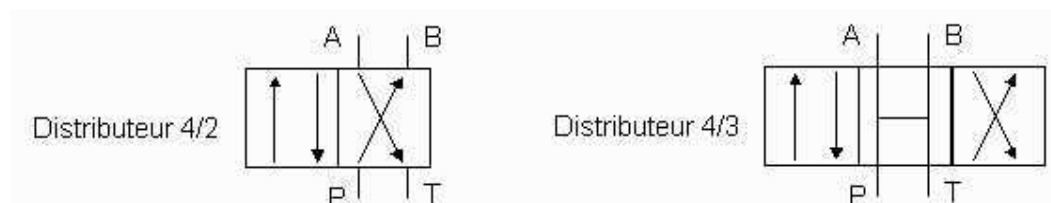
Chaque position des éléments de commande interne du distributeur est représentée par une case carrée.

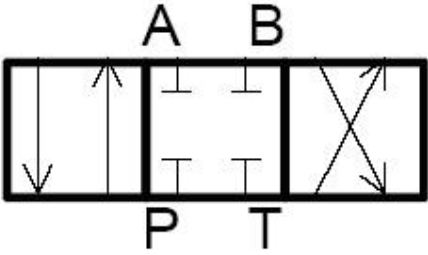
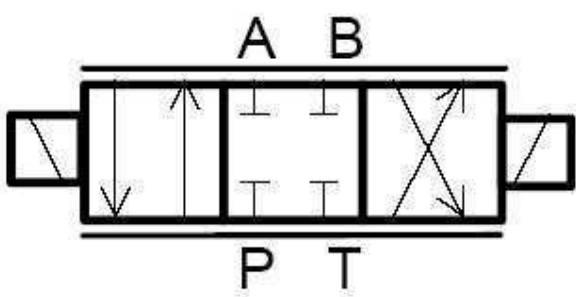
Dans chaque case se positionnent des flèches ou des traits qui indiquent les liaisons établies entre les orifices et le sens d'écoulement du fluide.

Les canalisations aboutissent à la case représentant la position repos.

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

Exemples:



	
Distributeur 4/3 à centre fermé	Distributeur 4/3 à centre fermé à commande proportionnelle

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

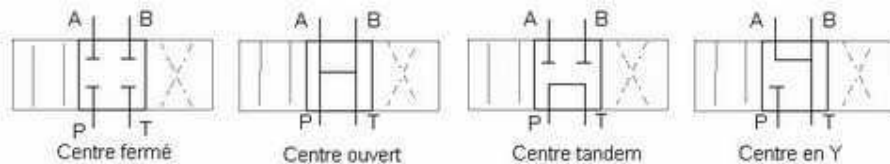
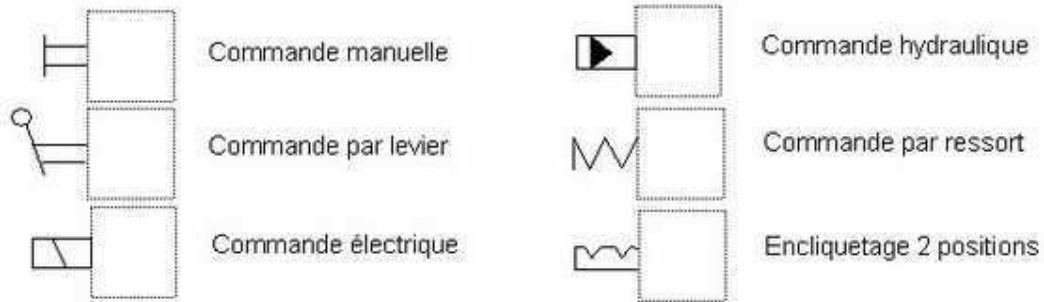


Schéma des différentes commandes:

Représentation du type de commande, rappel ou maintien :



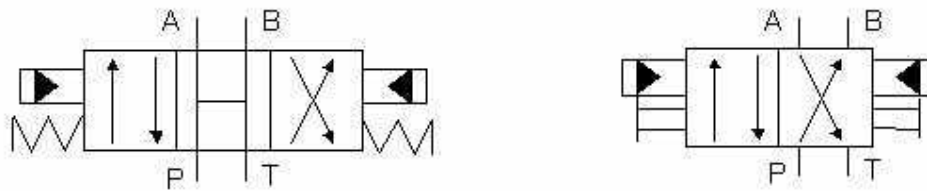
La majorité des distributeurs hydrauliques sont à 2 ou 3 positions.

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

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

Il peut y avoir plusieurs symboles sur une même représentation

Exemples:



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

Chapitre 10: Les actionneurs

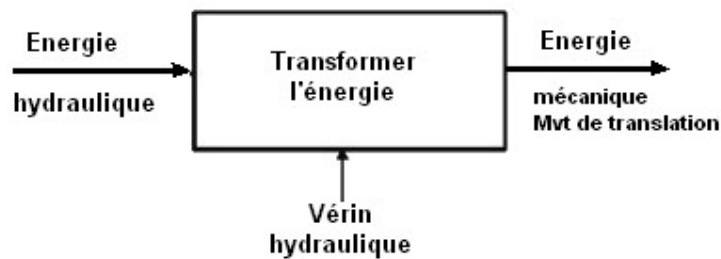
I. Les vérins hydrauliques

1.Fonction:



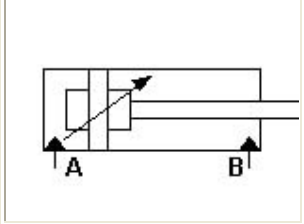
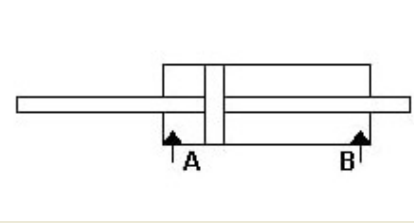
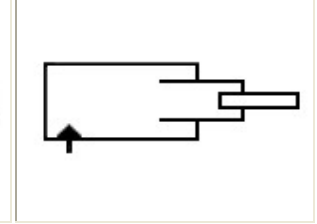
Le vérin est l'élément moteur des systèmes hydrauliques, car nous pouvons dire que c'est la fin du parcours du circuit hydraulique. Le vérin a pour rôle de transformer l'énergie hydraulique reçue en énergie mécanique comme par exemple la manipulation de la pelle mécanique, les trains d'atterrissage des avions, les monte-charges, les presses hydrauliques...et la liste est très longue.

Modèle fonctionnel : vérin hydraulique



2. Symboles des vérins les plus utilisés:

Vérin simple effet	Vérin Double Effet sans amortissements	Vérin double effet avec double amortisseurs fixes

		
Vérin double effet à amortissement réglables	Vérin double effet double tige	Vérin télescopique

3. Domaine d'application

Le domaine d'application des vérins est très vaste, des machines-outils aux engins des travaux publics, des presses hydrauliques aux monte-charges, de l'aéronautique à la construction navale, presque tous les systèmes nécessitant de gros efforts font intervenir les vérins par le système hydraulique.

4. Représentation d'un vérin en coupe:

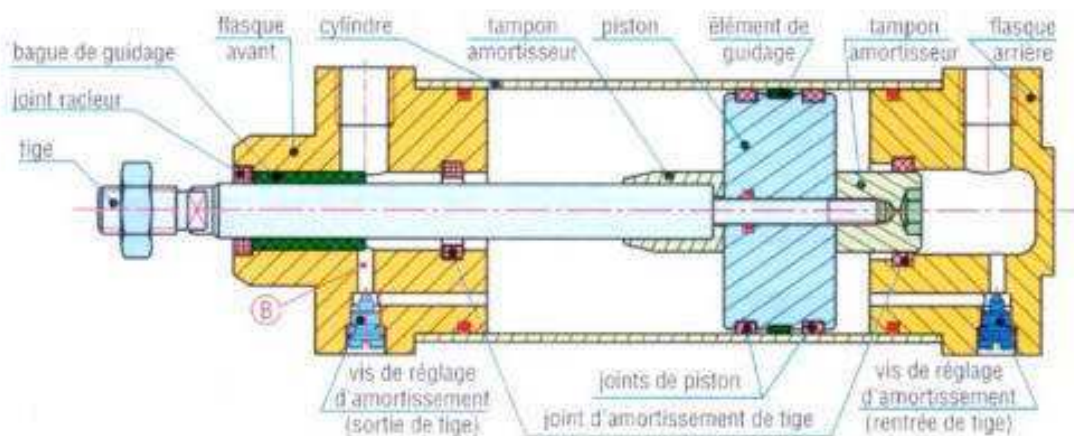


Figure 37. Constituants d'un vérin double effet

Remarques:

Les diamètres des tiges sont importants afin d'éviter le flambage. Des abaques permettent de déterminer les caractéristiques du vérin pour éviter le flambage.

Lors du remplacement ou de l'installation d'un vérin, il est impératif de purger l'air des chambres (de chaque côté du piston).

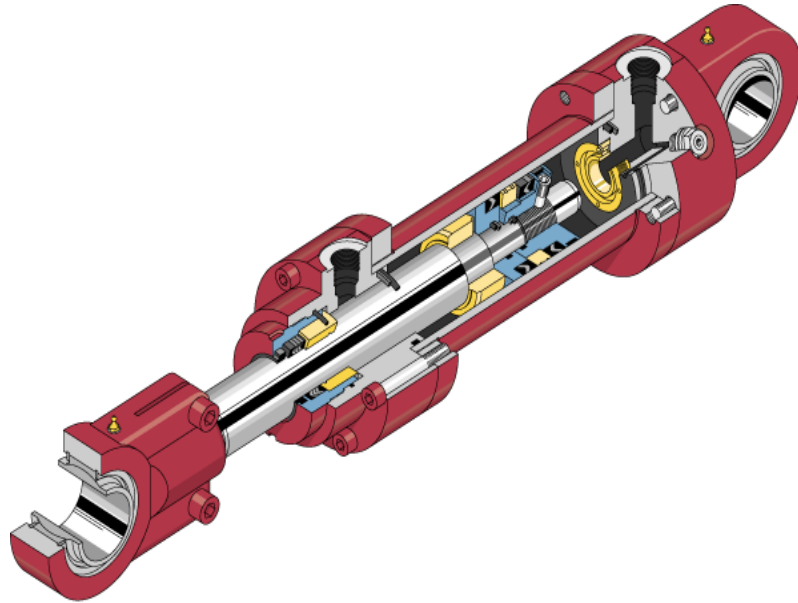


Figure 38. Coupe d'un vérin double effet hydraulique

Grâce à des appareils de commande appropriés, qui peuvent être également actionnés à distance, l'inversion des sens s'opère très rapidement. Du fait qu'ils sont autolubrifiés, les appareils sont fiables. Mais cela exige une très grande propreté.

Abaque de détermination de la longueur maximale de la tige sans risque de flambage

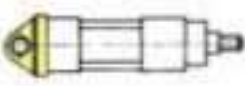
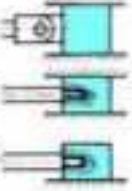
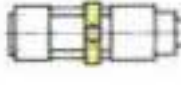
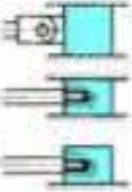
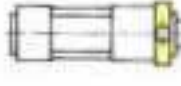
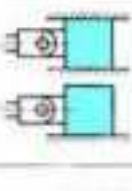
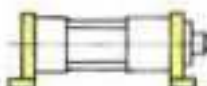
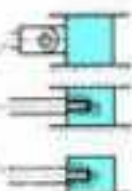
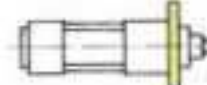
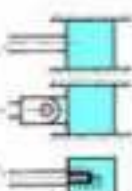
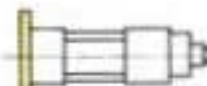
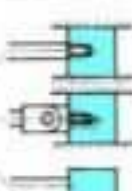
Code	Mode de fixation	Guidage de la masse	Correction K
18 21 48			2
			1,5
			4
25			1,5
			1
			3
23			1
			2
14 16 43			0,7
			0,5
			2
10 33			0,5
			0,7
			2
11 29			1
			1,5
			4

