



HYDRAULIQUE INDUSTRIELLE

Cours Magistral : 10 heures
Travaux Dirigés : 10 heures
Travaux Pratiques : 16 heures

Niveau : Licence Génie des Systèmes Industriels

Objectifs :

- Permettre aux étudiants d'appréhender un système hydraulique pour en modifier le cahier des charges et lui donner une fonctionnalité supplémentaire.
- Permettre aux étudiants d'appréhender un système hydraulique pour lui redonner la fonctionnalité pour lequel il avait été prévu, en changeant, modifiant des éléments n'assurant plus leur fonction ou ayant un mode de fonctionnement dégradé.

Bibliographie :

- Mannesmann Rexroth : Le cours d'hydraulique Tome 1 à 3
- Industries et Techniques : Mécanismes Hydrauliques et Pneumatiques chez DUNOD par J. Faisandier
- L'Usine Nouvelle : Aide Mémoire Hydraulique Industrielle chez DUNOD par J. Roldan Vilorio
- Etapes : Génie Mécanique Automatismes Industriels chez NATHAN par J.M. Bleux et J.L. Fanchon
- Sciences Industrielles : Hydrostatique 1 chez ELLIPSES par F. Esnault et P. Bénéteau
- Sciences Industrielles : Hydrostatique 2 chez ELLIPSES par F. Esnault et P. Bénéteau
- Hydraulique : Machines et composants chez EYROLLES par G. FAYET
- Documentation Bosh

Auteur : Thierry Boulay Professeur Agrégé de génie Mécanique

| |
|-----------------|
| SOMMAIRE |
|-----------------|

| | |
|---|----|
| 1. Principes généraux ----- | 5 |
| 1A. Relations entre énergie mécanique et énergie hydraulique ----- | 5 |
| 1A1. La pression ----- | 5 |
| 1A2. Théorème du travail ----- | 5 |
| 1A3. Théorème des puissances ----- | 5 |
| 1A4. Comportement des fluides en mouvement ----- | 6 |
| 1A5. Les unités fondamentales ----- | 6 |
| 1A6. Relations importantes ----- | 7 |
| 1B. Viscosité ----- | 7 |
| 1B1. Viscosité dynamique μ (Mu) ----- | 7 |
| 1B2. Viscosité cinématique ν (Nu) ----- | 8 |
| 1B3. Autres viscosités ----- | 8 |
| 1C. Régimes d'écoulements ----- | 8 |
| 1C1. Nombre de Reynolds Re ----- | 8 |
| 1C2. Régime laminaire ----- | 8 |
| 1C3. Régime turbulent ----- | 8 |
| 1C4. Régime transitoire ----- | 9 |
| 1D. Compressibilité et dilatation ----- | 9 |
| 1D1. Coefficient de compressibilité ----- | 9 |
| 1D2. Coefficient volumique de dilatation thermique ----- | 9 |
| 1E. Pertes de charge ----- | 9 |
| 1E1. Introduction ----- | 9 |
| 1E2. Pertes de charge systématiques en régime laminaire ----- | 10 |
| 1E3. Pertes de charge systématiques en régime turbulent lisse ----- | 10 |
| 1E4. Pertes de charge systématiques en régime turbulent rugueux ----- | 10 |
| 1E5. Pertes de charge singulières ----- | 11 |
| 2. Le fluide hydraulique ----- | 12 |
| 2A. Produits aqueux ----- | 12 |
| 2B. Huiles minérales ----- | 12 |
| 2C. Huiles de synthèse ----- | 13 |
| 2D. Caractéristiques ----- | 13 |
| 2D1. Indice de viscosité V_i ----- | 13 |
| 2D2. Point d'aniline ----- | 14 |
| 2D3. Onctuosité ----- | 14 |
| 2D4. Point éclair ou d'inflammabilité ----- | 14 |
| 2D5. Point de feu ou point de combustion ----- | 14 |
| 2D6. Point d'auto inflammation ----- | 14 |
| 2D7. Points de congélation ----- | 14 |
| 2D8. Propriétés anti-corrosives ou indice d'acide ----- | 15 |
| 2D9. Carbone résiduel ----- | 15 |
| 2D10. Comportement vis-à-vis de l'air ou désémulsion ----- | 15 |
| 2D11. Conductibilité thermique ----- | 15 |
| 2D12. Non conductibilité électrique ----- | 15 |
| 2D13. Autres caractéristiques ----- | 15 |
| 2E. Désignation des huiles minérales ----- | 16 |
| 2F. Contrôles ----- | 16 |
| 2F1. Qualitatif ----- | 16 |
| 2F2. Quantitatif ----- | 16 |

| | |
|--|----|
| 3. La symbolique hydraulique ----- | 17 |
| 3A. Autour du réservoir ----- | 17 |
| 3B. Autour du groupe de pompage ----- | 17 |
| 3C. Autour de la distribution----- | 18 |
| 3D. Autour des actionneurs ----- | 18 |
| 4. La technologie ----- | 19 |
| 4A. Le réservoir (voir page suivante)----- | 19 |
| 4B. Le filtre ----- | 19 |
| 4B1. Techniques de filtration ----- | 19 |
| 4B2. Filtre à tamisage----- | 21 |
| 4C. Les canalisations ----- | 21 |
| 4C1. Canalisation rigide----- | 21 |
| 4C2. Canalisation souple ----- | 22 |
| 4C3. Les raccords ----- | 22 |
| 4C4. Dimensionnement----- | 24 |
| 4C5. Abaque de pertes de charge pour tubes rigides de la série millimétrique ----- | 25 |
| 4C6. Détermination de la dimension nominale de passage ----- | 25 |
| 4D. Les accumulateurs ----- | 26 |
| 4E. Le clapet anti-retour----- | 27 |
| 4E1. Standard ----- | 27 |
| 4E2. Piloté----- | 28 |
| 4F. Le limiteur de pression réglable ----- | 28 |
| 4G. Le réducteur de pression ----- | 30 |
| 4H. Le limiteur de débit ----- | 31 |
| 4I. Le régulateur de débit----- | 32 |
| 4J. Le diviseur de débit ----- | 34 |
| 4K. Le distributeur ----- | 34 |
| 4K1. A tiroir ----- | 34 |
| 4K2. A clapet ----- | 34 |
| 4K3. Synthèse sur les distributeurs ----- | 34 |
| 4L. La pompe ----- | 34 |
| 4L1. A engrenage ----- | 34 |
| 4L2. A palettes----- | 35 |
| 4L3. A pistons axiaux----- | 35 |
| 4L4. A pistons radiaux----- | 35 |
| 4L5. Synthèse sur les pompes ----- | 35 |
| 4M. Le vérin ----- | 35 |
| 4N. Les moteurs ----- | 35 |
| 4O. Synthèse sur la technologie des composants ----- | 35 |
| 5. Les solutions technologiques ----- | 35 |
| 5A. Le circuit ouvert----- | 35 |
| 5B. Le circuit fermé----- | 35 |
| 5C. Différentes applications ----- | 35 |
| 6. Les servo – mécanismes ----- | 35 |
| 7. Risques et Prévention en intervention ----- | 36 |
| 7A. Les risques ----- | 36 |
| 7A1. Définition du risque et utilisation des systèmes ----- | 36 |
| 7A2. Le système normatif----- | 36 |
| 7A3. Liste des risques ----- | 37 |
| 7A4. Pour fixer les idées ----- | 38 |

| | |
|---|----|
| 7B. La prévention ----- | 38 |
| 7B1. Principales causes d'accidents ----- | 38 |
| 7B2. Mesures préventives----- | 39 |
| 7C. La maintenance corrective ----- | 39 |
| 7D. L'habilitation ----- | 40 |
| 7D1. Petite mise au point----- | 40 |
| 7D2. La formation----- | 40 |
| 7D3. Les niveaux d'habilitation ----- | 41 |
| 7E. Logigramme de sécurité ----- | 42 |

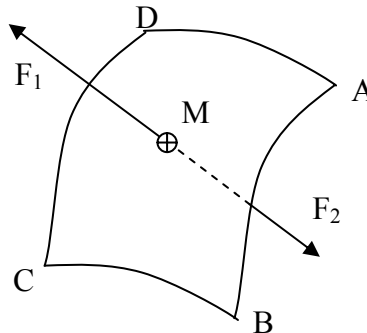
HYDRAULIQUE

1. Principes généraux

1A. Relations entre énergie mécanique et énergie hydraulique

1A1. La pression

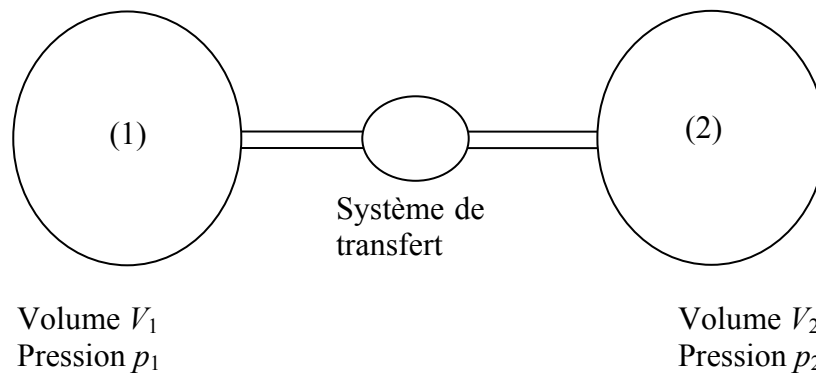
Soit une surface quelconque, ABCD (S) de centre M, le liquide exerce de chaque côté de la surface une force. Les forces sont égales et opposées.



$$F_1 = F_2 = F$$

Si on fait tendre ABCD vers O le rapport $\frac{dF}{dS}$ tend vers une valeur finie p que l'on appelle la pression.

1A2. Théorème du travail



- Pour faire passer un volume V de (1) vers (2) si $p_1 < p_2$ il faut exercer sur le système de transfert un travail mécanique W .

$$W = V \cdot (p_2 - p_1)$$

- Pour faire passer un volume V de (2) vers (1) si $p_1 < p_2$ on récupère sur le système de transfert un travail mécanique (récupérable sur un moteur) W identique au précédent.

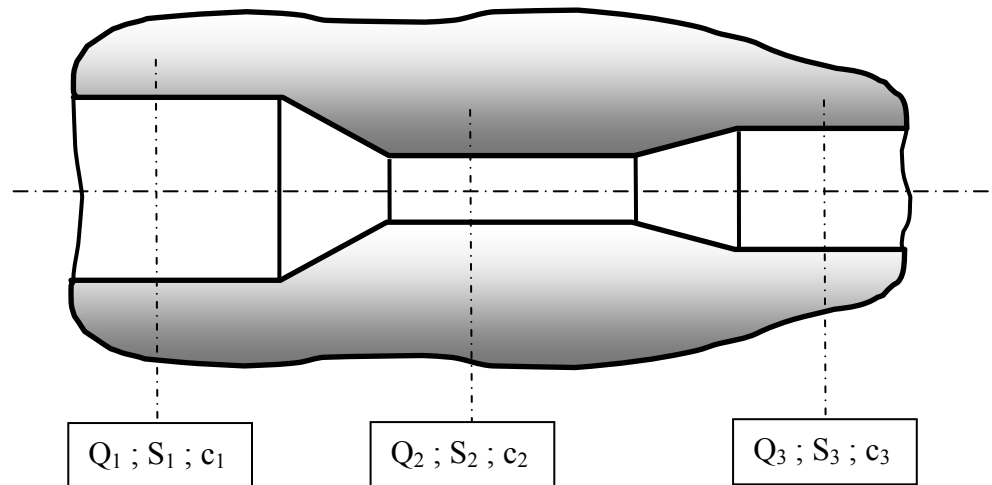
1A3. Théorème des puissances

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V}{t} \cdot (p_2 - p_1) = q_v \cdot (p_2 - p_1) = q_v \cdot p$$

q_v est le débit volumique par seconde et p la pression relative

1A4. Comportement des fluides en mouvement

- Principe



- Equation de continuité

Dans le cas d'un fluide qui s'écoule dans un tube de section variable, le volume ou débit qui passe par une section en un temps déterminé est le même quelle que soit la section considérée.

$$Q_1 = S_1 \cdot c_1 = Q_2 = S_2 \cdot c_2 = Q_3 = S_3 \cdot c_3$$

On obtient alors :

- $c_1 < c_2$ puisque $S_1 > S_2$
- $c_3 < c_2$ puisque $S_3 > S_2$

- Equation de l'énergie selon Bernoulli

L'énergie contenue dans un fluide qui passe dans un tube se décompose en :

- énergie potentielle : elle dépend de la hauteur de la colonne de fluide et de la pression statique ;
- énergie cinématique : elle dépend de la vitesse du fluide et de la pression dynamique.