Figure 39. Abaque de détermination du coefficient K

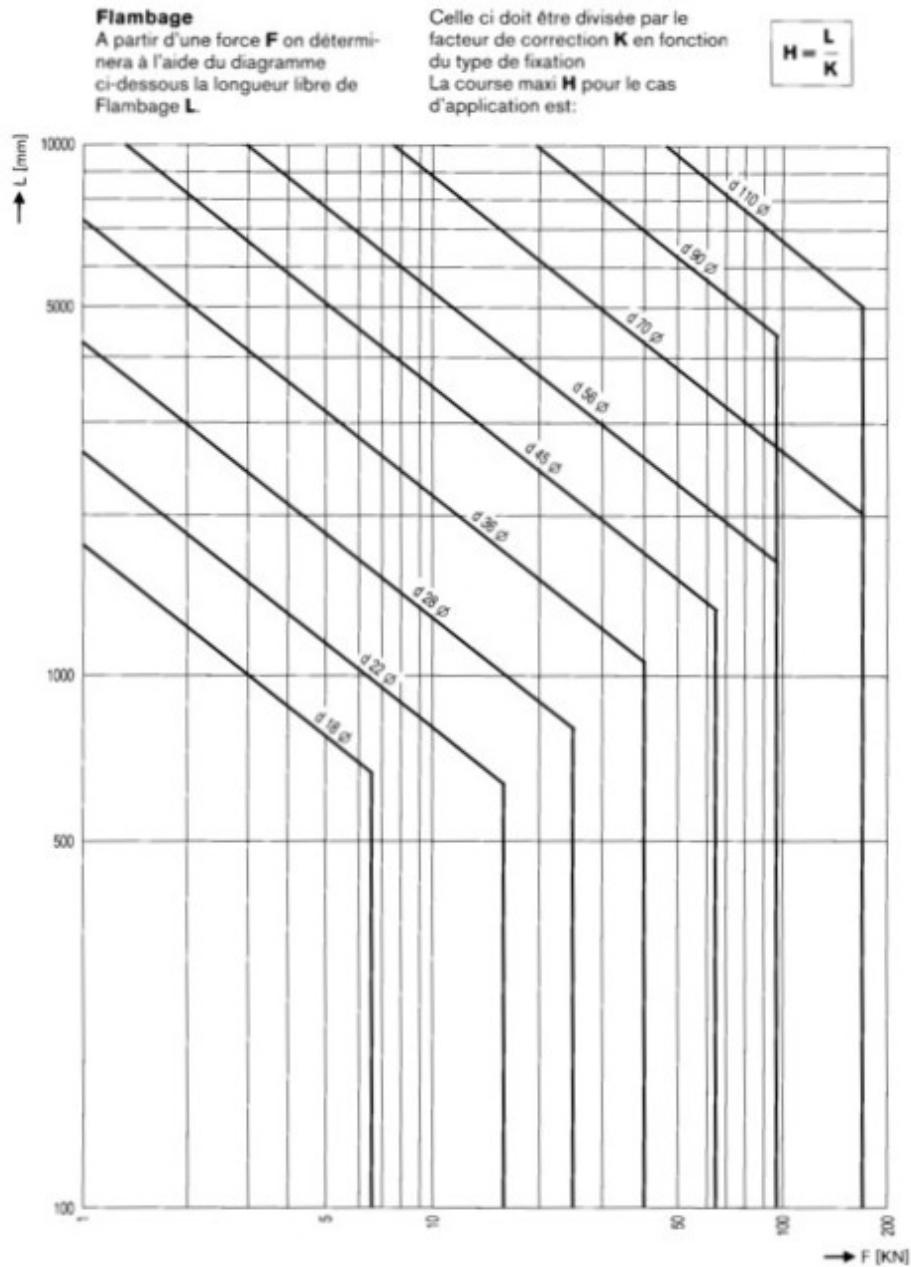


Figure 40. Abaque de détermination de la longueur maximale de la tige du vérin

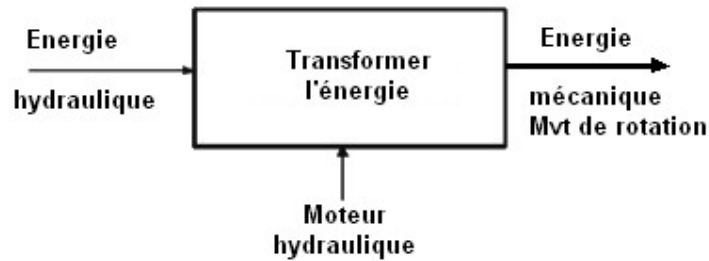
II. Les moteurs hydrauliques

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.

Modèle fonctionnel : Moteur hydraulique

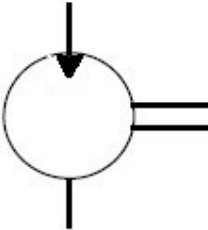
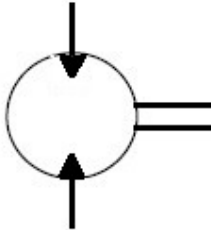
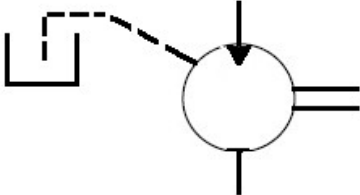
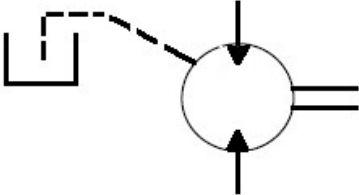


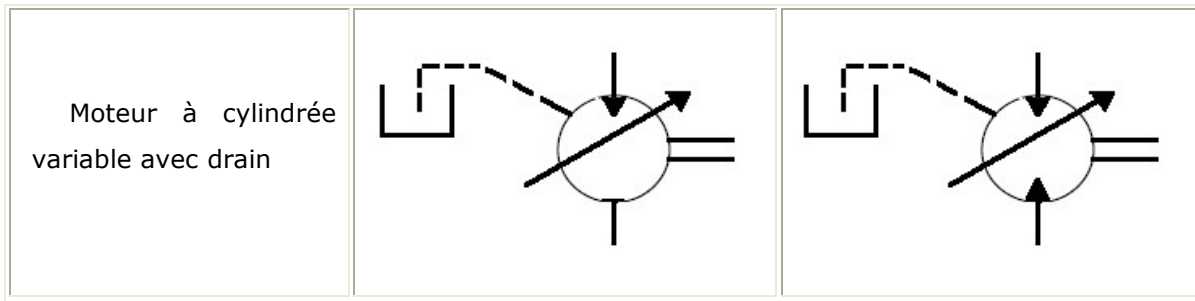
Remarque :

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

2.symbolisation :

Type	Moteur à un sens de rotation	Moteur à 2 sens de rotation
Moteur à cylindrée fixe		
Moteur à cylindrée fixe avec drain		



3.Principaux types de moteurs hydrauliques :

Les moteurs sont classés en deux familles :

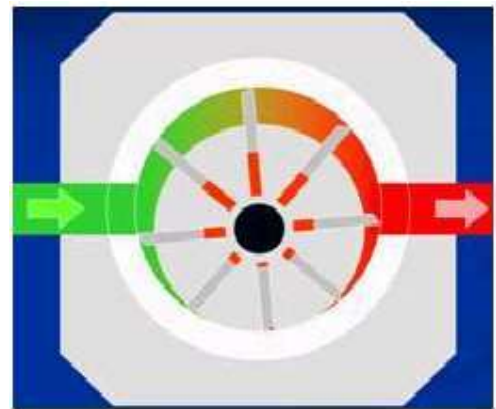
- **Les moteurs rapides** (les moteurs à palettes, les moteurs à engrenages, les moteurs à pistons axiaux, et les moteurs à pistons radiaux)
- **Les moteurs lents** (cylindrée élevée)

Moteur à palettes:

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

Avantages: réalisation simple

Inconvénients : puissance transmise relativement faible.

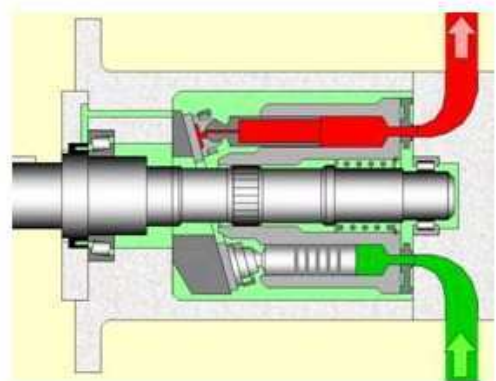


Moteur à pistons axiaux :

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.

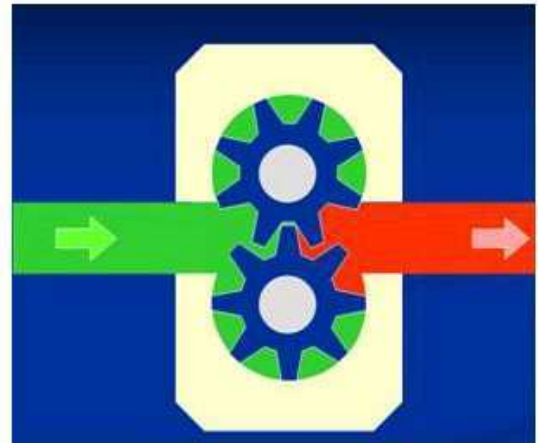


Moteur à engrenages :

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

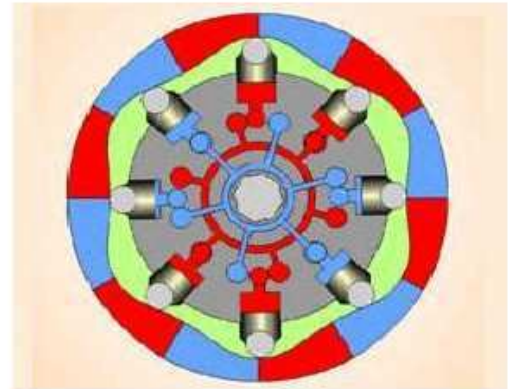
s: surface du piston.

$$C_y = n.n'.c.s.$$

n: nombre des pistons

n' : nombre de courses par tour.

c: course.



4.Problèmes rencontrés:

✓ 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.

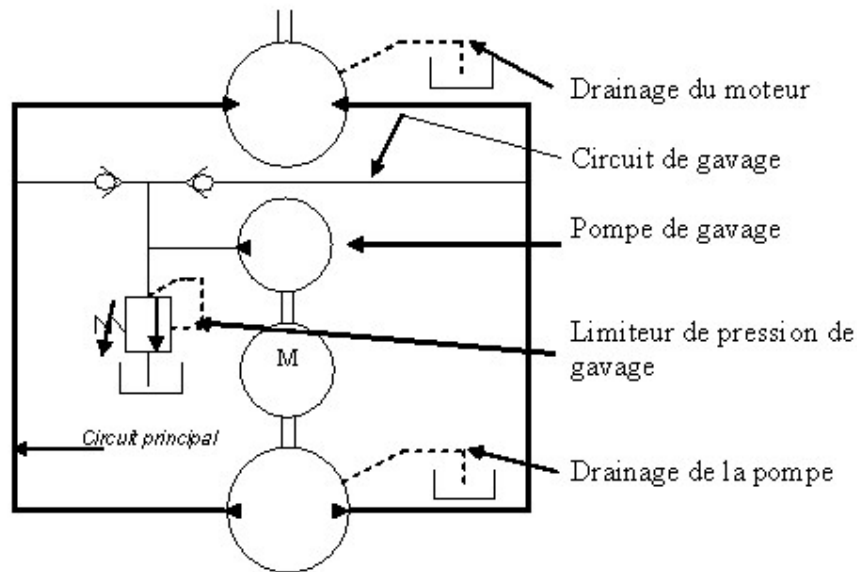


Figure 41. Circuit de drainage de moteur hydraulique

✓ **Réglage de la vitesse :**

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

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

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

Remarque :

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

1^{er} Cas : Réglage sur l'entrée du moteur :

Ce dispositif ne peut être utilisé seul, si le couple résistant risque de devenir moteur.

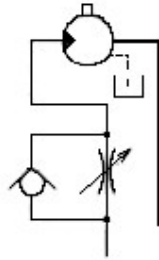


Figure 42. Réglage de la vitesse du moteur par l'entrée d'huile

2^{ème} Cas : Réglage en sortie du moteur :

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

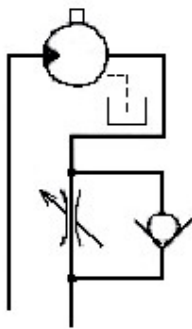


Figure 43. Réglage de la vitesse du moteur par la sortie d'huile

5.Caractéristiques associées aux moteurs hydrauliques :

Grandeurs	Vitesse de rotation (tr/min)		Pression maxi	Rendement	
	mini	maxi	En bars		
Moteurs à palettes	100	500	170	0.85	
Moteurs à engrenages	400	2500	170	0.8	
Moteurs à pistons radiaux	Quelques tours	500	20	0.9	1course / tour

	5	800	200	0.85	Plusieurs courses / tour
Moteurs à pistons axiaux	50	350	400	0.95	Plateau incliné
	50	3500	250	0.9	Barillet incliné

✓ **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], Q_v en [m^3/s] P_h 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 : $Q_e = Q_s + q_{\text{fuites}}$ et le rendement volumétrique est :

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

✓ **Puissance mécanique:**

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

$$P_m = C \cdot \omega \quad \text{avec } C \text{ en } [mN], \omega \text{ en } [rad/s] \quad P_m \text{ en } [W]$$

✓ **Rendement:**

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

Le rendement global du moteur est :

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 :

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

6.Utilisation de l'abaque :

L'abaque ci dessous permet de vérifier ou de déterminer les caractéristiques d'un moteur hydraulique. Connaissant deux paramètres, il permet de déterminer le troisième élément.