De la loi de conservation de l'énergie découle l'équation de Bernoulli :

$$p + \rho g z + \frac{1}{2} \rho c^2 = cste$$

1A5. Les unités fondamentales

Par décret du 03/05/61 modifié le 04/12/75 le système légal est le S.I. soit :

- Le mètre (m) → longueur
- Le kilogramme (kg) → masse
- La seconde (s) → temps
- L'ampère (A) → intensité
- Le kelvin (K) → température
- La mole (mol) → matière
- Le candela (cd) → intensité lumineuse

A retenir :

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$$

$$T (\text{K}) = T (^\circ) + 273,18$$

$$1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ ch.} = 736 \text{ W}$$

En hydraulique :L'unité est le bar. 1 bar = 1 daN/cm²

Les unités retenues sont alors :

| | | |
|----------------|---|----------|
| le cm | → | longueur |
| la tonne | → | masse |
| le déca newton | → | force |

En hydraulique aéronautique :

L'unité est le psi (Pound per Square Inch). 1000 psi = 68,944 bar

Pour fixer les idées :

200 bars sont équivalents à 20 000 volts

1A6. Relations importantes

- Travaux ou énergies

 $W = F \cdot \ell$ système en translation

 $W = C \cdot \theta$ système en rotation

 $W = p \cdot V$ système hydraulique

 $W = U \cdot I \cdot t$ système électrique

F : force ℓ : longueur

C : couple θ : angle

p : pression V : volume

U : tension I : intensité

t : temps

- Puissances

 $P = F \cdot c$ système en translation

 $P = C \cdot \omega$ système en rotation

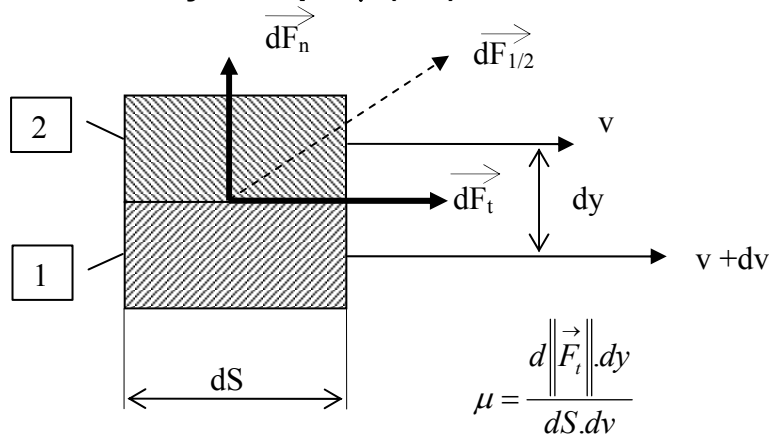
 $P = p \cdot q$ système hydraulique

 $P = U \cdot I$ système électrique

c : vitesse linéaire

ω : vitesse angulaire

q : débit volumique

1B. Viscosité**1B1. Viscosité dynamique μ (Mu)**

L'unité est le Pa.s ou le Poiseuille.

| fluide | Température (°C) | Viscosité dynamique μ (Pa.s) | Masse volumique ρ (kg/m ³) |
|-----------|------------------|---------------------------------------|--|
| Eau | 20 | 10 ⁻³ | 998 |
| Eau | 50 | 0,55.10 ⁻³ | |
| Pétrole | 15 | 1,85.10 ⁻³ | |
| Huile | 20 | 10 ⁻² à 4.10 ⁻² | 880 à 950 |
| Glycérine | 20 | 1,49 | 1260 |

1B2. Viscosité cinématique ν (Nu)

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

ρ est la masse volumique du fluide considéré.

L'unité est le m^2/s ou le St (Stoke). Le plus souvent on utilise le centi-Stoke.

$$1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$$

1B3. Autres viscosités

Il existe d'autres viscosités utilisées mais non conformes au système international.

| | | | | |
|---------------|---|-----------------------|---|-----|
| En Europe | → | le degré Engler | → | °E |
| En Angleterre | → | la seconde de Redwood | → | " R |
| Au USA | → | la seconde de Saybolt | → | " S |

1C. Régimes d'écoulements

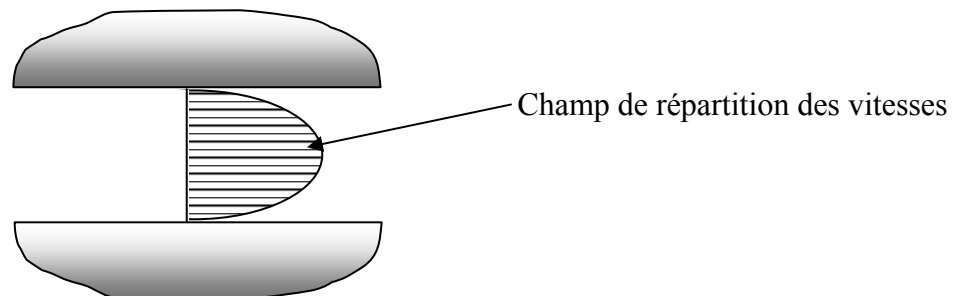
1C1. Nombre de Reynolds R_e

$$R_e = \frac{c \cdot d}{\nu}$$

R_e est sans unité.

ν : viscosité cinématique (m^2/s) ou (St)
 d : diamètre intérieur de la conduite (m)
 c : vitesse d'écoulement (m/s)

1C2. Régime laminaire



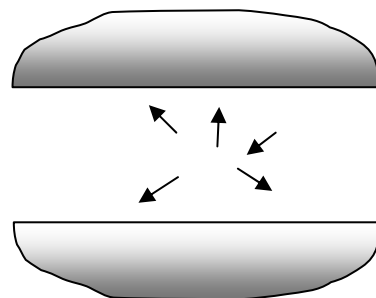
Les filets fluides restent // entre eux. Dans les conduites hydrauliques de sections circulaires et lisses, on obtient un régime laminaire tant que :

$$R_e < 2000$$

A retenir :

Un système en régime laminaire peut devenir turbulent sous l'action des vibrations induites par un moteur ou pompe.

1C3. Régime turbulent



Les filets fluides s'orientent de façon aléatoire. Dans les conduites hydrauliques de sections circulaires et lisses, on obtient un régime turbulent si :

$$R_e > 3000$$

Remarque :

Si $Re > 10^5$, on qualifie l'écoulement de turbulent rugueux et entre 3000 et 10^5 de turbulent lisse.

1C4. Régime transitoire

Entre 2000 et 3000 il existe une plage d'écoulement dont le régime est dit incertain.

1D. Compressibilité et dilatation**1D1. Coefficient de compressibilité**

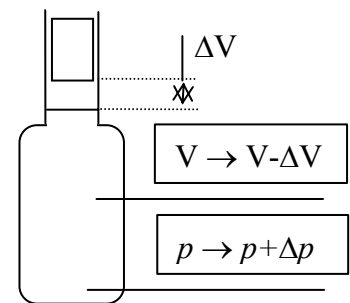
Pour les calculs de puissance et de travail dans le domaine hydrostatique le fluide utilisé est considéré comme incompressible mais cette notion reste essentielle pour le calcul des servomécanismes.

Soit un fluide, sous une pression p dans un récipient de volume V et obturé par un piston mobile.

On fait varier le volume V d'une quantité ΔV négative, alors la pression augmente d'une quantité Δp positive.

Le coefficient de compressibilité est noté β et est défini par :

$$\beta = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dp}$$



A retenir : Pour les huiles minérales on a $\beta \in [6.10^{-11} ; 8.10^{-11}]$ exprimé en Pa^{-1} .

1D2. Coefficient volumique de dilatation thermique

Ce coefficient est défini, à pression constante, par :

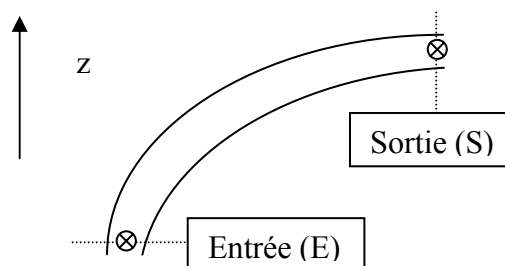
$$\alpha = \frac{\Delta V/V}{\Delta T}$$

V : volume initial
 ΔV : variation de volume
 ΔT : variation de température ($^{\circ}\text{C}$)

A retenir : Pour les huiles minérales on a $\alpha=0,7.10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

1E. Pertes de charge**1E1. Introduction**

Dès qu'il y a une chute de pression Δp entre la sortie et l'entrée d'un système, on dit qu'il y a une perte de charge.



L'équation de Bernoulli s'écrit donc pour une canalisation correspondant au schéma précédent :

$$\frac{(p_S - p_E)}{\rho} + \frac{(c_S^2 - c_E^2)}{2} + g \cdot (z_S - z_E) = J_{SE} \quad \text{avec}$$

p : pression (Pa)
 c : vitesse d'écoulement (m/s)
 ρ : masse volumique (kg/m³)
 z : cote (m)
 g : accélération de la pesanteur (m/s²)

J_{SE} est l'énergie correspondant aux pertes de charge (≤ 0) en J/kg.

Dans le cas d'une conduite hydraulique, la variation de cote (z) est négligeable ainsi que la variation d'énergie cinétique ($c_S^2 - c_E^2$). On obtient alors :

$$\Delta p = (p_E - p_S) = -\rho \cdot J_{SE}$$

Il existe 2 types de pertes de charges :

- Les systématiques ;
 - En régime laminaire ;
 - En régime turbulent lisse ;
 - En régime turbulent rugueux.
- Les singulières.

On retrouve les pertes de charges systématiques dans les canalisations simples et les pertes de charges singulières pour toutes les anomalies dans les circuits (étranglements, coude,...).

1E2. Pertes de charge systématiques en régime laminaire

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot \ell \cdot c^2}{2d}$$

avec $\lambda = \frac{64}{R_e}$ et $R_e = \frac{c \cdot d}{\nu}$

ℓ : longueur de la conduite (m)
 c : vitesse d'écoulement (m/s)
 ρ : masse volumique (kg/m³)
 d : diamètre intérieur de l'écoulement (m)
 ν : viscosité cinématique (m²/s)

A noter : La température influence la viscosité, elle influence donc aussi les pertes de charges.

1E3. Pertes de charge systématiques en régime turbulent lisse

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot \ell \cdot c^2}{2d}$$

avec $\lambda = 0,316 \cdot R_e^{-0,25}$ et $R_e = \frac{c \cdot d}{\nu}$

1E4. Pertes de charge systématiques en régime turbulent rugueux

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot \ell \cdot c^2}{2d}$$

avec $\lambda = 0,79 \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{d}}$

ε : hauteur moyenne des aspérités (mm)

En pratique pour les tubes en acier soudés $\varepsilon \in [0,15 ; 0,25]$

A noter : Pour atteindre le régime turbulent rugueux, il faut des vitesses d'écoulement très rapides donc inutilisées en transmission de puissance hydrostatique.