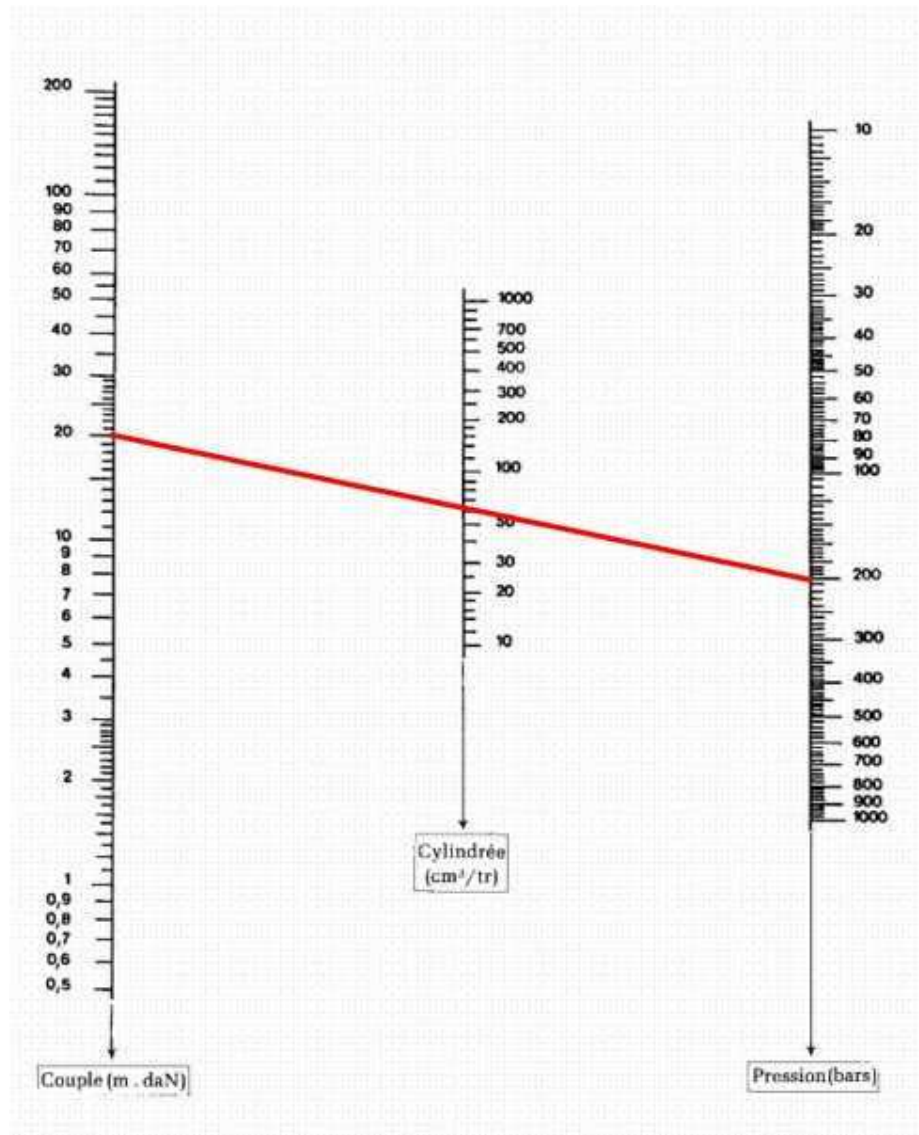


Figure 44. Abaque de détermination des caractéristiques de moteur hydraulique

Exemple

Connaissant le couple $C_m = 20 \text{ m.daN}$ et la Cylindrée du moteur $Cyl = 60 \text{ cm}^3/\text{tr}$ On peut déterminer la pression de service nécessaire qui est **P=200 Bars**

Chapitre 11: La normalisation hydraulique

I. Disposition du plan :

Les appareils sont disposés de bas en haut et de gauche à droite.

- ✓ En bas à gauche : sources d'énergie, alimentations...
- ✓ Au centre : la distribution.
- ✓ En haut : les actionneurs.

II. Représentation des conduites :

Type de conduite	Couleur
Conduite de travail et d'alimentation	Trait continu rouge
Conduite de pilotage	Trait interrompu rouge
Conduite de retour	Trait continu bleu
Conduite de drainage	Trait interrompu bleu
Conduite d'aspiration	Trait continu jaune
Conduite de gavage	Trait continu vert

III. Le repérage des composants :

Il se compose de 3 éléments précédés du signe :



- **Case I** : repère d'ordre.

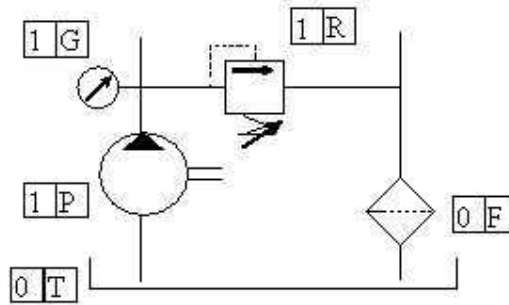
Ce repère peut comporter des chiffres allant de 0 à 999.

Commencer par 0 pour les accessoires montés sur la centrale.

Continuer par les éléments de génération de pression et de retour.

Puis par les différentes chaînes de distribution.

Exemple :



- **Case II** : Code de désignation des composants.

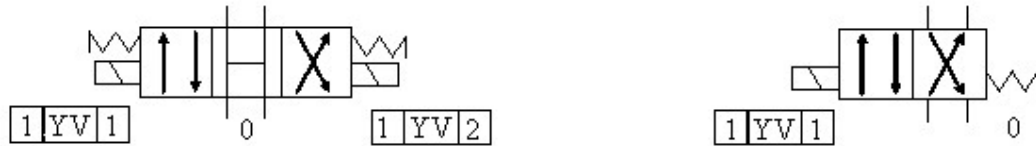
Composants	Code	Composants	Code
Pompe	P	Raccord, purge	U
Moteur hydraulique ou électrique	M	Réservoir	T
Vérin	C	Accumulateur	A
Distributeur	D	Filtre	F
Capteurs	S	Appareils de mesure (mano, thermo,...)	G
Clapet anti-retour	N	Pressostat	SP
Appareils de pression	R	Groupe de sécurité accumulateur	J
Appareils de débit	Q	Electrovanne	YV

- **Case III** : Code d'état ou d'action (chiffre ou lettre) .

✓ Actionneurs : non concernés.

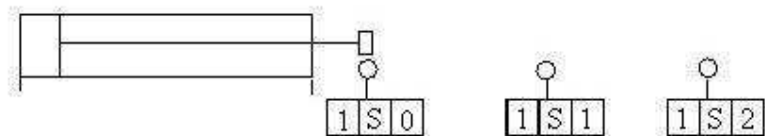
- ✓ Electrovanne : un chiffre pour chaque position du distributeur, le 0 est pour la position initiale.

Exemple :



- ✓ Capteurs associés aux actionneurs : le chiffre 0 est affecté aux capteurs actionnés à l'état initial; puis la numérotation suit le sens de la séquence.

Exemple :



Appareils associés à une chaîne de distribution : lettres A, B, P, T, X, Y, V, L suivant le repère de l'orifice du distributeur auquel l'appareil est raccordé. Pour les appareils sur 2 voies indiquer AB.

IV. Le repérage des orifices de raccordement :

Mettre ceux qui figurent sur le symbole normalisé du composant.

V. Le repérage des conduites hydrauliques :

Les repères sont placés parallèlement au trait représentant la conduite, ils sont indiqués à proximité des points de connexion, ils se composent :

- ✓ d'une lettre correspondant à l'orifice du distributeur principal.
- ✓ d'un chiffre correspondant au numéro de la chaîne comportant le distributeur.

VI. Renseignements techniques :

A coté des composants, indiquer les caractéristiques suivantes :

- ✓ Réservoir : Capacité maximale en litres, type, catégorie et viscosité du fluide.
- ✓ Pompes : Débit ou cylindrée.

- ✓ Moteur électrique : Puissance, vitesse de rotation, valeur de tension.
- ✓ Appareils de pression et de débit : Valeur de réglage des appareils.
- ✓ Vérin : Diamètre d'alésage, de tige et course en mm, précédés de la lettre H. Ex: H 200 X 80 X 140

Force en N et vitesse en m/s.

Préciser la fonction du vérin (serrage, levage, avance, ...).

- ✓ Actionneurs oscillants (vérin rotatifs) : Cylindrée en cm³, couple, angle et vitesse de rotation.
- ✓ Moteurs hydrauliques : Cylindrée.
- ✓ Accumulateurs : Pression de décharge, nature du gaz, volume à restituer en L et identification.
- ✓ Filtres : Degré de filtration en micromètre et débit nominal.
- ✓ Tuyauteries : Diamètre extérieur et épaisseur en mm.

Chapitre 12: Maintenance des installations hydrauliques

I. Introduction à la maintenance

1.Définition de la maintenance

La plupart des machines et moyens de production modernes sont équipés de circuits hydrauliques de transmission de puissance. Ces circuits restent de plus en plus performants si on assure leur fiabilité, leur disponibilité et leur sécurité. Cette situation de vigilance s'appelle la MAINTENANCE. Définition de la maintenance : “ La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service bien déterminé ”.

2.Objectifs de la maintenance :

- ✓ La réduction des coûts de maintenance.
- ✓ La durée maximale d'utilisation.
- ✓ Le taux de disponibilité le plus élevé.
- ✓ La réduction de la durée des pannes.
- ✓ Un fonctionnement efficace et fiable.
- ✓ La réduction des coûts de production.
- ✓ La qualité de production.

3.Différentes formes de la maintenance :

On distingue :

- ✓ La maintenance corrective.
- ✓ La maintenance préventive:
 - Systématique.
 - Conditionnelle.

1) Maintenance corrective :

1) Définition :

“ Opération de maintenance effectuée après défaillance ”.

Elle correspond à une attitude de défense (subir) dans l’attente d’une défaillance fortuite. C’est l’entretien de dépannage : on attend la panne pour intervenir.

2) Types :

- ✓ Maintenance palliative : l’ensemble des interventions du type dépannage exécutées, lors d’une défaillance, en vue de rendre au matériel sa fonction requise avant défaillance.
- ✓ Maintenance curative : l’ensemble des interventions du type réparation et remise en état.

2) Maintenance préventive :

1) Définition :

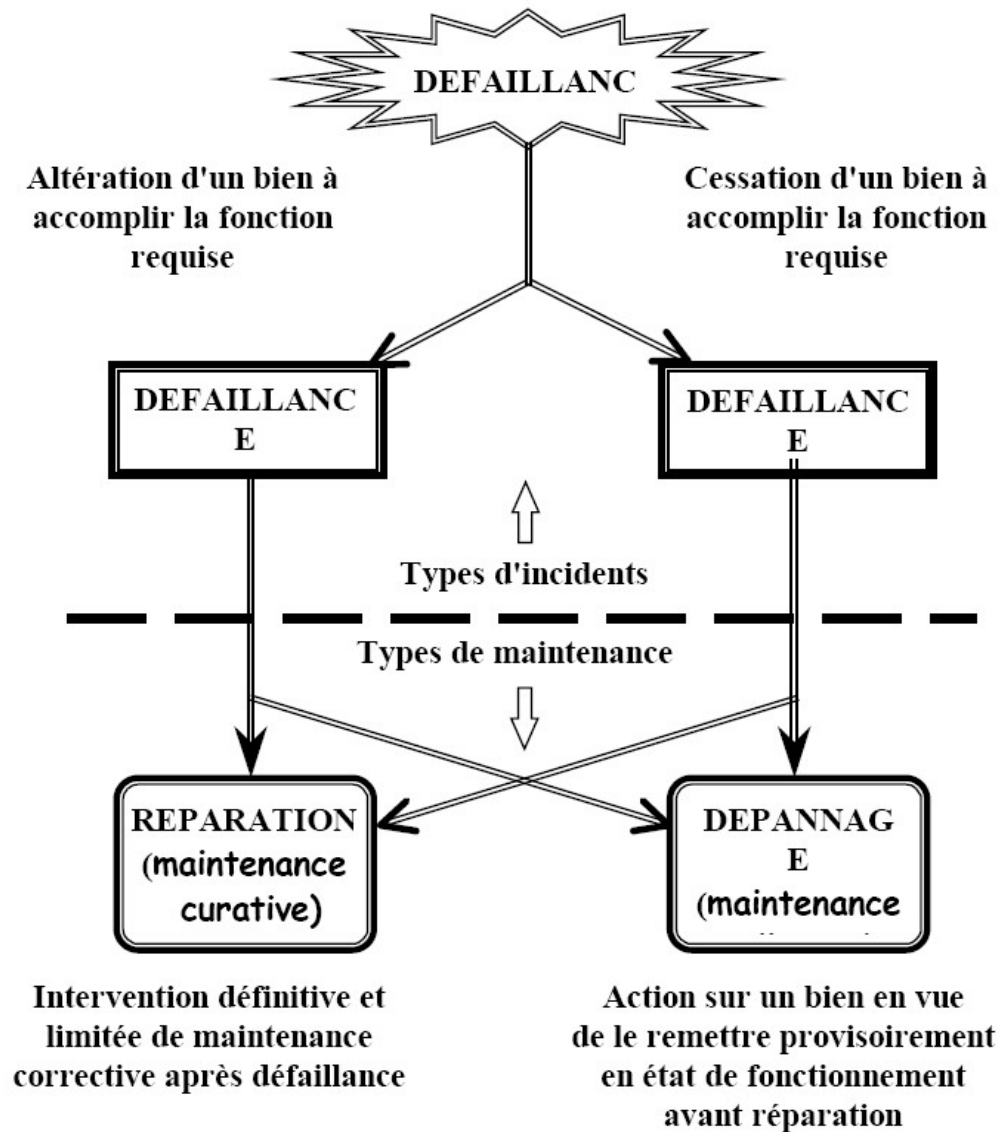
Maintenance effectuée dans l’intention de réduire la probabilité de défaillance d’un bien ou la dégradation d’un service rendu.