1E5. Pertes de charge singulières

$$\Delta p = \xi \frac{\rho \cdot c^2}{2}$$

avec ξ (X_i) une constante fonction de la singularité.

| | Configuration | Valeur de la constante ξ | | |
|---|---------------|------------------------------|-------------------|------------------|
| Forme en "T" | | 1,2 | | |
| | | 0,1 | | |
| Forme en "Y" | | 0,5 | | |
| | | 2,5 à 3 | | |
| | | 0,06 ← | 0,15 → | |
| Rétrécissement : sens de l'écoulement → Elargissement : sens de l'écoulement ← | | d/D | $\xi \rightarrow$ | $\xi \leftarrow$ |
| | | 0,1 | 0,4 | 0,81 |
| | | 0,2 | 0,38 | 0,64 |
| | | 0,4 | 0,3 | 0,36 |
| | | 0,6 | 0,18 | 0,16 |
| | | 0,8 | 0,05 | 0,04 |
| | | 0,9 | 0,015 | 0,01 |
| Coude | | | | |
| Rétrécissement | | | | |

2. Le fluide hydraulique

Il existe 3 types de fluide :

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

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

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

2A. Produits aqueux

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

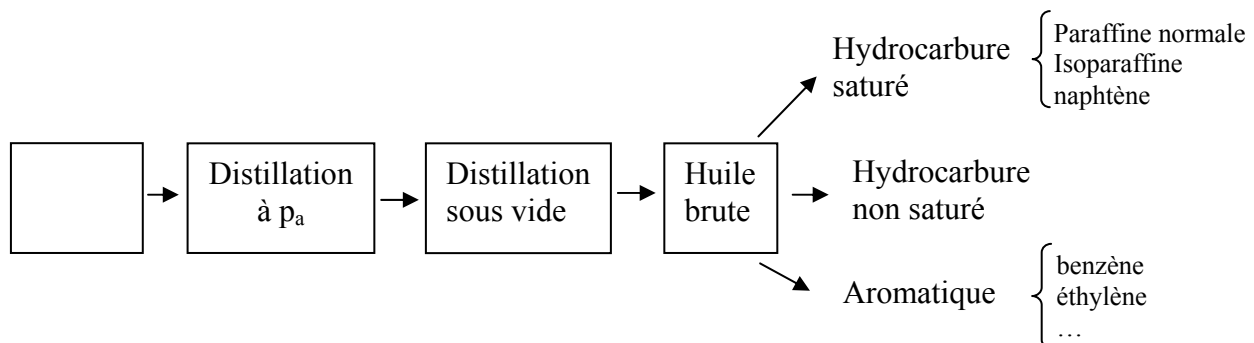
A noter : Le principal problème est l'évaporation de l'eau. Cela change les propriétés initiales du fluide, il faut donc vérifier régulièrement les proportions du mélange et rajouter de l'eau.

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

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

2B. Huiles minérales

L'huile minérale est obtenue par transformation chimique du pétrole.



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

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

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

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

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

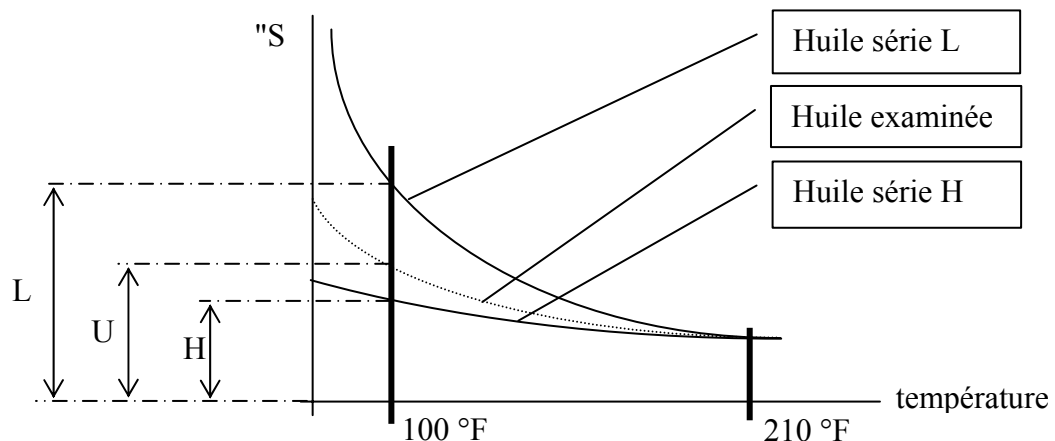
2C. Huiles de synthèse

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

2D. Caractéristiques

2D1. Indice de viscosité V_i

Cet indice est fondamental dans le domaine de l'hydraulique industrielle. Il s'agit en effet d'un indice qui prend en compte la variation de la viscosité en fonction de la température.



L'huile de série L est une huile asphaltique ayant une variation de viscosité importante avec la température et à laquelle on attribue un indice 0.

L'huile de série H est une huile paraffinique ayant une faible variation de viscosité avec la température et à laquelle on attribue un indice 100.

L'indice de viscosité V_i est calculé à la température de 100°F (38 °C) tandis que les deux huiles de référence ont une viscosité à 210 °F (99 °C) identique.

$$V_i = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100$$

A retenir : Pour les fluides hydrauliques, on exige un indice de viscosité proche de 100. Plus l'indice est élevé moins il y a de risque que le fluide subisse un changement de viscosité avec une variation de la température.

A froid on observe souvent des phénomènes de cavitation.

La viscosité double au-delà de 350 bars.

2D2. Point d'aniline

Le point d'aniline est la température correspondant au changement d'aspect d'un mélange d'aniline et d'huile (en parties volumétriques égales) pendant son refroidissement. A haute température, le mélange est limpide et lors de son refroidissement il se trouble, c'est ce changement d'aspect qui donne le point d'aniline.

Hydrauliquement, cette notion est très importante car 2 huiles de caractéristiques voisines (acidité, viscosité, pureté,...) auront des comportements différents envers le caoutchouc, élément largement utilisé dans la fabrication des joints d'étanchéité. Ce point d'aniline permet dans la plupart des cas d'utilisation de caoutchouc synthétique, de déterminer si celui-ci gonflera ou rétrécira. L'objectif est que la variation de volume du joint soit la plus faible possible. En général, plus le point d'aniline est élevé et plus le joint se contracte, devient donc dur et cassant, et inversement plus le point d'aniline est bas (en dessous de 80) et plus le joint gonfle et devient donc mou. Une bonne valeur de PA est aux environs de 100.

A retenir : Attention aux nettoyages aux hautes pressions avec des agents solvants, ils agressent les joints.

2D3. Onctuosité

L'onctuosité est l'aptitude à réduire les frottements entre deux surfaces. Plus la pellicule fluide interposée entre les surfaces est permanente et plus le glissement est facile et plus l'onctuosité est importante.

2D4. Point éclair ou d'inflammabilité

C'est la température à laquelle il faut chauffer le fluide pour que les vapeurs produites s'enflamment au contact d'une flamme ET **s'éteignent aussitôt**.

A retenir : Pour les huiles minérales il est aux environs de 120 °C.

2D5. Point de feu ou point de combustion

C'est la température à laquelle il faut chauffer le fluide pour que les vapeurs produites s'enflamment au contact d'une flamme ET **demeurent allumées au moins 5 secondes**.

2D6. Point d'auto inflammation

C'est la température à laquelle il faut chauffer le fluide pour qu'il s'enflamme spontanément au contact de l'air.

2D7. Points de congélation

Il y a 3 moments :

Point de trouble : C'est la température où apparaît une opacité due à la cristallisation de la paraffine lorsque la température s'abaisse.

Point de figeage ou d'écoulement : C'est la température où l'huile ne peut plus s'écouler.

Pour les huiles minérales il est de -30°C.

Point de fluage : C'est le point inverse du figeage mais en partant d'une huile congelée. Lorsque deux pièces congelées, avec l'huile qui les entoure, redeviennent mobiles par un réchauffement lent on obtient le point de fluage.

2D8. Propriétés anti-corrosives ou indice d'acide

En hydraulique de nombreuses pièces sont en cuivre et en acier. Il est important que le fluide n'agresse pas ces matériaux. En plongeant une lame de cuivre dans le fluide pendant 3 heures à 100°C on apprécie ou non la présence d'acide dans celui-ci si il y a un changement d'aspect de la lame.

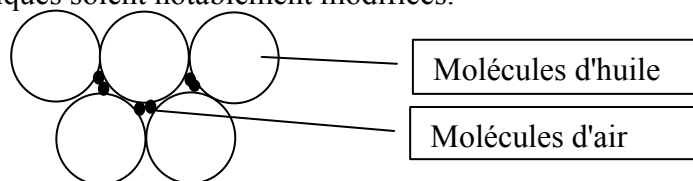
L'indice d'acide est le nombre de milligramme de potasse nécessaire à neutraliser 1 gramme du fluide.

2D9. Carbone résiduel

Après chauffage sous certaines conditions du fluide étudié il ne reste plus que du coke. L'importance et l'aspect de celui-ci renseigne sur l'aptitude du fluide à ne pas trop se déposer sur les parois lors d'utilisation à des températures très élevées.

2D10. Comportement vis-à-vis de l'air ou désémulsion

Tout fluide est capable d'absorber une certaine quantité d'air sans pour autant que ses caractéristiques soient notablement modifiées.



Au delà d'une certaine quantité d'air le fluide est "diminué" car les molécules d'air se juxtaposent. On définit donc un coefficient de solubilité appelé coefficient de Bunsen ou d'Oswald.

La quantité d'air est proportionnelle à la pression. Il est donc très important dans les systèmes hydrauliques d'en tenir compte. Plus la pression est élevée et moins il y a d'air.

A retenir : Pour l'air dans l'huile le coefficient vaut 0,09 soit environ 10 %
Pour l'air dans l'eau le coefficient vaut 0,02

A noter : Pour des températures, du fluide, supérieures à 60°C, chaque tranche de 10°C supplémentaire, double l'oxydation à l'air ; il faut penser alors à le refroidir.

2D11. Conductibilité thermique

Elle caractérise l'aptitude du fluide à évacuer la chaleur produite par les divers frottements mécanique ou hydraulique. Un mauvais refroidissement par conduction du fluide peut obliger l'adjonction d'un échangeur huile air.

2D12. Non conductibilité électrique

Elle caractérise l'aptitude du fluide à ne pas conduire l'électricité en cas de court-circuit. Il est important pour le bon fonctionnement des organes électriques que la continuité électrique ne soit pas remise en cause par une fuite de courant par le fluide hydraulique.

2D13. Autres caractéristiques

Un certain nombre d'autres caractéristiques permet d'améliorer le fluide, il s'agit :

- Du pouvoir détergent :
Caractérise l'aptitude du fluide à nettoyer en permanence les surfaces contaminées dans lequel il circule.
- Du pouvoir de désaération :
Caractérise l'aptitude du fluide à permettre aux bulles d'air de remonter à la surface, au niveau de la bête.
- Du pouvoir anti-usure :
Caractérise l'aptitude du fluide à limiter l'usure des pièces métalliques en mouvement à son contact.
- Du pouvoir anti-mousse :
Caractérise l'aptitude du fluide à s'opposer à la formation de mousse en surface lors des remontées de bulles d'air.

2E. Désignation des huiles minérales

Elle est établie à partir de la norme ISO ASTM. International Standard Organisation American Society for Testing and Materials.

ISO VG 100

100 : viscosité cinématique ν en mm^2/s à 40°C

Il s'agit d'une classe de viscosité, on aura donc une valeur mini et une valeur maxi autour de la valeur nominale. Il existe 7 classes : 15 ; 22 ; 32 ; 46 ; 68 ; 100 et 150.

| Classe | 15 | 22 | 32 | 46 | 68 | 100 | 150 |
|--------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Mini | 13.5 | 19.8 | 28.8 | 41.4 | 61.2 | 90 | 135 |
| Maxi | 16.5 | 24.2 | 35.2 | 50.6 | 74.8 | 110 | 165 |

Viscosité exprimée en mm^2/s

Pour chaque classe il existe 5 catégories HH ; HL ; HM ; HV et HG allant de la plus simple à la plus élaborée.

- HH : huile minérale brute
- HL : HH + pouvoir anti-rouille + pouvoir anti-oxydation
- HM : HL + pouvoir anti-usure
- HV : HM + viscosité élevée
- HG : HM + anti-stick-lip (broutement)

2F. Contrôles

2F1. Qualitatif

| | Effets | Causes |
|----------|-------------------------------|--|
| Visuel | Mousse ; couleur ; particules | Eau, air ; Oxydation par l'air ; métaux |
| Auditif | Bruits anormaux | Air dans le circuit |
| Olfactif | Odeurs anormales | Fluide en décomposition du à θ élevée |

2F2. Quantitatif

Il est effectué sur un échantillon prélevé ($\approx 1 \ell$). C'est le fabricant d'huile qui fournit le flacon et effectue le contrôle, il vérifie :

- La couleur ;
- La viscosité ;

- La teneur en eau ;
- La présence de composées ;
- La présence d'additifs ;
- La présence de sédiments ;
- Le nombre de particules et leur taille ;
- ...

Il existe 14 classes de pollution. On fait passer sur un filtre de $1\mu\text{m}$ 100cm^3 de fluide, on dénombre alors les particules en fonction de leur taille. Norme AFNOR E 48-651 de novembre 1973.

| Taille des particules (μm) | Classe | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----|-----|------|------|------|------|---------------------|-------|-------|-------------------------------|--------|-------------------|---------|
| | 00 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 5-15 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 16000 | 32000 | 64000 | 128000 | 256000 | 521000 | 1024000 |
| 15-25 | 22 | 44 | 89 | 178 | 356 | 712 | 1425 | 2850 | 5700 | 11400 | 22800 | 45600 | 91200 | 182400 |
| 25-50 | 4 | 8 | 16 | 32 | 63 | 126 | 253 | 506 | 1012 | 2025 | 4050 | 8100 | 16200 | 32400 |
| 50-100 | 1 | 2 | 3 | 6 | 11 | 22 | 45 | 90 | 180 | 360 | 720 | 1440 | 2880 | 5760 |
| >100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 |
| | Bon circuit hydraulique | | | | | | | Critique à médiocre | | | Liquide à l'état de réception | | A ne pas utiliser | |

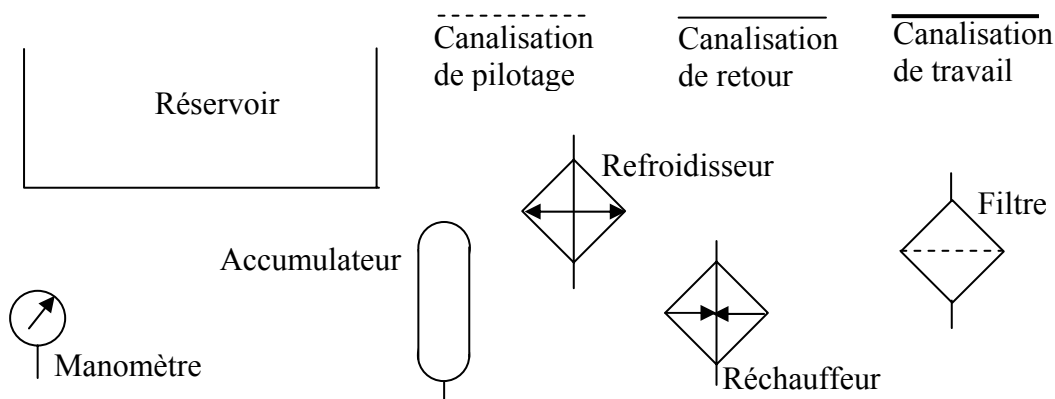
A noter : L'huile se retraite, avec 3 litres d'huile usagée, on en refait 2 litres. Attention toutefois à ce qu'elle ne soit pas chlorée car l'opération est alors impossible. Si elle est trop polluée, elle est incinérée.

3. La symbolique hydraulique

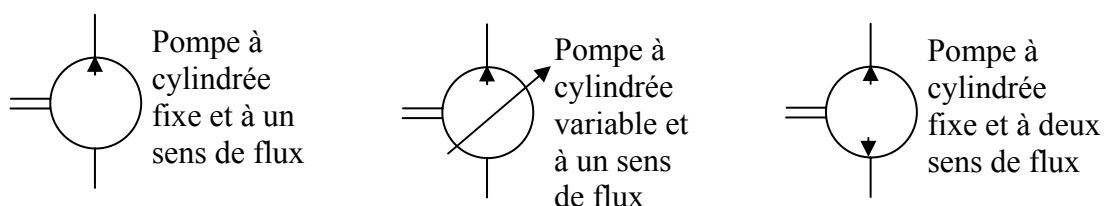
On peut décomposer la constitution d'un système hydraulique en 4 zones.

- Le réservoir ;
- Le groupe de pompage et sa protection : c'est lui qui délivre le débit ;
- Le système de distribution ;
- Les actionneurs : ce sont eux qui demandent la pression en fonction de la charge.

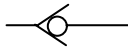
3A. Autour du réservoir



3B. Autour du groupe de pompage



Clapet anti-retour



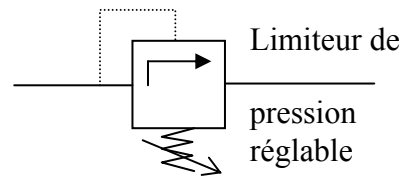
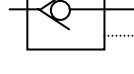
Sans ressort

Clapet anti-retour



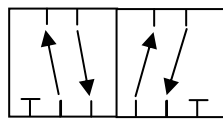
avec ressort

Clapet anti-retour piloté



3C. Autour de la distribution

Distributeur

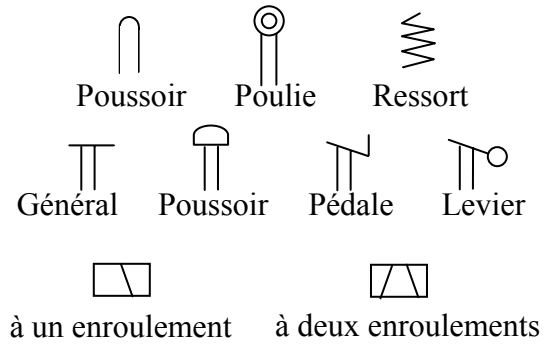


5 voies / 2 positions

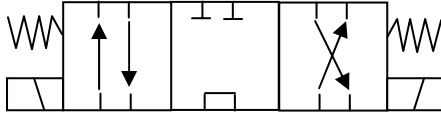
Commande mécanique

Commande manuelle

Commande électrique



Exemple :



Distributeur 4 voies / 3 positions à commandes électrique et position normale au centre

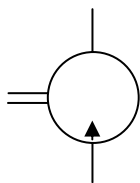


robinet

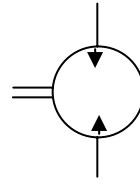


Vanne d'isolement

3D. Autour des actionneurs



Moteur à cylindrée fixe et à un sens de flux



Moteur à cylindrée fixe et à deux sens de flux

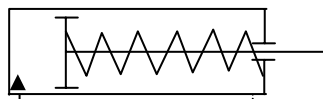


Schéma simplifié d'un vérin simple effet à rappel par ressort

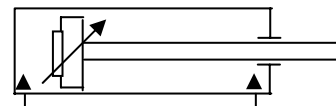
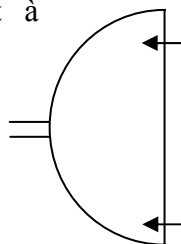


Schéma détaillé d'un vérin double effet avec amortisseur arrière réglable



Vérin rotatif



Réducteur de débit réglable

4. La technologie

4A. Le réservoir (voir page suivante)

Il sert à stocker le fluide, une grande capacité est nécessaire pour assurer le refroidissement et sa désaération. En outre il doit permettre la vidange et la visualisation du niveau.

Sur le couvercle est fixé le groupe moto-pompe avec un manomètre et clapet by-pass.

A retenir :

- La cloison sert de refroidisseur par conduction avec le milieu extérieur. Cette cloison de stabilisation permet aussi de séparer la chambre d'aspiration de la chambre de retour.
- En circuit ouvert la quantité convenable estimée est de 3 fois le volume refoulé par la pompe pendant 1 minute.
- Le filtre à l'admission est en général une crépine de 150 μm .
- La vidange s'effectue généralement toutes les 2000 à 3000 heures ou au moins une fois par an. Au niveau du remplissage un filtre de 10 à 20 μm est installé, le filtre doit en fait avoir un pouvoir supérieur au besoin.
- Les tuyauteries de refoulement et d'aspiration seront coupées en biseau et tournées vers l'extérieur de la paroi.
- Sur l'un des bouchons de vidange, placer un robinet qui permettra d'évacuer l'eau du fond du bac. Pour les systèmes qui fonctionnent souvent, il y a condensation régulière et il faut prévoir une purge toute les semaines.
- Pour respecter les nouvelles directives environnementales, il doit y avoir autour du réservoir un bac de récupération du fluide hydraulique, ce bac doit être capable d'accueillir la quantité de fluide qu'il y a dans le circuit.

4B. Le filtre

Élément indispensable, il retient les particules solides et évite les grippages, les rayures et donc participe à l'augmentation de la MTBF.

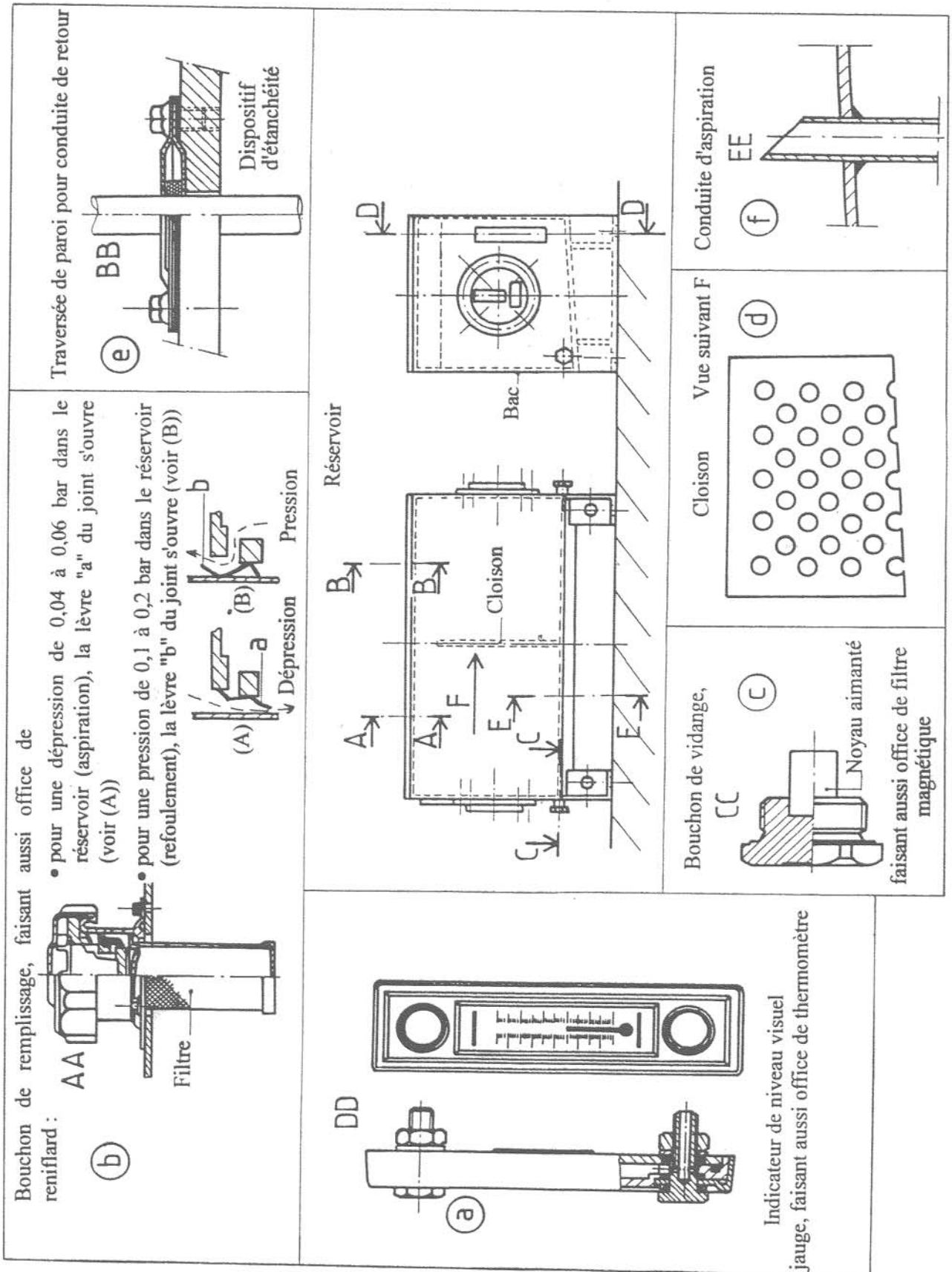
Si les jeux d'un mécanisme hydraulique sont de l'ordre de 5 μm , il est nécessaire de filtrer le fluide avec un tamis de 3 à 4 μm .