2) Types :

- ✓ Maintenance systématique : effectuée suivant un échéancier établi selon le temps ou le nombre d’unités d’usage.
- ✓ Maintenance conditionnelle : subordonnée à un type d’événement prédéterminé (mesure, diagnostic, information d’un capteur...).

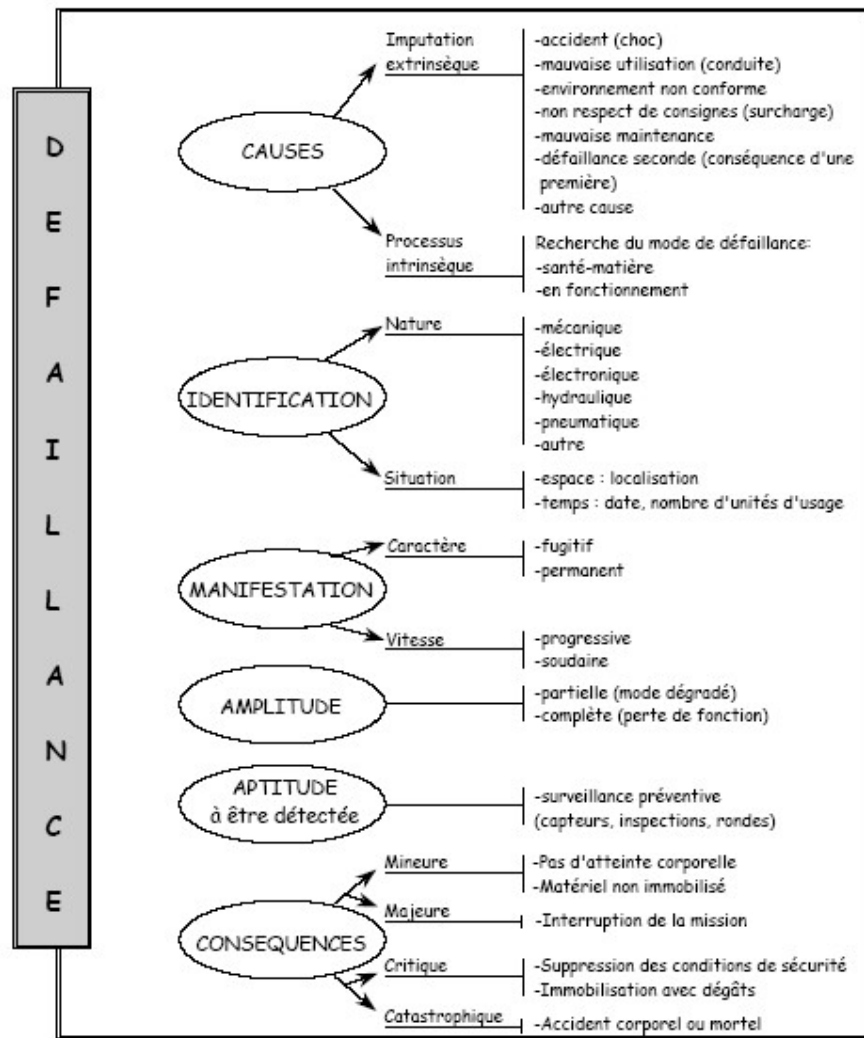
C) Défaillance :

“ Altération ou cessation de l’aptitude d’un bien à accomplir la fonction requise ”.



D) Analyse d'une défaillance :

Il est dans l'esprit de la maintenance corrective de ne pas seulement dépanner ou réparer un système défaillant mais de chercher à éviter la réapparition du défaut, d'où l'intérêt des analyses de défaillance. A l'issue de défaillance d'un équipement, une expertise doit permettre de rassembler les six éléments de connaissances ci-dessous :



II. Maintenance préventive d'une installation hydraulique

1. Généralités :

Les circuits hydrauliques modernes deviennent de plus en plus complexes d'année en année. Ceci impose un effort plus important pour le maintien de la propreté des installations. Ce qui apportera une meilleure fiabilité des équipements et par conséquent une réduction dans le coût de la maintenance et une diminution des immobilisations des installations.

La maintenance d'un circuit hydraulique bien réalisée demande peu de temps en comparaison au nombre d'heures de fonctionnement qu'il est susceptible d'assurer.

Un programme de maintenance devra être établi, et faire l'objet d'une fiche soit par circuit, soit par appareil. Sur celle-ci seront notées les actions préventives déjà prises, et au cours de la surveillance, les anomalies en vue de décider de nouveaux travaux de maintenance.

2.Recommandations à suivre au cours de la maintenance préventive :

1) Recommandations journalières :

- ✓ Vérifier le niveau d'huile du réservoir. Si nécessaire ajouter de l'huile pour établir le niveau à une valeur correcte. Il est recommandé d'employer de préférence un groupe de transfert équipé d'un filtre micrométrique 10 microns plein débit.
- ✓ Vérifier l'aspect de l'huile : la présence de mousse à la surface indique qu'une entrée d'air se produit, soit à la pompe (joint de passage d'arbre, joints de fonds) ou sur la ligne d'aspiration aux raccords. Un aspect trouble est l'indice de présence d'eau. La présence de mousse s'accompagne souvent d'un fonctionnement bruyant de la pompe et irrégulier des récepteurs.
- ✓ Noter tout début de fuite apparaissant sur un appareil ou sur une tuyauterie.
- ✓ Vérifier l'encrassement des filtres non immergés (voir indicateur de colmatage s'il existe). Pour les filtres montés en dérivation, relever les indications des manomètres à l'entrée et à la sortie des filtres.
- ✓ Noter la température d'huile : une variation importante peut avoir sa source dans l'encrassement du faisceau tubulaire de l'échangeur ou bien du filtre à eau monté sur la ligne d'alimentation de l'échangeur ou bien encore d'un défaut d'alimentation du réseau ou d'un défaut de fonctionnement de la soupape thermostatique.
- ✓ Vérifier l'alimentation des électro-distributeurs.
- ✓ Relever les pressions de fonctionnement et corriger tout tarage qui aurait pu être déréglé.

Vérifier sur les pompes munies d'un drainage qu'aucune élévation de température de la tuyauterie de drain ne se manifeste. Cela dénote des fuites excessives.

2) Recommandations hebdomadaires :

- ✓ Nettoyage des filtres montés à l'aspiration des pompes. Pour les filtres montés sur la ligne de retour, les cartouches sont remplacées après un certain nombre d'heures de fonctionnement, en accord avec les indications portées sur la fiche de maintenance du constructeur et suivant l'atmosphère dans laquelle travaille l'installation.
- ✓ Réparer les fuites dont la liste a été dressée au cours des jours précédents pendant la période de fonctionnement. Ne pas tenter de réparer une fuite par un serrage exagéré des

éléments de raccordement. Il est préférable de changer les éléments défectueux (joints, bagues mal serties, bride, etc.).

- ✓ S'assurer du serrage des éléments de fixation des groupes moteur-pompe, des supports de soupapes, des tuyauteries...
- ✓ Vérifier la bonne fixation des récepteurs : moteurs hydrauliques, vérins. En particulier, pour les vérins, vérifier que les alignements sont bons.
- ✓ Vérifier les accouplements entre pompe et moteur.
- ✓ Si l'installation comporte des accumulateurs, vérifier la pression d'azote et rectifier le gonflage (avec manomètre, robinets d'isolement et de gonflage).
- ✓ Faire un examen de l'étanchéité de toutes les tuyauteries rigides et souples non accessibles en fonctionnement, et en particulier pour les tuyauteries souples, toute trace de transpiration d'huile vers les embouts entraîne le changement immédiat de l'élément défectueux.

3) Recommandations mensuelles:

Prélever des échantillons d'huile à différents niveaux dans le réservoir en vue d'analyse. Le nombre d'heures de service de l'huile sera noté sur les flacons.

4) Recommandations semestrielles:

Sur les installations comportant des accouplements du type à chaîne sous carter, vérifier s'il n'y a pas d'usure anormale sur les chaînes et dentures (défaut d'alignement).

5) Recommandations annuelles :

Vérifier le bon état de marche de tous les appareils incorporés dans le circuit.

a) Pour les pompes :

Vérifier l'état des différentes pièces en mouvement. Les pièces neuves de remplacement sont nettoyées avec un dégraissant puis enduites du fluide utilisé avant leur mise en place.

Pour le serrage des vis de fixation des différents éléments de la pompe, on observe toujours les couples de serrage recommandés.

Après serrage de ces vis, l'arbre de la pompe doit pouvoir être tourné à la main.

Dans tous les cas la pompe est remontée en utilisant des joints neufs, et une bonne précaution consiste à remplacer les roulements.

Il faut noter la liste des pièces remplacées sur la fiche de maintenance.

b) Pour les soupapes :

Après démontage et nettoyage des pièces, vérifier le bon état des sièges, clapets et tiroirs.

Tous les éléments montrant des portages importants seront remplacés.

Des traces légères sur les tiroirs peuvent être adoucies.

Les corps des soupapes sont vérifiés et les taraudages des orifices nettoyés par le passage d'un taraud.

c) Pour les réservoirs :

Vidanger, nettoyer les parois et s'assurer que la paroi supérieure ne présente pas de traces d'oxydation. Brosser toute trace d'oxydation, refaire la peinture si nécessaire. Nettoyer l'intérieur, retirer les dépôts (boues, gomme, laque), et rincer. Nettoyer les glaces des niveaux d'huile et l'élément filtrant du reniflard. Remonter les éléments en prenant la précaution de changer les joints.

d) Pour les circuits d'alarme :

S'assurer du fonctionnement correct des sécurités : niveau d'huile, élévation de température, etc.

e) Pour les récepteurs :

Démonter et vérifier les moteurs hydrauliques en prenant les mêmes précautions que pour les pompes, et suivant les recommandations propres à chaque type.

Les vérins seront également démontés et les tiges qui présenteraient des traces de rayures seront rectifiées ou polies avant remontage.

De même, un corps présentant des rayures peut être rodé dans les limites des tolérances permises pour le bon travail des joints.

Ces éléments seront remontés, et pour les vérins, une vérification de l'étanchéité doit être faite, avant mise en place. L'alignement est refait avec soin.

f) Pour les tuyauteries :

Pendant toutes les opérations de visite des appareils, il est indispensable de fermer les orifices des tuyauteries à l'aide de bouchons appropriés de préférence ou à tout autre moyen, les chiffons étant à proscrire.

Enfin tous les supports d'appareils et de tuyauteries doivent être remontés et serrés convenablement.

III. Mise en service d'une installation

1. Généralités:

Un circuit hydraulique, aussi bien conçu soit-il, peut être fortement endommagé dès la mise en marche si certaines précautions n'ont pas été prises à temps.

D'ailleurs, tous ceux qui participent au montage et au raccordement d'une installation hydraulique se réjouissent d'en arriver au remplissage du réservoir et au démarrage du circuit.

Il est donc indispensable qu'un certain nombre de vérifications soient effectuées par un technicien compétent avant que le moteur d'entraînement de la pompe ne soit mis en marche.

2. Principaux contrôles à faire :

1) Serrage des éléments du circuit :

Le maintien des différents organes du circuit se fait par vis.

Le serrage de ces vis doit toujours être effectué à l'aide d'une clé dynamométrique. Il est important de respecter les couples de serrage indiqués. Une vis trop serrée travaille à l'extension, il y a risque de rupture lors de la montée en pression dans le circuit. Une vis insuffisamment serrée est à l'origine de fuites d'huile.

2) Alignement moteur-pompe :

L'alignement de la pompe et de son moteur est un facteur très important, lié à la durée de vie de la pompe. En cas de mauvais alignement, la pompe supporte des efforts radiaux pour lesquels elle n'a pas été prévue. Certaines pièces internes, et en particulier le joint d'arbre se détériorent prématurément.

3) Sens de rotation de la pompe :

En effet, de nombreux modèles de pompes sont prévus pour rotation dans un sens ou dans l'autre. Il se peut donc que le sens de rotation de la pompe installée sur le groupe de pompage ne

corresponde pas à l'installation prévue. La mise en marche d'une telle pompe peut entraîner sa détérioration rapide.

4) Fluide d'alimentation :

Vérifier le niveau d'huile dans le réservoir. Il arrive qu'une pompe soit détériorée par manque d'huile, la quantité de liquide dans le réservoir étant insuffisante ou parfois inexistante.

Lors d'une première mise en service et pour le premier remplissage du système en fluide hydraulique, il convient de surveiller que le niveau d'huile dans le réservoir ne descend pas au-dessous du minimum nécessaire à l'aspiration.

5) Démarrage et amorçage de la pompe :

Pour les pompes et moteurs hydrauliques possédant une tuyauterie de récupération des fuites internes, il est nécessaire de remplir leur carter d'huile afin d'en assurer la lubrification dès le démarrage.