4B1. Techniques de filtration

Il existe 3 techniques.

- Par tamisage : le fluide passe dans un filtre (papier, toile, fibres,...)
Inconvénient : occasionne des pertes de charge singulières élevées ;
- Par effet magnétique : les particules magnétiques sont attirées
Inconvénient : ne retient que les particules magnétiques ;
- Par décantation : les particules tombent dans la réserve
Inconvénient : la masse volumique de la particule doit être supérieure à celle du fluide.

LE RESERVOIR



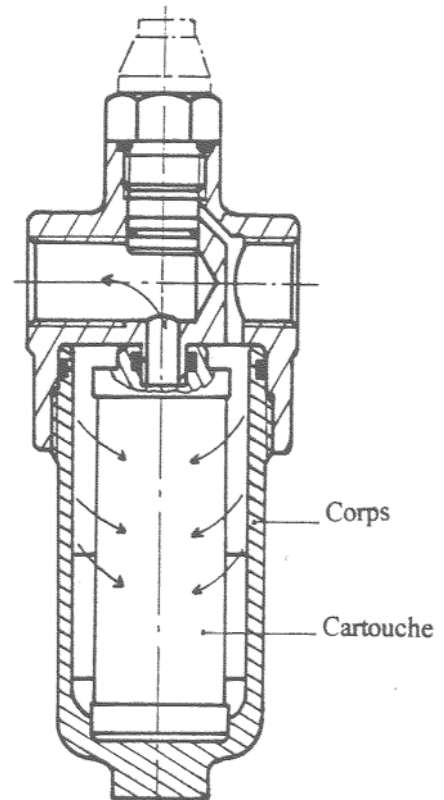
4B2. Filtre à tamisage

C'est le filtre le plus utilisé. On le trouvait au niveau de l'aspiration mais il crée des cavitations et est donc maintenant installé sur la boucle de retour. Il est également installé sur les éléments eux mêmes pour les protéger.

Les toiles métalliques ont un pouvoir de filtration jusqu'à 20 μm . Les toiles de papier imprégné ont elles un pouvoir de rétention des particules jusqu'à 5 μm .

Pour le nettoyage des toiles métalliques on utilise des bains à ultrasons. Les toiles de papier sont jetables.

Pour les systèmes pollués rapidement (systèmes avec beaucoup de vérins), on peut dialyser le système pendant les périodes de repos.



4C. Les canalisations

Elles doivent résister à la pression et aux agressions intérieures et extérieures. Elles ne doivent pas engendrer de grandes pertes de charge. Leur dimensionnement est normalisé.

Il existe deux types de canalisations :

- Les rigides ;
- Les souples.

A retenir : Au niveau des raccordements, le diamètre de passage du fluide est souvent plus petit que le diamètre intérieur de la canalisation. Il faut donc limiter les raccords inutiles qui engendrent de nombreuses pertes de charge.

Les nouvelles directives européennes imposent pour les canalisations flexibles un anti-fouettement et une anti-aspersion. Elle est principalement réalisée par un câble qui empêche le tuyau de fouetter et donc aussi d'asperger.

4C1. Canalisation rigide

Il s'agit le plus souvent de tube sans soudure (étirage à froid) évitant ainsi, lors du cintrage, de faire apparaître des particules.

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

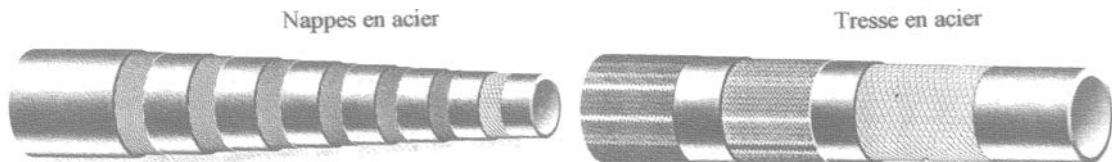
A noter : Les tubes doivent être livrés bouchés aux extrémités et remplis de gaz neutre. S'il n'en est pas ainsi il faut les nettoyer énergiquement avec de la soude pour enlever les particules organiques puis les rincer puis les nettoyer une nouvelle fois au tri chlore pour enlever les graisses.

4C2. Canalisation souple

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

A retenir : Si l'on peut maintenir la main sur une canalisation flexible alors le fluide à l'intérieur est en dessous de 70°C .

A noter : Les pertes de charge dans les canalisations flexibles sont très importantes, il convient donc de limiter leur utilisation aux systèmes ayant des mouvements de translations.



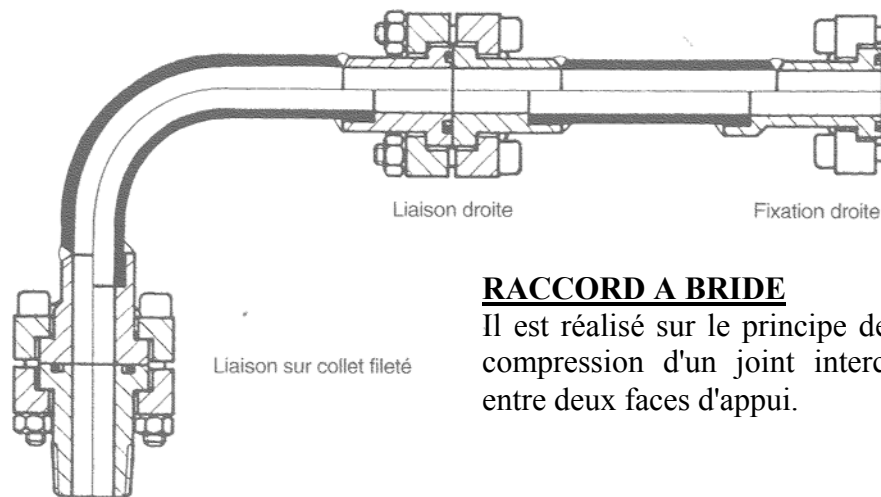
Règles de montage des tuyauteries souples :

| Montage incorrect | Solution | Montage correct |
|--|---|---|
| mauvais | amélioration par adjonction d'un adaptateur | correct |
| mauvais | amélioration par adaptateur mais le tuyau reste trop sous tension | correct |
| mauvais effort de torsion | vue de profil correct | vue de face correct |
| mauvais B. | B. effort de flexion accru avec vibrations | correct A. longueur minimum égale au double du rayon |
| mauvais, effort de torsion et trop court | | correct |
| mauvais | | correct |

4C3. Les raccords

Il s'agit des éléments de jonction entre les conduits ou appareils. Ils sont réalisés selon différentes techniques :

- Raccord à bride ;
- Raccord vissé ;
- Raccord à épanouissement ;
- Raccord à olive ;
- Raccord de flexible ;
- Raccord démontable étanche.

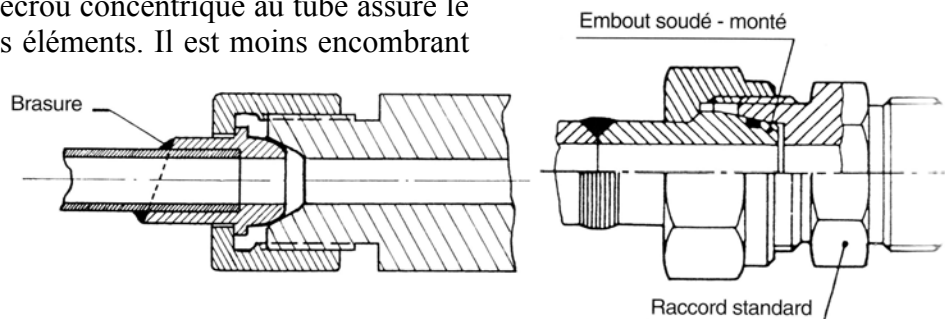


RACCORD A BRIDE

Il est réalisé sur le principe de la compression d'un joint intercalé entre deux faces d'appui.

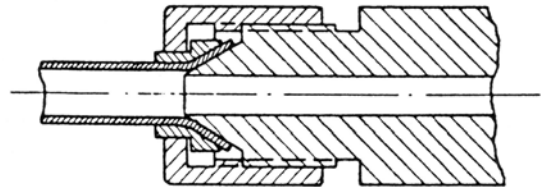
RACCORD VISSE

Une zone sphérique est rapportée à la canalisation par soudage. Un écrou concentrique au tube assure le maintien entre les éléments. Il est moins encombrant que le précédent.



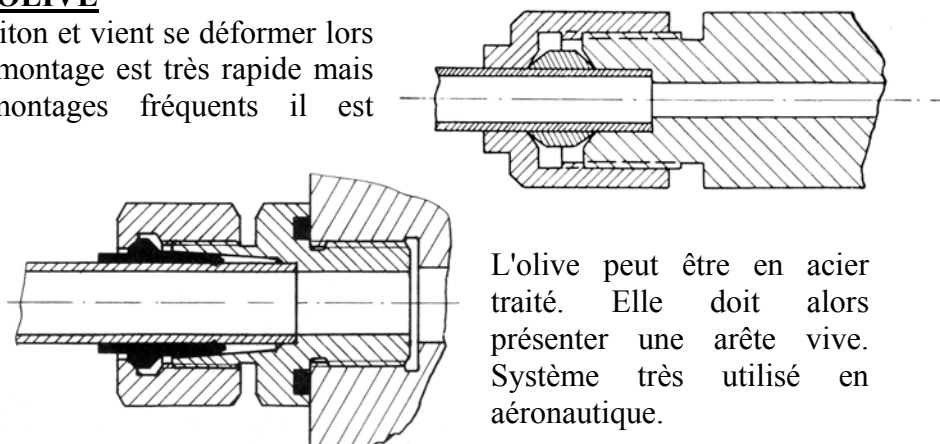
RACCORD A EPANOUISSEMENT

Ce raccord est plus simple que le précédent mais moins résistant aux vibrations et donc moins endurant.



RACCORD A OLIVE

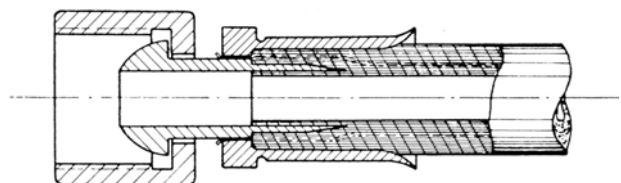
L'olive est en laiton et vient se déformer lors du serrage. Le montage est très rapide mais pour des démontages fréquents il est déconseillé.



L'olive peut être en acier traité. Elle doit alors présenter une arête vive. Système très utilisé en aéronautique.

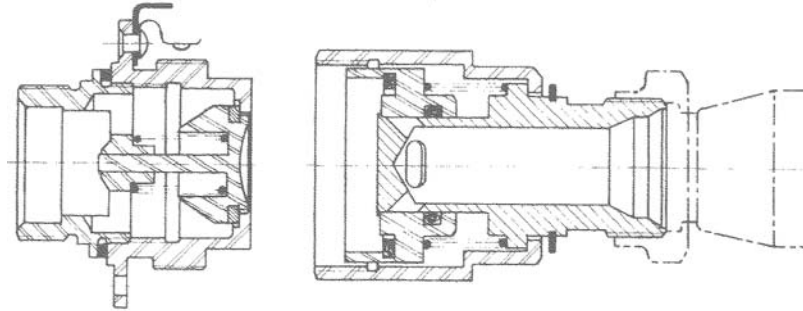
RACCORD DE FLEXIBLE

Ils sont livrés montés par le fabricant et par conséquent non réparables.