Avant le démarrage de la pompe, vérifier que tout robinet installé sur les tuyauteries d'aspiration et de refoulement de celle-ci est bien ouvert. Le système d'entraînement de la pompe est démarré puis arrêté avant d'avoir atteint sa vitesse de rotation normale. Cette opération est répétée plusieurs fois jusqu'à ce que le refoulement de la pompe devienne correct.

Pour supprimer les bruits de cavitation, au premier amorçage de la pompe, il est nécessaire de purger le circuit.

En ce qui concerne la pompe, la purge s'effectue sur la tuyauterie de refoulement.

6) Mise en pression :

Au démarrage, il est préférable que la pompe ne soit pas appelée à fournir une forte pression avant que la lubrification interne ne soit totalement effectuée. Pour ce faire, les soupapes installées dans le circuit doivent être détarées (exception faite pour les valves de sécurité, pour systèmes avec accumulateurs, agréées officiellement et plombées).

Lorsqu'on se sera assuré que la pompe fonctionne convenablement, que la purge du circuit est terminée, et que toutes les canalisations sont totalement remplies de fluide hydraulique, on pourra procéder aux réglages des pressions.

En réglant, il faut augmenter progressivement la pression jusqu'à ce que l'installation fonctionne correctement (se référer aux valeurs conseillées par le constructeur).

Le réglage devrait être protégé contre toute éventualité de dérèglement.

7) Contrôle des fuites :

Lorsque le circuit a fonctionné quelques temps, il faut vérifier l'étanchéité générale de celui-ci. Des joints peuvent avoir été détériorés lors du montage et provoquer des fuites nuisibles au fonctionnement ainsi qu'à la sécurité de l'installation.

8) Contrôle de température :

Après un instant de fonctionnement à la vitesse prescrite et à la pression normale, s'assurer que les paliers, les boîtiers et le fluide n'ont pas dépassé la température de service normale.

3.Purge des circuits hydrauliques :

Tous les fluides hydrauliques contiennent de l'air qui représente parfois 5% du volume du fluide.

La présence d'air dans le circuit se caractérise par l'apparition de bulles dispersées dans le fluide.

1) Causes de présence d'air dans un circuit :

- ✓ Tuyauteries d'entrée et de retour, éléments de raccordement dessertis ou défectueux, joints inappropriés ou coupés.
- ✓ Tige de vérin et joints usés ou endommagés.
- ✓ Blocs de jonction ou tuyauteries fendus.

Il se peut parfois que lorsque le circuit se trouve à une valeur inférieure à la pression atmosphérique (tuyauterie d'aspiration de la pompe) l'air pénètre à l'intérieur de celui-ci sans que le fluide ait fui nécessairement à l'extérieur.

- ✓ Niveau d'huile trop bas dans le réservoir : c'est une cause de tourbillon au bout de la tuyauterie d'aspiration plongée dans le réservoir permettant l'introduction de l'air.
- ✓ Présence d'air à l'intérieur du filtre sans possibilité de le purger.
- ✓ Débit du fluide dans la tuyauterie de retour déchargé au-dessus du niveau du réservoir. Une mauvaise conception du réservoir entraîne des turbulences favorables à l'introduction d'air dans le fluide.
- ✓ Présence d'air dans le circuit introduit pendant le remplissage ou lors d'une addition de fluide dans le réservoir.

2) Détériorations provoquées par la présence d'air dans un circuit :

Les différentes causes rappelées ci-dessus entraînent des détériorations diverses dont celles pouvant se produire dans la pompe immédiatement ou dans un délai plus ou moins long. Les autres appareils sont aussi concernés du fait que la présence d'air provoque une diminution de lubrification et une augmentation anormale de la température. De plus ce phénomène entraîne une cavitation, c'est-à-dire un fonctionnement irrégulier et saccadé dans les pompes et les moteurs, qui, se combinant avec les phénomènes susmentionnés, provoque la détérioration de certaines pièces.

Le manque de lubrification dans un appareil hydraulique peut entraîner un grippage de ses pièces internes et par conséquent la détérioration de la pompe.

L'augmentation de température provient de la rupture du film d'huile provoquée par l'oxydation qui favorise la formation de boue et de vernis.

Le fonctionnement d'un circuit contenant de l'air provoquera donc l'oxydation de l'ensemble du fluide et il est à craindre que la présence des boues et des vernis entraîne des détériorations.

3) Comment éliminer l'air des circuits :

Des inspections et une maintenance régulière sont les meilleures façons d'agir.

Maintenir tous les éléments de raccordement convenablement serrés est le moyen le plus simple pour éviter les introductions d'air.

Maintenir le niveau d'huile à une hauteur telle que la tuyauterie de retour reste toujours immergée. La tuyauterie d'aspiration de la pompe doit toujours être immergée pour la même raison.

Lors de la mise en service d'un nouveau circuit ou après le nettoyage complet d'une installation, s'assurer qu'une purge totale de l'air enfermé a bien été faite avant la mise en route. Si de l'air se trouve enfermé dans le filtre, un dispositif de purge doit être installé sur sa partie supérieure.

IV. Consignes à respecter lors d'une intervention sur un circuit hydraulique

Avant d'intervenir sur un circuit hydraulique quel qu'il soit, il faut :

- ✓ S'assurer de la coupure du circuit d'alimentation du moteur d'entraînement des pompes (électrique ou thermique).
- ✓ Décharger la pression d'air de pressurisation du réservoir (réservoir pressurisé).
- ✓ Fermer le robinet d'isolement du réservoir (pompes alimentées en charge).

- ✓ Poser par terre ou faire supporter toute charge susceptible d'être suspendue ou soulevée par les vérins (charge "F" soulevée par les vérins et "S" donne pression dans le circuit).
- ✓ Décharger la pression résiduelle dans le circuit en manoeuvrant les éléments de commande (distributeurs).
- ✓ Isoler les accumulateurs du circuit (ouvrir les robinets de purge des accumulateurs s'il s'avère nécessaire).

S'ASSURER QU'IL N'Y A PLUS AUCUN TRONCON DU CIRCUIT SOUS PRESSION

V. Maintenance corrective des installations hydrauliques : diagnostique et contrôle

1. Introduction :

Lequel préféreriez-vous être : monsieur PIFOMETRE ou monsieur METHODIQUE ?

Monsieur PIFOMETRE est un échangeur qui plonge dans une machine et commence à remplacer les pièces pêle-mêle jusqu'à ce qu'il trouve peut-être la panne, après avoir gaspillé le temps et l'argent.

Monsieur METHODIQUE, lui, commence par réfléchir. Il détermine tous les facteurs et les étudie jusqu'à ce qu'il trouve exactement la panne.

Puis il vérifie son diagnostic par un contrôle et ensuite seulement, il commence à remplacer les pièces.

Monsieur PIFOMETRE est pratiquement devenu un homme du passé.

Quel agent peut se permettre de lui confier un engin ou une installation sophistiquée ?

En raison de la complexité des systèmes hydrauliques actuels, la méthode de recherche et de contrôle appliquée par Monsieur METHODIQUE est la seule valable.

2. Principes de base :

Un bon programme de recherche et de contrôle est basé sur sept principes fondamentaux :

1. Connaître le système.
2. Interroger le conducteur.
3. Faire marcher la machine.
4. Examiner la machine.

5. Etablir la liste des causes possibles.
6. En tirer une conclusion.
7. Vérifier cette conclusion.

Voyons ces principes en détail :

1) Connaître le système :

Il faut évidemment un personnel qualifié, ce personnel doit être formé dans un établissement qualifié.

La connaissance du système est la connaissance :

- ✓ De son fonctionnement.
- ✓ Des paramètres de bon fonctionnement : vitesse, couple, pression, débit, température.
Exiger du système au-delà de ses limites augmente la probabilité des pannes.
- ✓ De l'emplacement de chaque élément du circuit dans la machine.
- ✓ De l'emplacement des points de mesure.
- ✓ Des différentes pannes survenues dernièrement et les actions relatives de maintenances exécutées.

Afin d'assurer le maintien des connaissances acquises, une documentation complète et mise à jour régulièrement reste à la disposition du personnel.

2) Interroger le conducteur :

Un bon enquêteur doit se faire raconter toute l'histoire par un témoin : l'opérateur de la machine.

Il peut vous dire comment fonctionnait la machine au moment de la panne et ce qui paraissait inhabituel.

Il faut essayer de déterminer si des clapets n'ont pas été bricolés ou s'il y avait une utilisation abusive.

3) Faire marcher la machine :

La mise en marche de la machine (par le maintenancier ou par l'opérateur) permet de voir ce dont elle est capable et de vérifier :

- ✓ Si les indications des jauges sont normales.
- ✓ Comment fonctionne la machine : fonctionnement lent, irrégulier ou nul.

- ✓ L'état des commandes : fermes ou molles, est-ce qu'elles paraissent coincer ?
- ✓ Y a-t-il des dégagements de fumées, des bruits ou odeurs bizarres ?

4) Examiner la machine :

Une fois l'essai de la machine est terminé, faire un contrôle. Se servir des sens (vue, ouïe, odorat, toucher) pour rechercher les signes de la panne.

- ✓ Vérifier l'huile du réservoir : niveau, état (mousseuse, laiteuse, trop fluide ou trop épaisse, propre, sent-elle le brûlé ?).
- ✓ Vérifier si les filtres ne sont pas colmatés.
- ✓ Vérifier le réservoir et les tuyauteries : sont-ils chauds ? Sont-ils recouverts de saleté et de boue ? Les conduites sont-elles obstruées ou pincées ?.
- ✓ Vérifier si les raccords ne fuient pas, s'il n'y a pas de pénétration d'air par des raccords desserrés.
- ✓ Vérifier si le refroidisseur d'huile n'est pas encombré de déchets et de boue.
- ✓ Vérifier si les soudures ne sont pas fissurées, s'il n'y a pas de criques, si les boulons d'assemblage ne sont pas desserrés ou si les tringleries ne sont pas détériorées.

5) Etablir la liste des causes possibles :

Quels sont les signes de mauvais fonctionnements notés durant l'inspection de la machine ?

Quelles en sont les causes les plus probables ?

Y a-t-il d'autres possibilités ?

6) En tirer une conclusion :

Analyser la liste des causes et déterminer celles qui sont les plus faciles à vérifier, puis axer la décision sur la ou les causes principales.

7) Vérifier cette conclusion :

Avant de commencer à agir, vérifier si les conclusions sont correctes.

Analyser les informations reçues : certains points de la liste peuvent être directement vérifiés :

- ✓ Les fonctions hydrauliques sont-elles toutes mauvaises ? La panne provient vraisemblablement du mauvais fonctionnement de l'un des éléments communs du système (pompe, filtre...).
- ✓ N'y a-t-il qu'un seul circuit de mauvais ? On peut alors éliminer les éléments communs du système et se concentrer sur les pièces de ce seul circuit.

3. Dépannage naturel ou en dents de scie :

1) Contexte - difficultés - qualités requises :

En cas d'arrêt d'une installation, on assiste à d'autant de démarches pour traiter la défaillance que de modes de raisonnement par dépanneur.

Certains ont une démarche de réflexion de leur expérience, d'autres agissent d'après leur niveau de connaissance. L'absence d'une méthode appliquée ne permet pas d'aboutir directement au résultat recherché.

On reproche souvent au dépanneur de se lancer trop vite sans réfléchir, mais il fait ce qu'il peut.

D'autre part, un dépannage est toujours urgent, c'est ce qui explique que nous avons tendance à aller trop vite. Quand il s'agit de résoudre une panne, nous faisons une hypothèse quant à la cause et nous agissons en conséquence : si cela marche, nous sommes gagnants, sinon, nous faisons une autre hypothèse et nous agissons sur elle et ainsi de suite jusqu'à ce que nous ayons la chance de tomber sur la cause. C'est là notre manière naturelle de traiter un problème. Outre cette urgence, on peut citer à titre non exhaustif hors du dépannage les difficultés suivantes :

- ✓ Le dépanneur doit brasser et inférer une masse considérable d'informations fluctuantes, souvent mal structurées et bien souvent qualitatives.
- ✓ Les renseignements utiles pour la prise de décision sont souvent mal ou non organisés.
- ✓ L'intuition tient souvent lieu de méthode.
- ✓ Nécessité pour le dépanneur d'avoir de la puissance de réflexion.
- ✓ Quand on va du symptôme de panne à sa cause, on raisonne à l'envers, ce qui fait qu'on ne va pas trouver la cause de panne mais seulement sa cause probable. La réflexion du dépanneur ne lui permet que d'augmenter la probabilité de l'une des nombreuses causes possibles de la panne.
- ✓ L'intuition ne suffit plus et l'absence d'une démarche systématique se fait sentir devant les systèmes nouveaux et complexes.

- ✓ Devant ces difficultés, le dépanneur doit posséder certaines qualités parmi lesquelles :
- ✓ Esprit précis et méthodique.
- ✓ Conscience professionnelle élevée.
- ✓ Une bonne base polyvalente de connaissances.
- ✓ La connaissance de la machine (fonctionnelle, opérationnelle, historique).
- ✓ La connaissance de l'environnement.
- ✓ Rester calme en situation de stress.
- ✓ Intuition développée : l'essence de l'intuition est de savoir utiliser les particularités et les changements, elle peut être améliorée par l'entraînement.
- ✓ Capacité de relier des événements les uns aux autres, c'est à dire qu'il doit avoir atteint le niveau de la pensée formelle.

2) La réalité :

Parmi les qualités requises chez le dépanneur est de garder le calme en situation de stress. Comme cette qualité est relativement rare, le dépanneur s'en sort en Développement des réflexes qui vont louer automatiquement en situation de stress. Il pratique ce qu'on appelle le dépannage naturel ou encore dépannage en dents de scie.

De plus, et au fur et à mesure qu'il dépanne, le dépanneur prend l'habitude d'associer les causes aux symptômes.

Il garde en mémoire ces associations, ce qui lui permet souvent de dépanner rapidement et, ce qui est important, sans avoir besoin de réfléchir.

L'inconvénient évidemment, est que l'efficacité tombe à zéro si la panne est nouvelle ou si la machine réparée prend l'allure caractéristique de la dent de scie, une suite d'hypothèses et d'actions souvent contradictoires et illogiques.

3) Inconvénients :

En moyenne, pour 80% des pannes, la cause est facile à trouver, elle est une évidence ou bien la panne actuelle est la répétition exacte d'une panne précédente. Seulement, il a été établi, qu'en général ces 80%, faciles à résoudre ne représentent que 20% de la défense : ce sont les 20% des cas difficiles qui représentent les 4/5 de la défense.

Pour résoudre les 80% faciles, il est suffisant d'avoir de l'expérience en dépannage, de connaître l'histoire des pannes de la machine, souvent présentée sous forme de check-list par le constructeur de la machine.

En général la réputation des bons dépanneurs est faite sur ces 80% des pannes, mais il faut d'autres qualités que la simple mémoire et l'intuition d'un bon professionnel (c'est à dire l'aptitude à percevoir quasi instantanément les symptômes significatifs et les relier à une vieille expérience du matériel) pour pouvoir résoudre les 20% des pannes qui représentent 80% des coûts.

Il faut avoir la puissance de réflexion.

Outre cet inconvénient majeur du dépannage naturel, et parmi d'autres, on peut citer les suivants:

- ✓ Coût, temps perdu, avec le risque d'entraîner d'autres pannes souvent plus graves. Le dépannage peut même devenir impossible si les réglages ont été changés inconsidérablement comme c'est souvent le cas.
- ✓ Mauvaise exploitation des historiques, constatés par la répétition tant au niveau des causes que des effets et des remèdes et induisant des surconsommations de ressources humaines et matérielles.
- ✓ Saisie des informations relatives à la panne non organisée.
- ✓ En cycle d'intervention, le dépanneur ne développe que les mauvais réflexes du fait qu'il est souvent bousculé, et de ce fait ne s'améliore pas suffisamment : faible enrichissement des tâches.
- ✓ Ne favorise pas le travail en équipe.

4.Diagnostic ou dépannage rationnel :

1) Principe :

Parmi les fonctions de la maintenance, le diagnostic a traditionnellement toujours été une des préoccupations majeures des responsables du Service

Maintenance. Assurément, il représente une étape essentielle d'abord parce qu'il détermine toutes les autres et ensuite parce que les matériels évoluent avec rapidité. Cette importance du diagnostic est encore renforcée par l'évolution des comportements à l'égard de la maintenance préventive qui conduit fréquemment à effectuer des diagnostics d'état et non pas seulement des diagnostics de panne.

Or souvent, on a un peu tendance à négliger cette importance des diagnostics techniques quand on apprécie les besoins en matière de maintenance. On peut l'expliquer par l'amélioration générale de la fiabilité, l'expérience de bons programmes de maintenance préventive, la confiance accordée au personnel de maintenance, ou encore, sur un plan différent, les réticences à investir dans un domaine qui risque de contribuer, mais ce n'est pas une certitude à la réduction des temps d'immobilisation. Un tel comportement ne donne cependant guère confiance au responsable de maintenance quand on lui demande d'instruire une défaillance technique.

Par ailleurs, la fiabilité n'élimine jamais en totalité des défaillances possibles, d'autant plus qu'il existe généralement de nombreux points sensibles à l'intérieur d'un équipement et qu'il convient d'explorer chacun d'eux.

2) Définition :

Selon la norme AFNOR NF X 60-010, "le diagnostic est l'identification de la cause probable de la (ou les) défaillance (s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test".

Le principe du diagnostic consiste à recueillir, à un instant donné, un certain nombre d'informations qui sont liées à l'état de la machine. Deux méthodes principales sont utilisées.

Elles portent sur la performance (débit, pression, puissance, rendement...) ou sur le comportement sous l'effet de sollicitations internes (échauffement, vibration, contamination du fluide...).

Elles sont ensuite comparées aux informations de référence, relatives à la machine réputée en bon état. Ces dernières sont tirées soit de normes, soit de résultats d'essais réalisés lors de la mise en service.

3) Démarche :

En dépannage rationnel, on distingue trois phases principales :

- a) Phase de recueil d'informations.
- b) Phase de recherche de cause (diagnostic).
- c) Phase de remise en état.

En ce qui concerne la première phase, les défauts qui peuvent handicaper le dépanneur sont principalement le manque de curiosité et d'esprit critique d'une part et le manque de prévision d'autre part. Par contre, l'une des principales qualités requises réside dans le bon sens d'observation.

A titre indicatif et non exhaustif, nous citons quelques types d'informations à recueillir :

- ✓ Bruits et vibrations.
- ✓ Chaleur.
- ✓ Paramètres de fonctionnement.
- ✓ Aspect visuel.
- ✓ Contamination du fluide.

Autres informations telles que : contrôles non destructifs, détection de défauts par ultrasons, magnétoscopie, l'émission acoustique, radiographie.

La deuxième phase (recherche de la cause) peut elle-même être scindée à son tour en trois phases principales :

a) L'identification d'une défaillance :

De même que pour toute décision entraînant le choix d'un procédé, la première tâche d'un diagnostic est de définir le problème. Sous sa forme élémentaire, le problème consiste à dire qu'un ou plusieurs sous-ensembles constitutifs ne fonctionnent pas correctement. Une telle information peut parvenir à l'opérateur soit directement à partir de ses propres informations, soit indirectement au moyen d'un message verbal ou écrit. Son premier travail va donc consister à déterminer l'étendue de la défaillance.

- ✓ En précisant l'équipement ou le procédé concerné.
- ✓ En indiquant à quel stade du fonctionnement la défaillance est intervenue.

Cette détermination fournit une image précise de la zone affectée et de l'étendue de la défaillance. Elle indiquera donc où il convient de porter plus particulièrement son attention.

b) Interprétation du système :

Elle consiste à discuter chacune des causes possibles. L'opérateur dispose à cet effet de ses propres sens et des instruments de mesure et moyens mis à sa disposition. Il pourra ainsi, en rassemblant le tout, réduire, puis focaliser la zone sensible.

c) Investigation détaillée :

Ayant préalablement identifié la zone la plus probable à l'origine de la défaillance, l'opérateur peut commencer son investigation détaillée.

Il commence généralement par s'assurer du procédé utilisé, et s'appuie à cet effet sur une documentation qui complète ses connaissances personnelles de l'équipement. En éliminant successivement les secteurs qui fonctionnent correctement, il doit normalement aboutir à l'élément défaillant.

En d'autres termes, le cheminement à suivre par le dépanneur doit être le suivant :

- ✓ Définir complètement et précisément le symptôme.
- ✓ Chercher s'il y a des symptômes simultanés, c'est à dire apparus à peu près en même temps. De tels symptômes ont une cause commune, donc facile à trouver où l'une est la conséquence de l'autre.
- ✓ Chercher les configurations sans défaut, c'est ce qui, dans, sur, ou autour, de la machine en panne fonctionne sans problèmes à ces configurations. Il arrive à éliminer un certain nombre de causes possibles, augmentant ainsi la probabilité de celles qui restent.

De plus en comparant ces configurations sans défauts avec celles qui sont défectueuses; il met en évidence des particularités de la panne qui sont souvent des causes de panne.

- ✓ Chercher les changements, c'est à dire tout ce qui s'est produit d'un peu remarquable avant la panne : là encore, les changements peuvent être la cause cherchée.

La dernière phase (remise en état) exige principalement des compétences techniques. Toutefois, la mission du dépanneur rationnel ne se limite pas uniquement à la remise en état, en effet une bonne gestion de la panne peut nous en dire beaucoup sur celle-ci et nous permettre surtout de réaliser le dépannage préventif.

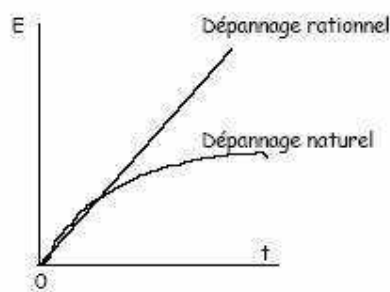
Celui-ci comprend trois étapes :

- ✓ Trouver la cause première de la panne et la corriger et s'en servir pour améliorer la maintenance préventive.
- ✓ Chercher toutes les conséquences de la panne dans la machine : une panne signifie que cette machine a marché anormalement pendant des heures ou pendant quelques secondes. Elle a donc pu subir des dommages cachés, actuels ou simplement potentiels. Ces dommages sont autant des causes possibles de nouvelles pannes souvent plus graves que la première.
- ✓ Vérifier les machines semblables à celle qui est en panne : toute leçon découlant d'une panne peut profiter à d'autres machines.

4) Comparaison dépannage rationnel / naturel :

Parmi les inconvénients du dépannage naturel précité, le plus important à notre sens est celui du non-enrichissement des tâches. Aussi, l'avons-nous retenu comme référence pour la comparaison ci-dessous, on aboutit à l'illustration ci-après:

$$\text{Efficacité du dépanneur } E = \frac{1}{\text{temps moyen de diagnostic}}$$



5. Méthodologies et outils d'aide au diagnostic :

1) Analyse causale :

a) Principe :

Pour toute personne désireuse d'analyser un sujet fut-il complexe ou non, la mise à sa disposition d'un outil d'expression (méthode) simple et efficace est une nécessité.

Qu'il s'agisse logique ou causale, ces méthodes souvent méconnues de l'homme de maintenance peuvent lui être d'une grande utilité. D'ailleurs inutilement ou avec bon sens, elles sont appliquées partiellement et à des degrés divers, lors des phases de dépannage ou d'analyse de panne ou encore d'étude de fonctionnement de matériel.

Cependant, pour être tout à fait efficace, il ne suffit pas de connaître un peu ou d'appliquer partiellement une méthode. Il est en effet nécessaire de connaître une méthode éprouvée, de l'appliquer systématiquement pas à pas, enfin de l'appliquer complètement.

En tirant les données et en n'en omettant aucune qui soit significative pour l'environnement de la situation et de la décision on ne pourra qu'améliorer le développement des capacités d'analyse.

Cependant, en nous étendant dans la décomposition, le problème des limites de l'objet d'étude se pose. Il importe donc de savoir à tout propos ce qui en fait partie et ce qui n'en fait pas partie.

Retenons pour le moment, que lors de la décomposition, on s'aperçoit vite qu'il n'est pas utile, et souvent nuisible, d'explicitier tous les éléments et leurs liaisons. Le seul critère est celui de la non ambiguïté de la représentation retenue, ou de son évidence.

Encore faut-il insister une fois encore là-dessus : n'omettre aucune donnée significative.

b) Méthode cause-effet :

Cette analyse a été mise au point par le Japonais KAORU ISHIKAWA dans la démarche cercle de qualité. La démarche fait appel à un travail collectif de créativité. On ne s'intéresse généralement pas ici au concours de circonstances (voir plus loin Arbre des Causes) mais aux causes possibles et plus particulièrement à celles les plus probables : c'est la fonction logique qui va nous guider et non le ET. On procède en cinq étapes :

- ✓ Recherche de toutes les causes possibles.
- ✓ Regroupement des causes par famille.
- ✓ Recherche de la ou des causes les plus probables.
- ✓ Vérification par des contrôles ou des tests.
- ✓ Action sur la ou les causes.

Cette recherche arborescente est présentée sous forme d'un diagramme en arêtes de poisson d'où le nom qui est quelques fois donné à la méthode.

Ce diagramme est très utile pour l'analyse méthodique exhaustive ou quasi exhaustive des causes de défaillance. Il permet de concevoir des tests par famille de causes.

c) Arbre de causes :

Cette méthode a été essentiellement mise au point par l'institut national de recherche et de sécurité (INRS) pour l'analyse et la prévention des accidents.

Elle convient particulièrement bien à l'analyse des événements résultant de la conjonction de causes différentes. Cet événement : panne, cause, accident, résultat d'un concours de circonstance, pour qu'il se produise, il a fallu la réalisation simultanée de... et de... et de... etc.

La particularité de ce concours de circonstances est que si l'on supprime une des circonstances, la condition n'est pas satisfaite. Dans ce cas l'événement ne se produit pas, on coupe une des branches de l'arbre et l'événement ne peut se produire.

L'arbre de causes peut être construit de deux façons différentes :

- ✓ Soit par la recherche de toutes les conditions qui permettent un fonctionnement correct. Dans ce cas on s'efforcera de réaliser durablement chacune de ces conditions toutes ensemble.
- ✓ Soit par la recherche de toutes les conditions qui ont conduit à un accident. Dans ce cas, on s'efforcera d'empêcher durablement la réalisation d'une ou mieux de plusieurs des conditions nécessaires à l'accident. C'est la démarche originale de l'INRS.