RACCORD DEMONTABLE ETANCHE

Ils doivent être exclusivement utilisés pour les essais des équipements hydrauliques. Les deux jonctions s'obturent automatiquement. L'accouplement peut s'effectuer soit par vissage soit par clips à billes.

**4C4. Dimensionnement**

Il faut y faire particulièrement attention. En effet il en existe deux séries, soit en millimètres soit au pas du gaz ; les deux étant bien sûr non compatibles.

A noter : il existe une pression d'épreuve pour les canalisations, elle est 1.5 fois supérieure à la pression de service.

- Série millimétrique pour les tubes rigides :

| Désignation (mm) | D extérieur (mm) | d intérieur (mm) | Epaisseur (mm) | Pression de service (bar) | Pression de rupture (bar) | Masse linéique (kg/m) |
|------------------|------------------|------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 4 x 6 | 6 | 4 | 1 | 508 | 1385 | 0,123 |
| 6 x 8 | 8 | 6 | 1 | 367 | 1000 | 0,173 |
| 8 x 10 | 10 | 8 | 1 | 287 | 783 | 0,222 |
| 10 x 12 | 12 | 10 | 1 | 236 | 643 | 0,271 |
| 12 x 14 | 14 | 12 | 1 | 200 | 545 | 0,321 |
| 14 x 16 | 16 | 14 | 1 | 174 | 474 | 0,370 |
| 15 x 18 | 18 | 15 | 1,5 | 238 | 643 | 0,610 |
| 17 x 20 | 20 | 17 | 1,5 | 211 | 575 | 0,684 |
| 19 x 22 | 22 | 19 | 1,5 | 191 | 519 | 0,758 |
| 19 x 25 | 25 | 19 | 3 | 351 | 956 | 1,630 |
| 22 x 28 | 28 | 22 | 3 | 309 | 867 | 1,850 |
| 24 x 30 | 30 | 24 | 3 | 287 | 783 | 2,000 |
| 30 x 38 | 38 | 30 | 4 | 303 | 828 | 3,354 |
| 40 x 50 | 50 | 40 | 5 | 287 | 873 | 5,548 |

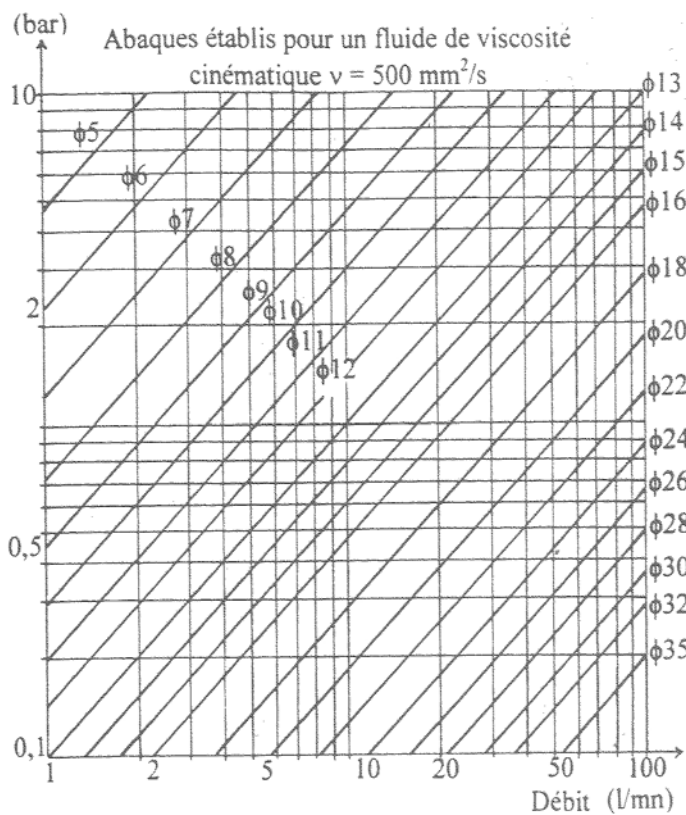
- Série gaz pour les tubes rigides :

| Désignation (pouce) | D extérieur (mm) | d intérieur (mm) | Epaisseur (mm) | Pression de service (bar) | Pression de rupture (bar) | Masse linéique (kg/m) |
|---------------------|------------------|------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| ¼ | 13,25 | 8,75 | 2,25 | 528 | 1440 | 0,610 |
| 3/8 | 16,75 | 12,25 | 2,25 | 397 | 1084 | 0,805 |
| ½ | 21,25 | 15,75 | 2,75 | 382 | 1043 | 1,250 |
| ¾ | 26,75 | 21,25 | 2,75 | 296 | 800 | 1,630 |
| 1 | 33,50 | 27,00 | 3,25 | 278 | 758 | 2,420 |
| 1 ¼ | 42,25 | 33,75 | 3,25 | 216 | 590 | 3,130 |
| 1 ½ | 48,25 | 40,15 | 4,04 | 238 | 648 | 4,404 |

- Série gaz pour les tubes souples à 6 nappes d'acier :

| Désignation (pouce) | D extérieur (mm) | d intérieur (mm) | Pression de service (bar) | Pression de rupture (bar) | Masse linéique (kg/m) |
|---------------------|------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1/2 | 27,5 | ≈ 22 | 200 | 2068 | 1,37 |
| 3/4 | 32,5 | ≈ 29 | 240 | 1379 | 1,70 |
| 1 | 39,7 | ≈ 36 | 300 | 1379 | 2,28 |
| 1 1/4 | 50,6 | ≈ 47 | 419 | 1379 | 3,71 |
| 1 1/2 | 58,1 | ≈ 54 | 508 | 1379 | 4,91 |
| 2 | 73 | ≈ 68 | 635 | 1379 | 7,36 |

4C5. Abaque de pertes de charge pour tubes rigides de la série millimétrique



4C6. Détermination de la dimension nominale de passage

Le diamètre intérieur d_i est fonction du débit et des caractéristiques du fluide hydraulique.

On obtient à partir de l'équation de continuité :

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot c}}$$

c : vitesse d'écoulement (m/s)

q : débit (m^3/s)

d_i : diamètre intérieur de l'écoulement (m)

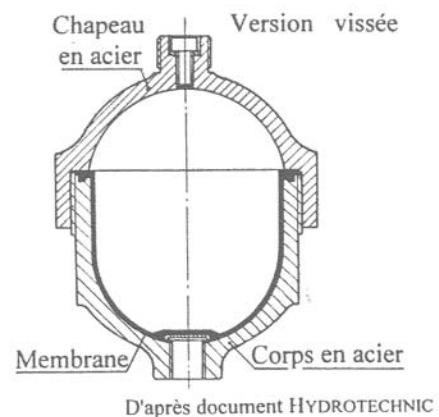
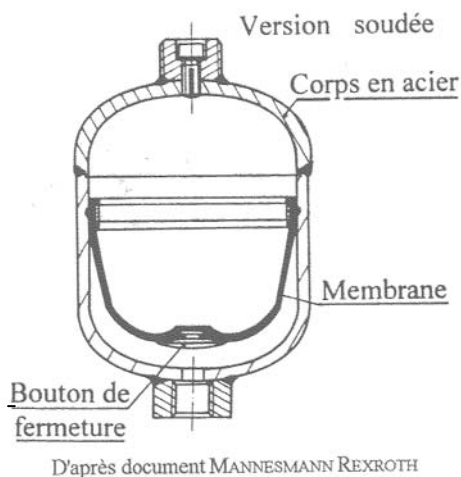
4D. Les accumulateurs

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

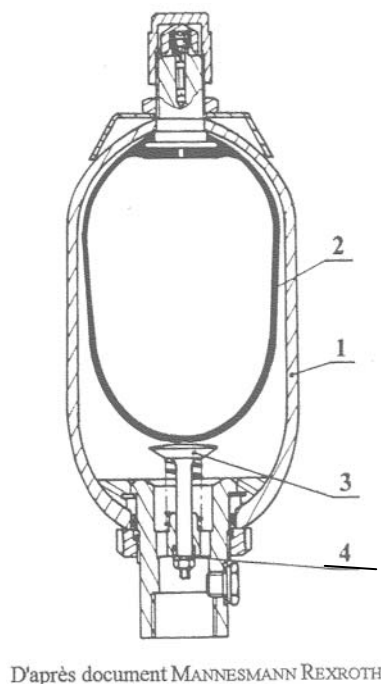
Le principe est simple : une chambre à deux orifices séparés par un élément étanche. L'un des orifices est relié au système et l'autre permet le remplissage avant utilisation d'un gaz générant un contre effort. Le gaz utilisé est l'azote (gaz inerte).

Il en existe 3 principaux types :

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



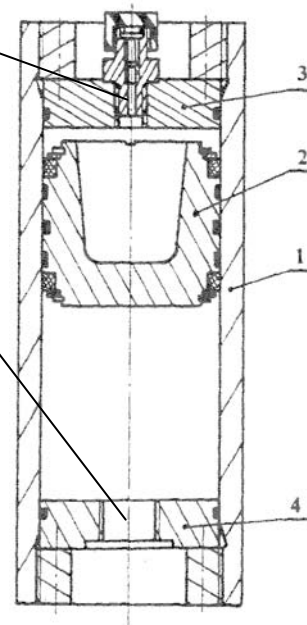
Pour éviter l'extrusion de la membrane



Orifice de remplissage de l'azote

Orifice de la tuyauterie de service

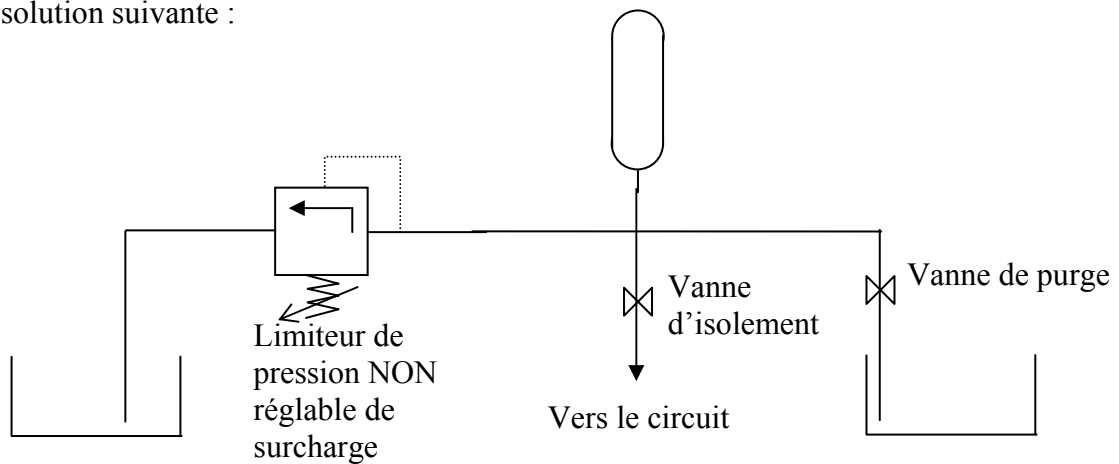
Clapet d'ouverture automatique



A noter : La vérification des accumulateurs est réglementée. Le premier contrôle est à effectuer au bout de 10 ans et ensuite tous les 5 ans.