Dans ce deuxième cas la démarche est la suivante :

1. Recherche des faits, tous les faits sont réunis sans ordre de prépondérance.
2. Elaboration de l'arbre des causes par étapes successives. Des questions sont posées à chaque étape pour ne pas oublier d'élément important.

Ces questions sont :

- ✓ Qu'a-t-il fallu pour arriver à ce résultat ?
 - ✓ Etait-ce nécessaire ?
 - ✓ Etait-ce suffisant ?
3. Etude des branches de l'arbre pour définir les mesures préventives adaptées.
 4. Prendre ces mesures pour éviter la répétition de l'accident.
 5. S'assurer que les mesures sont bien prises et cela durablement.

Le dépanneur vérifiera, du niveau 1 vers les niveaux les plus élevés, qu'à chaque niveau toutes les conditions sont remplies de proche en proche, la condition non remplie fera remonter à la source de la panne.

APPLICATION :

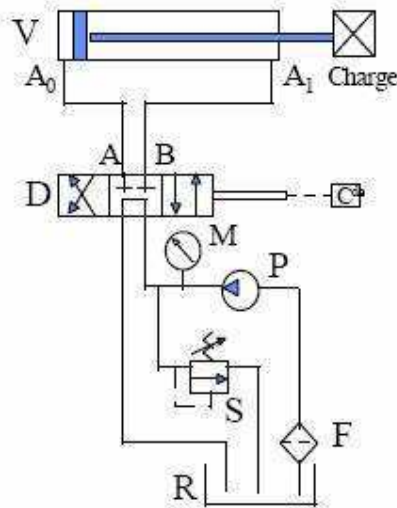
L'exemple concret suivant va nous permettre de traiter une défaillance en appliquant successivement les deux démarches précédentes : la méthode cause-effet et l'arbre de causes.

Soit une installation hydraulique réduite au sous-ensemble suivant :

1. Une centrale hydraulique composée :
 - ✓ D'un réservoir **R**.
 - ✓ D'une pompe **P** actionnée par un moteur électrique.

- ✓ D'un manomètre **M**.
 - ✓ D'un limiteur de pression **S**.
 - ✓ D'un filtre **F**.
2. Un vérin double effet **V**.
 3. Un distributeur à trois positions **D**.
 4. Un ensemble de tuyauterie de raccordement **T**.
 5. Un moyen de commande **Cde**.

Schéma :



a) Résolution par l'arbre de causes :

Nous avons vu que l'on pourrait construire l'arbre de causes de deux façons.

Prenons celle qui consiste à rechercher toutes les conditions qui permettent un fonctionnement correct.

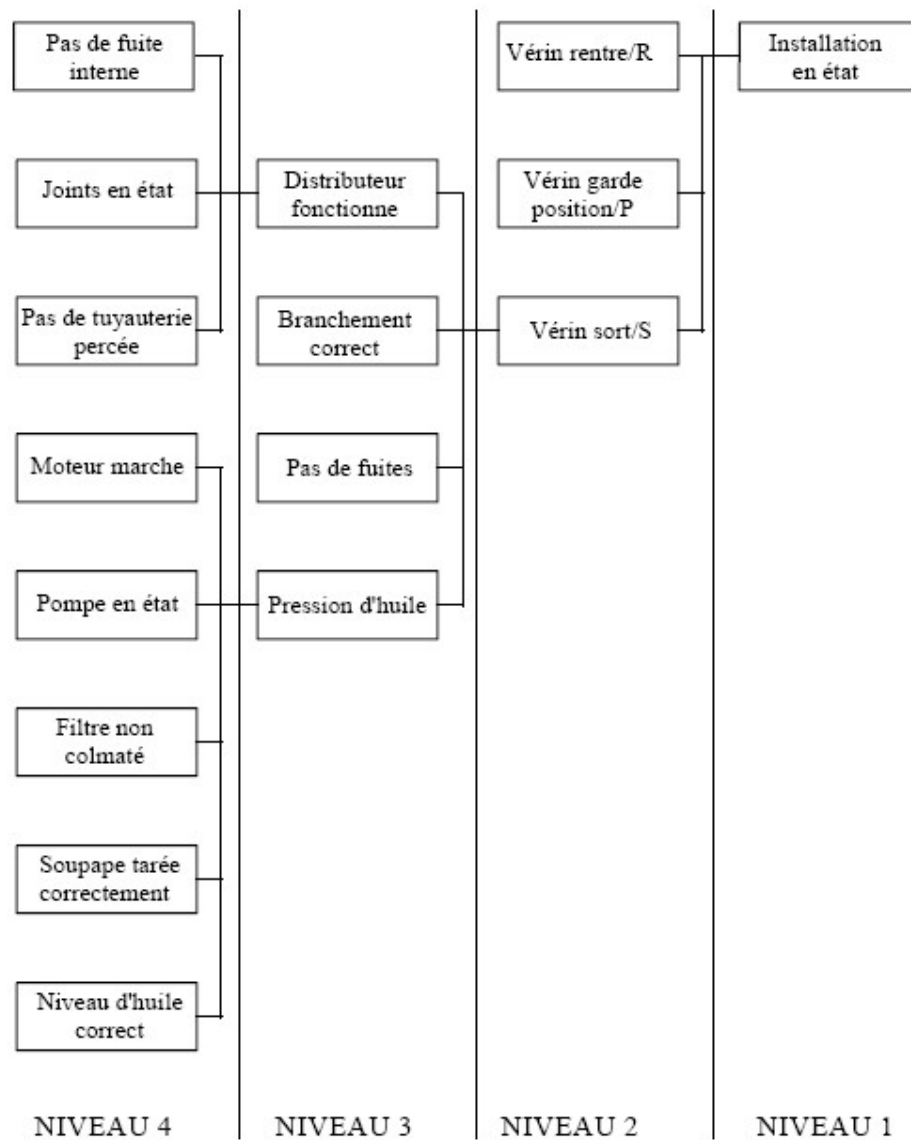
L'installation est en état de marche si :

- ✓ - Le vérin sort quand la commande sortie est actionnée.
- ✓ - Le vérin rentre quand la commande rentrée est actionnée.
- ✓ - Le vérin reste dans une position intermédiaire avec ou sans charge quand la commande de position intermédiaire est actionnée.

Chacune de ces conditions est nécessaire pour déclarer l'installation en état de fonctionnement.

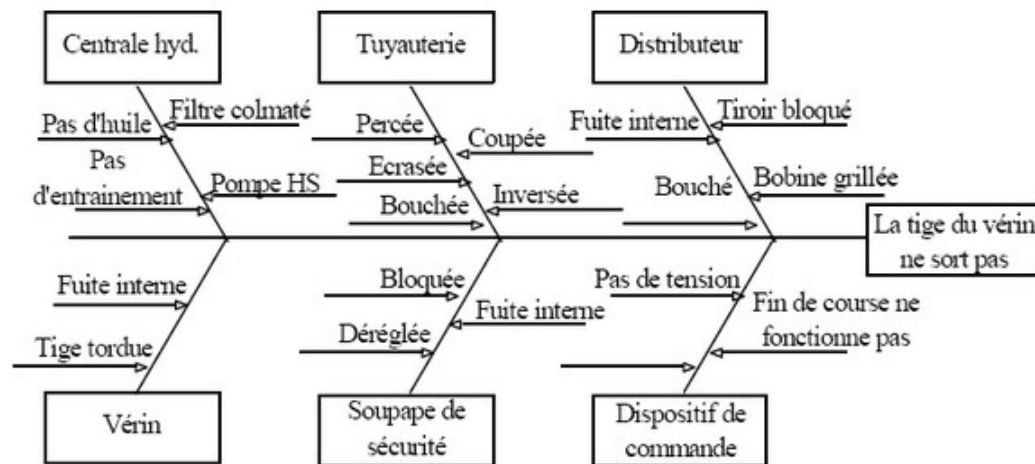
Individuellement, elles ne sont pas suffisantes. Il n'y a pas d'autres conditions à respecter, donc si elles sont réalisées toutes les trois elles sont suffisantes.

La décomposition de la branche "vérin sort" conduit, de proche en proche, à l'arbre suivant :



b) Résolution par la méthode cause-effet :

Différentes présentations sont possibles dans le cas de l'application à la maintenance. Nous donnons ici la forme la plus classique sans développer les étapes intermédiaires.

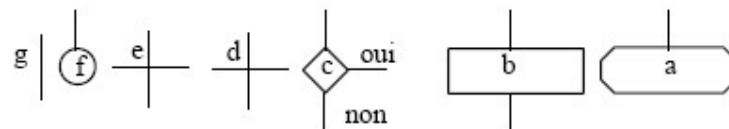


2) Analyse logique :

Principe :

L'analyse logique a été conçue comme outil d'aide à la réalisation de programmes informatiques. Elle se traduit correctement par l'élaboration d'un ordinogramme (logigramme). C'est probablement la méthode la plus adaptée à la maintenance. Cette logique permet un diagnostic par étapes et, normalement, conduit rapidement à la source du problème. Elle se prête bien à la mise sous forme de procédure de dépannage ou de vérification. En effet, de proche en proche, des questions vont orienter notre recherche selon la nature des réponses apportées. Cela se traduit par un schéma qui visualise la procédure et sa logique.

L'ordinogramme est remarquable en ce sens qu'il peut réduire un énorme code de procédures à quelques schémas logiques, et surtout qu'il en donne une représentation graphique. L'homme perçoit mieux quand il peut visualiser un processus. L'ordinogramme est bien entendu utilisable ailleurs qu'en informatique ou en maintenance.



a : Symbole de début et de fin.

b : Symbole de traitement: correspond à une action, plusieurs entrées sont possibles mais seulement une sortie.

c : Symbole de test : s'oriente sur l'une ou l'autre des sorties selon que la condition est réalisée ou non.

d : Jonction.

e : Croisement.

f : Renvoi.

g : Symbole de liaison : traduit le lien entre deux éléments et l'ordre de traitement.

La construction de l'ordinogramme suppose une démarche bien particulière.

L'ordre est le suivant :

1) Établissement de la procédure : c'est la phase qui permet de préciser le contenu et la nature de l'opération.

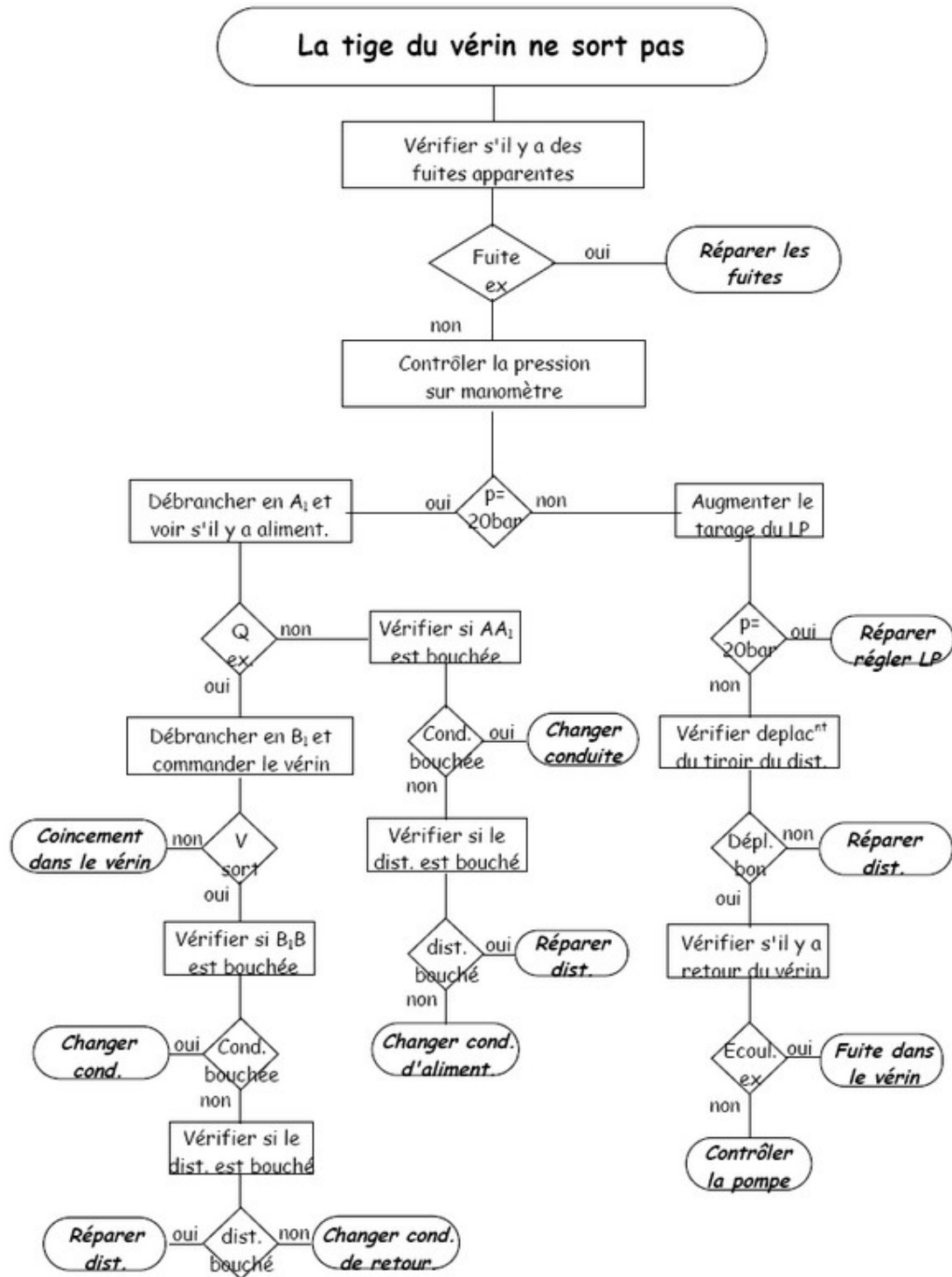
2) Conduire l'analyse de forme condensée : on met en évidence les liens et les formulations des conditions : si condition réalisée alors action correspondante.