A retenir : Lors des arrêts des systèmes pour les maintenir, faire attention aux accumulateurs qui conservent la pression sauf si celle-ci est évacuée. Mettre si cela est

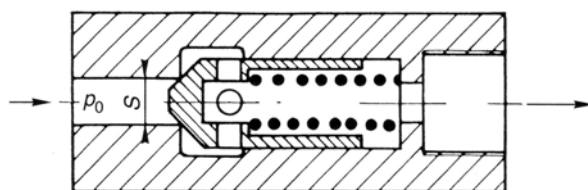
possible le système de protection de l'accumulateur et de l'agent conformément à la solution suivante :



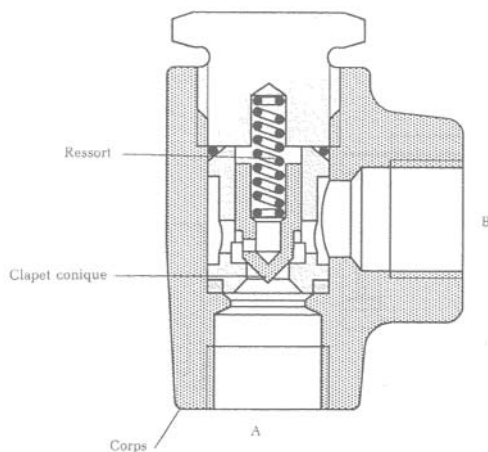
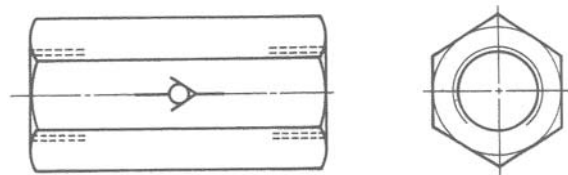
A penser : mettre un clapet anti-retour entre la pompe et l'accumulateur pour protéger celle-ci d'une décharge imprévue. Dans ce cas faire attention à la charge restante dans le circuit.

4E. Le clapet anti-retour

4E1. Standard

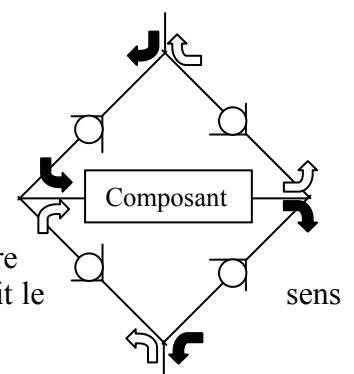


Comme son nom l'indique il permet le passage du fluide dans un sens et l'interdit dans l'autre.

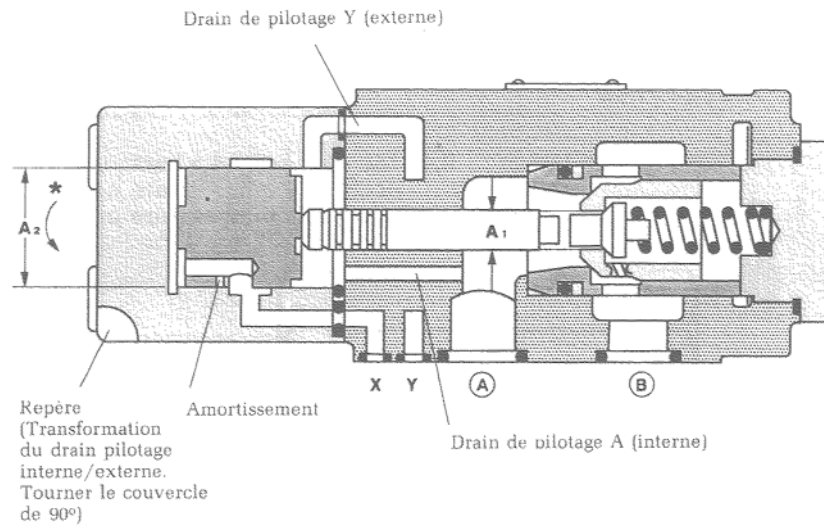


Le fluide passe de A vers B après avoir vaincu la force développée par le ressort sur le clapet conique. Dans le sens inverse le fluide maintient en plus du ressort le clapet conique sur son siège.

L'utilisation en pont de Graetz de 4 CAR peut permettre l'utilisation de composant dans les mêmes conditions quelque soit le de circulation du fluide.



4E2. Piloté



Le principe de base reste le même mais dans certaines utilisations on peut avoir besoin d'annuler le blocage du fluide. Il suffit pour cela d'alimenter hydrauliquement l'orifice X forçant ainsi le clapet conique à s'ouvrir. Pour annuler la commande on alimente l'orifice Y ou on laisse le ressort de rappel agir ; attention toutefois au retard de fermeture dans ce cas.

4F. Le limiteur de pression réglable

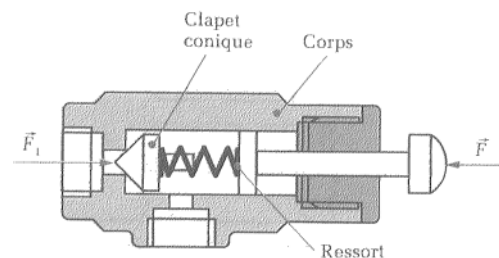
C'est un appareil indispensable dans toute installation hydraulique, il sert à protéger les différents organes d'une élévation de pression importante.

Il est élaboré sur le même principe que le CAR mais le ressort exerce une action fondamentale et la valeur de l'effort est parfaitement déterminée.

Il en existe trois principaux types : à clapet, avec dash-pot et à tiroir.

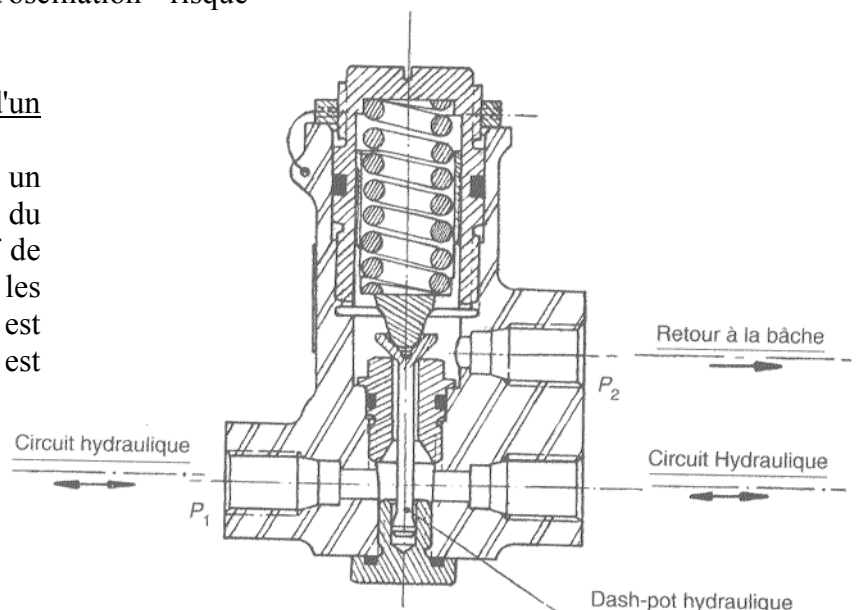
Dans le cas d'utilisation de système à clapet :

La force d'ouverture est modifiée par la valeur de pression régnant dans la canalisation de retour. Plus le débit est important et plus la pression sera importante et moins le limiteur de pression réagira au moment opportun. Par ailleurs, s'il y a également des variations importantes de la pression, un phénomène d'oscillation risque d'apparaître.



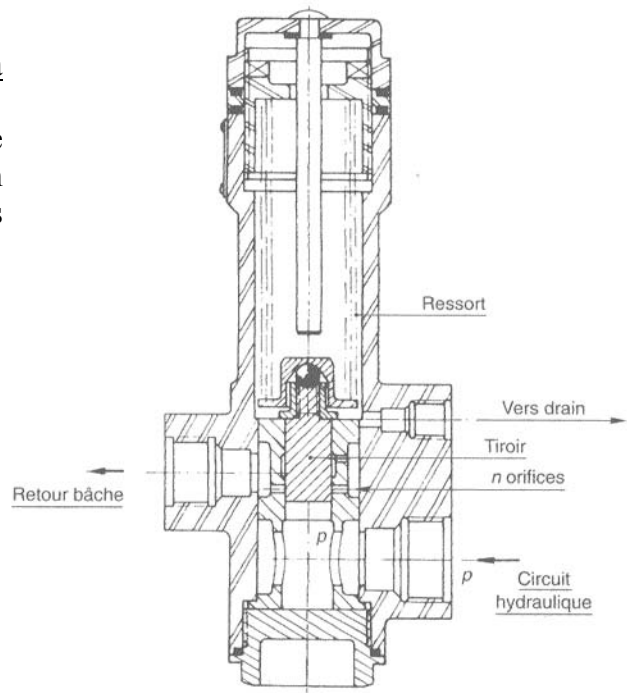
Dans le cas d'utilisation d'un système dash-pot :

Le système dash-pot est un amortisseur attelé sur le clapet du côté de la pression. L'objectif de ce système est d'atténuer les oscillations. Plus le fluide est visqueux et plus le système est efficace.



Dans le cas d'utilisation d'un système à tiroir :

C'est la pression dans la canalisation de drain qui modifie l'ouverture. Il en résulte que ce deuxième limiteur est plus précis que celui à clapet.



A noter : Le limiteur de pression principal doit être plombé, empêchant ainsi le dérèglement.

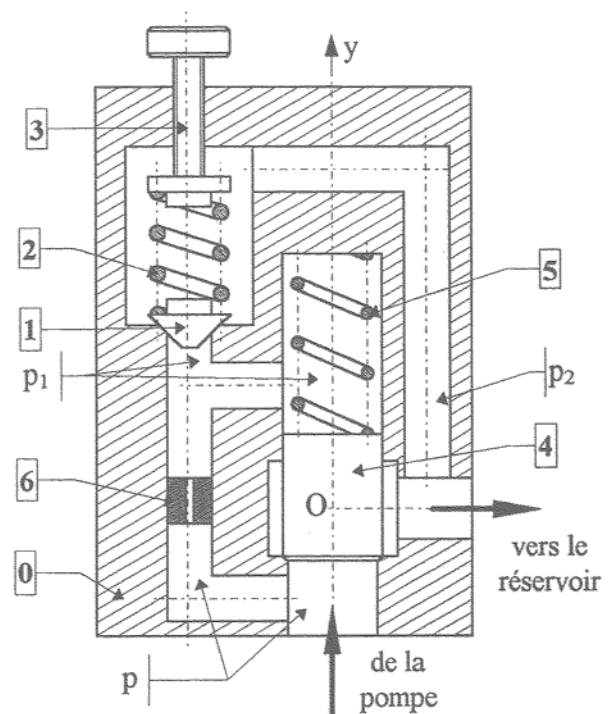
A retenir : Sur les cycles courts, sur les débits importants ou sur les cycles rapides, le limiteur de pression est souvent le point chaud du système ; 20°C de plus que dans le réservoir.

Le limiteur de pression à commande directe a des limites d'utilisation qui se situent aux environs de 200 bars et aux faibles débits. Au delà on utilise des limiteurs de pression à commande indirecte.

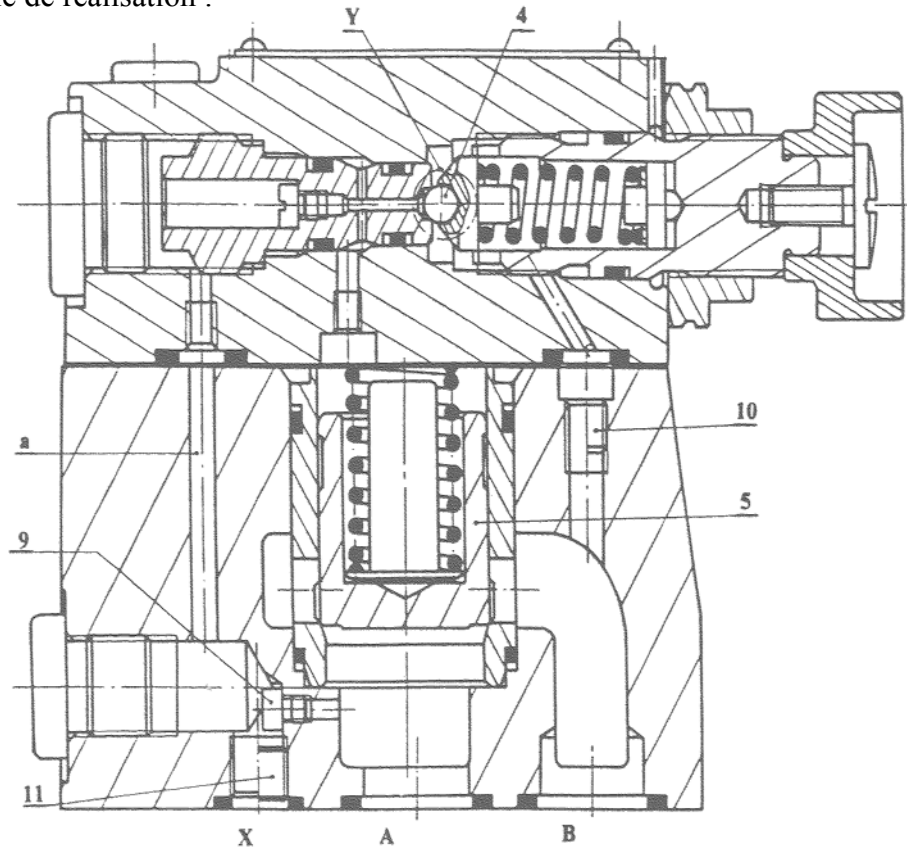
Le clapet (1) existe toujours mais ne reçoit qu'un faible débit dû à l'étranglement (6). Il assure toujours le pilotage mais un tiroir (4) permet l'essentiel du passage du fluide en cas de surpression. Le maintien en position du tiroir (4) est assuré par un ressort de faible raideur (5).