3) Tracé de l'ordinogramme dit en respectant les règles et les conventions de représentation graphique.

4) Validation du tracé.

APPLICATION :

Reprenons l'exemple de la centrale hydraulique et essayons d'appliquer la démarche décrite ci-dessus. Nous obtenons l'ordinogramme suivant :



VI. Matériel minimum nécessaire au contrôle

Il est certain qu'un technicien, aussi qualifié soit-il, ne peut par son simple flair détecter une panne vicieuse sans l'aide d'appareils de contrôle.

A ce sujet, l'expérience prouve que ces techniciens ne possèdent malheureusement pas toujours le minimum des appareils nécessaires à la réalisation de leur travail. Ils en sont donc affectés. Voyons

donc le matériel véritablement indispensable que chaque mécanicien ou plus exactement hydraulicien, devrait posséder pour le dépannage.

1.Manomètre :

Des manomètres, ou mieux, un coffret de manomètres dont les échelles de pressions correspondent à l'ensemble des matériels susceptibles d'être testés.

A ce sujet, rappelons qu'il faut se souvenir de la règle générale suivante : lorsqu'un manomètre est utilisé sur un circuit dans lequel la pression est sensiblement constante, le facteur d'échelle doit être de 1,5.

En d'autres termes, si une pression de 100 bar doit être mesurée, l'échelle minimale du manomètre doit être comprise entre 0 et 150 bar.

Si le manomètre est utilisé sur un circuit dans lequel règne des pressions oscillantes, le facteur d'échelle doit être de 2.

C'est ainsi que dans ces conditions, une pression de 10 bar doit être relevée par un manomètre dont l'échelle est comprise entre 0 et 20 bar.

Attention à la classe de précision des manomètres, elle varie couramment entre ± 1 à $\pm 2,5$ %.

Les manomètres doivent être pourvus de systèmes amortisseurs ou encore de valve d'isolement. Dans certains cas les deux systèmes sont conjugués. Ces dispositifs complémentaires absorbent les coups de bélier, les vibrations, les trépidations, les pulsations, les à-coups et évitent la détérioration des tubes de bourdon ou des soufflets, ainsi que la rupture des aiguilles des manomètres lors de la mise en pression rapide.

Un manomètre doit être contrôlé périodiquement.

2.Chronomètre :

Il permet de contrôler la vitesse de mouvement des équipements de la machine incriminée, par rapport aux vitesses normales.

3.Un vacuomètre :

Ou indicateur de dépression, il permet de mesurer la dépression à l'alimentation des pompes mais également le fonctionnement des clapets de réalimentation de vérins par exemple.

4. Thermomètre :

La connaissance exacte de la température du fluide facilite souvent la recherche des incidents hydrauliques.

5.Des vannes :

De différentes dimensions, avec raccords et flexibles haute pression correspondants.

Ces vannes permettent le contrôle des pompes, sans qu'il soit nécessaire de les démonter du moteur thermique d'entraînement ou de l'organe sur lequel elles sont accouplées.

6.Un tachymètre :

Manuel ou électronique, ce dernier est le plus valable, il ne nécessite pas de point de centre pour le contrôle du régime, point de centre parfois inaccessible.

7.Un stéthoscope :

Cet appareil permet de localiser rapidement les bruits et les vibrations d'un circuit hydraulique. Un tel appareil, même très rudimentaire, rend d'innombrables services et son prix est dérisoire.

8.Un débitmètre :

Il s'agit là d'un appareil coûteux, cependant son utilisation rationnelle a prouvé son amortissement.

En définitive, la panne coûte très cher (immobilisation du matériel).

Toutefois une intervention rapide et sérieuse peut revaloriser le service dépannage.

Pour qu'une panne soit circonscrite rapidement, un matériel de contrôle moderne est nécessaire.

Les opérateurs désignés pour l'utilisation de ce matériel doivent être instruits sur son fonctionnement et sur sa manoeuvre.

Placé sous de bonnes mains, il permet de réaliser des sondages dont les résultats sont d'une grande précision.

Manoeuvré par un opérateur non qualifié, il risque de créer des détériorations d'organes, entre autres : rupture d'arbre d'entraînement de pompe hydraulique, voire de la pompe elle-même et des flexibles.

Sa manoeuvre est simple, très simple, il suffit toutefois d'en être averti.

VII. Synthèse des principales anomalies de fonctionnement des systèmes hydrauliques

1. Pas de débit ou débit insuffisant :

Ce cas se traduit par l'arrêt ou le fonctionnement à vitesse très lente des récepteurs, même quand aucun effort ou couple ne leur est demandé.

- ✓ Vanne d'isolement du réservoir partiellement ou totalement fermée.
- ✓ Niveau d'huile trop bas ou absence d'huile dans le réservoir.
- ✓ Aération interne du réservoir insuffisante (reniflard).
- ✓ Aspiration perturbée, canalisation bouchée, aplatie ou de section très mal adaptée, hauteur d'aspiration trop grande, présence de nombreux coudes inutiles, prise d'air, crépine d'alimentation colmatée ou de capacité insuffisante (s'assurer que la crépine d'origine n'a pas été remplacée par une plus petite).
- ✓ Vitesse inadaptée (trop lente) du moteur d'entraînement.
- ✓ Arbre ou clavette d'accouplement de la pompe rompu.
- ✓ Pompe ne tournant pas dans le bon sens.
- ✓ Usure importante des éléments de la pompe (chute sérieuse du rendement volumétrique).
- ✓ Raccords des lignes de pression non étanches, points d'étranglement.
- ✓ Filtres des lignes de pression colmatés.
- ✓ Pression de gonflage en azote trop faible (accumulateur).
- ✓ Tarage beaucoup trop bas de la valve de pression ou clapet coincé ouvert ou partiellement ouvert.
- ✓ Position non conforme des tiroirs de distributeurs (recouvrement négatif).
- ✓ Pression de pilotage des tiroirs trop faible ou manque de commutation (solénoïdes endommagés).
- ✓ Fonctionnement incorrect de la commande de variation de débit (élément à débit variable).

2. Pas de pression ou pression trop faible :

- ✓ Ce cas se traduit par l'immobilité des vérins et moteurs lorsque force ou couple est réclamé par ces récepteurs.
- ✓ Vanne d'isolement du réservoir partiellement ou totalement fermée.
- ✓ Niveau d'huile trop bas ou absence d'huile dans le réservoir.
- ✓ Viscosité de l'huile beaucoup trop faible.
- ✓ Aspiration perturbée, canalisation bouchée, aplatie ou de section très mal adaptée, hauteur d'aspiration trop grande, présence de nombreux coudes inutiles, prise d'air, crépine d'alimentation colmatée ou de capacité insuffisante (s'assurer que la crépine d'origine n'a pas été remplacée par une plus petite).
- ✓ Vitesse inadaptée (trop lente) du moteur d'entraînement.
- ✓ Arbre ou clavette d'accouplement de la pompe cassé.
- ✓ Pompe tournant en sens inverse à celui prévu.
- ✓ Rupture de conduite, raccords défectueux.
- ✓ Filtres des lignes de pression colmatés.
- ✓ Pression de gonflage en azote de l'accumulateur trop faible (puissance absorbée par l'accumulateur, insuffisante).
- ✓ Tarage trop bas de la valve de pression, rupture de son ressort, corps étranger sur le siège du clapet, clapet partiellement ou totalement ouvert.
- ✓ Fuites intérieures importantes au niveau des vérins ou des moteurs.

3. Variation de pression et de débit :

Ce cas se traduit par un fonctionnement irrégulier des récepteurs (mouvements saccadés).

Si ce phénomène se produit uniquement à la mise en route par temps froid et ne dure que peu de temps (quelques secondes), l'utilisation d'un thermo-plongeur est à conseiller durant cette période.

- ✓ Niveau d'huile trop bas dans le réservoir, tourbillons dans la zone de la crépine ou de la canalisation de l'aspiration, phénomène de turbulence du retour vers l'aspiration, construction défectueuse du réservoir : absence du séparateur entre le retour et l'alimentation.
- ✓ Aspiration perturbée et plus particulièrement prises d'air.

- ✓ Trop grandes irrégularités en régime du moteur thermique d'entraînement.
- ✓ Introduction d'air : pression différentielle au niveau d'éléments de raccordement, de joints (de tout type), de tiges usées de vérins, de tuyauteries (fendues), etc.
- ✓ Insuffisance de purge des vérins.
- ✓ Variation de la pression de pilotage aux distributeurs.
- ✓ Eléments d'entraînement des moteurs hydrauliques défectueux.
- ✓ Tuyauterie de retour située trop haut par rapport au niveau du fluide dans le réservoir.

4. Température trop élevée du fluide de transmission de puissance :

Ce cas est généralement dû à un laminage important dans une portion du circuit, mais il peut également provenir des anomalies résultant des points mentionnés ci-après :

- ✓ Thermomètre de l'installation (à contrôler).
- ✓ Viscosité mal adaptée du fluide de transmission de puissance.
- ✓ Rythme de fonctionnement de la machine ou de l'installation supérieur à celui prévu.
- ✓ Vitesse d'entraînement trop importante de la ou des pompes.
- ✓ Fonctionnement trop fréquent de la soupape de sécurité (tarage à relever très légèrement).
- ✓ Fuite au niveau de la soupape de sécurité.
- ✓ Travail réalisé à pression plus importante que celle prévue par le concepteur.
- ✓ Dimensionnement trop faible du refroidisseur.
- ✓ Refroidisseur colmaté.
- ✓ By-pass du refroidisseur immobilisé en position ouverte.
- ✓ Aération insuffisante de la centrale et plus particulièrement du réservoir (température ambiante trop importante).
- ✓ Canalisations de travail et de retour de trop faible section ou comportant un trop grand nombre de coudes.
- ✓ Pression d'ouverture trop haute de certains by-pass de filtres et plus particulièrement sur ceux de retour.
- ✓ Fonctionnement défectueux du système de conjonction (accumulateur).
- ✓ Fuites intérieures importantes au niveau des composants (laminage par usure excessive).

- ✓ Grippage ou amorce de grippage d'un ou plusieurs récepteurs.
- ✓ Tiroirs de distributeurs reprenant trop lentement leur position correcte.
- ✓ Etrangleurs (limiteurs de débit) mal adaptés (de diamètre trop faible).

5. Bruits anormaux, fonctionnement bruyant :

La constatation d'une telle anomalie nécessite l'arrêt immédiat de l'installation ou de la machine.

- ✓ Vanne d'isolement du réservoir partiellement ou totalement fermée.
- ✓ Niveau d'huile trop bas ou absence d'huile dans le réservoir.
- ✓ Aspiration perturbée, canalisation bouchée, aplatie ou de section très mal adaptée, hauteur d'aspiration trop grande, présence de nombreux coudes inutiles, prise d'air, crépine d'alimentation colmatée ou de capacité insuffisante (s'assurer que la crépine d'origine n'a pas été remplacée par une plus petite).
- ✓ Viscosité trop élevée (mise en route par temps froid, si l'incident ne dure que quelques secondes à une période bien déterminée de l'année, prévoir durant cette saison un thermoplogeur).
- ✓ Aspiration d'air consécutive à un retour trop haut (phénomène d'émulsion).
- ✓ Réservoir ne comportant pas de séparation entre orifices d'alimentation et de retour.
- ✓ Aspiration d'air due à un régime de rotation trop élevé de la ou des pompes.
- ✓ Pompe désamorcée.
- ✓ Défaut d'alignement dans les accouplements ou d'articulations mécaniques (pompes, moteurs hydrauliques, vérins).
- ✓ Bruits susceptibles de provenir du moteur d'entraînement (thermique ou électrique).
- ✓ Bruit émis par le système de ventilation.
- ✓ Fixation insuffisante ou non appropriée des canalisations, filtres, etc.
- ✓ Vessie d'accumulateur défectueuse (l'azote pénètre dans le circuit).
- ✓ Distributeur mal adapté (sections de passage trop faibles).
- ✓ Cavitation au niveau des vérins et des moteurs hydrauliques.
- ✓ Moteur hydraulique fonctionnant en pompe (entraîné non plus par le flux d'huile mais par la machine ou l'organe commandé).

- ✓ Moteur hydraulique désamorcé.