Dès qu'il y a une surpression le clapet s'ouvre créant une forte dépression du côté du ressort (5) permettant au tiroir de se déplacer pour laisser le fluide s'écouler.

Il faut juste faire attention aux temps de commutations qui sont plus longs que pour les limiteurs de pression directs.



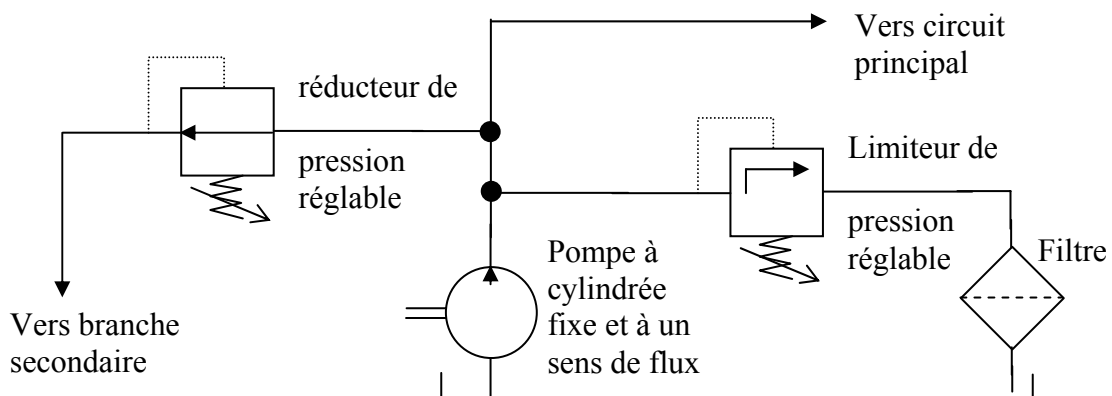
Exemple de réalisation :



Le clapet est réalisé par une bille (4).

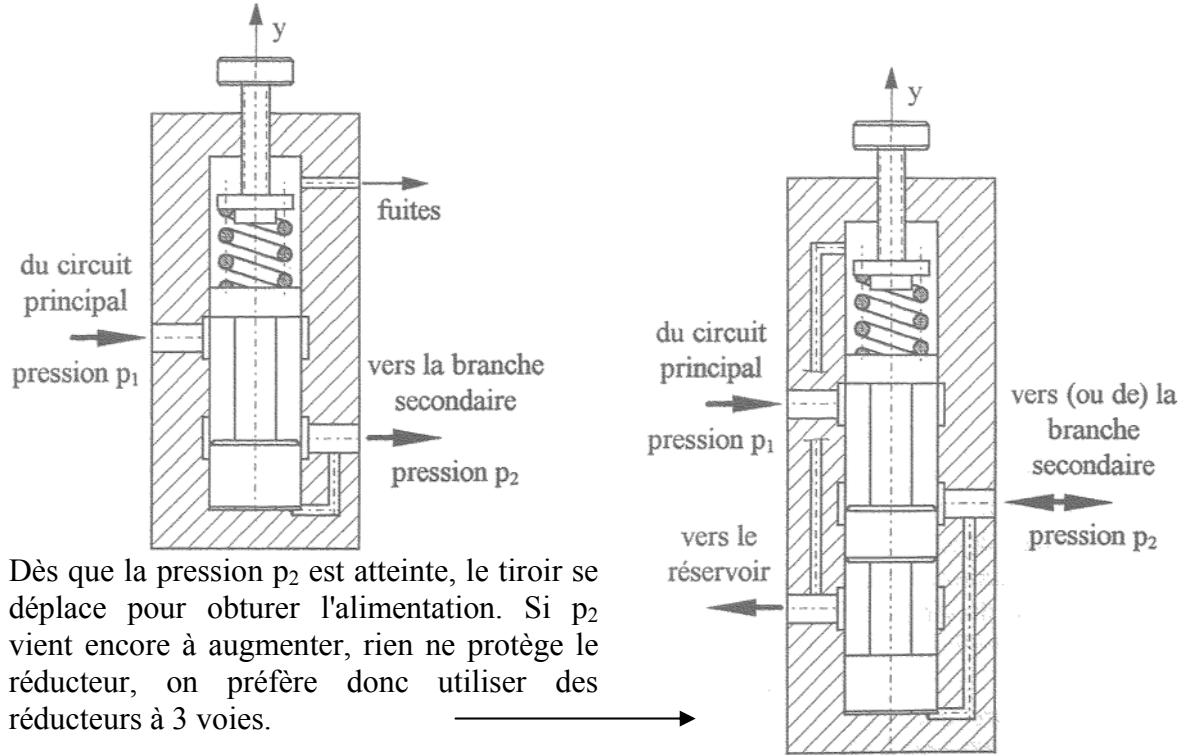
4G. Le réducteur de pression

Le rôle du réducteur de pression est différent, il permet de limiter la pression dans toute une branche d'une installation, cette pression étant bien sûr inférieure à la pression délivrée par la pompe. Le schéma est donc différent.



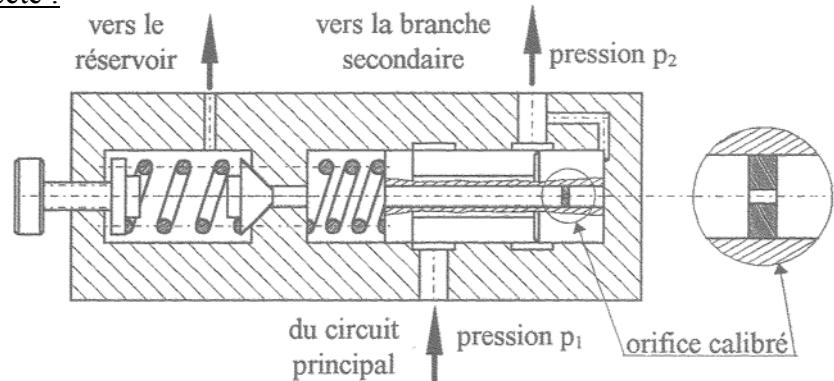
Il peut être à commande directe ou à commande indirecte.

RdP à commande directe :



Dès que la pression p_2 est atteinte, le tiroir se déplace pour obturer l'alimentation. Si p_2 vient encore à augmenter, rien ne protège le réducteur, on préfère donc utiliser des réducteurs à 3 voies.

RdP à commande indirecte :

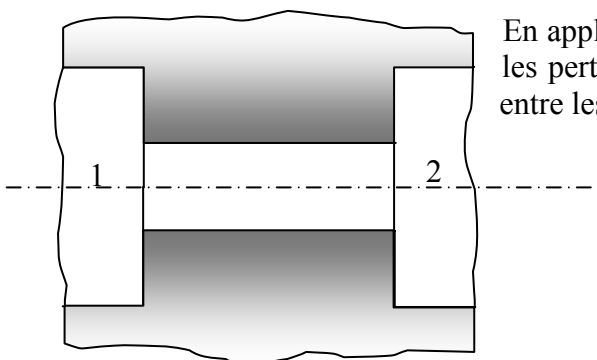


Les commandes indirectes sont utilisées pour les grands débits. L'étage de pilotage est réalisé par un limiteur de pression à action directe.

A noter : Il faut prendre en compte dans les calculs de débit, le débit de fuite dû à la commande de ce réducteur sur le circuit secondaire.

4H. Le limiteur de débit

On vient de voir comment limiter ou réduire la pression il reste maintenant à travailler sur le débit. Le principe est simple. Il suffit d'étrangler la canalisation pour diminuer le débit.



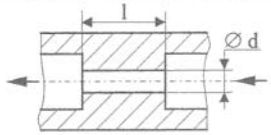
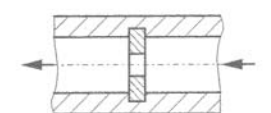
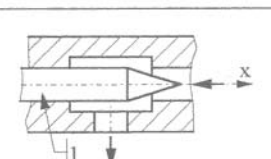
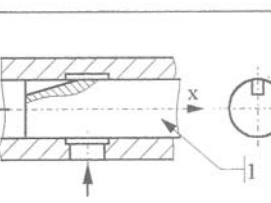
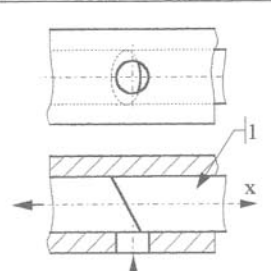
En appliquant Bernoulli entre les points 1 et 2 ainsi que les pertes de charges singulières pour le rétrécissement entre les deux zones, on obtient :

$$q = s \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \xi}}$$

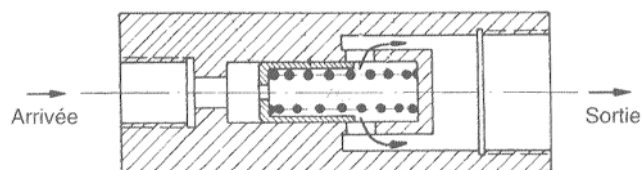
s est la section de la zone étranglée.

On voit que cette fonction n'est pas simple et qu'elle présente un certain nombre d'inconvénients d'utilisation dans les limiteurs de débits.

Néanmoins en regardant de plus près, on voit que l'influence de la section rétrécie est plus importante que les autres valeurs. Si le régime est turbulent, ξ est pratiquement une fonction exclusive de la forme de la restriction (aire de la surface mouillée sur la section de la restriction) ; ξ grandit avec le rapport précédent. Avec toutes ces remarques, on obtient quand même ainsi un limiteur de débit utilisable.

| Désignation | Représentation | Remarques |
|-------------------------|--|---|
| Gicleur |  | Limiteur de débit fixe. La surface mouillée étant importante (étranglement de grande longueur), ce limiteur de débit est relativement sensible aux variations de viscosité. |
| Orifice calibré |  | Limiteur de débit fixe. La surface mouillée est pratiquement nulle, ce limiteur de débit est indépendant de la viscosité. |
| à pointe |  | Limiteur de débit réglable. Le réglage du débit est réalisé par le déplacement en translation selon l'axe \bar{x} du pointeur 1. La surface mouillée est faible et par conséquent la sensibilité à la viscosité aussi. |
| à encoche rectangulaire |  | Limiteur de débit réglable. Le réglage du débit est réalisé par le déplacement en translation selon \bar{x} de l'axe 1. La surface mouillée est relativement faible et, par conséquent, la sensibilité à la viscosité aussi. Convient bien pour les faibles débits |
| à sifflet |  | Limiteur de débit réglable. Le réglage du débit est réalisé par le déplacement en rotation autour de l'axe \bar{x} de l'axe 1. La surface mouillée est grande, cependant l'influence de la viscosité (donc de la température) reste limitée. Ce limiteur est peu adapté aux faibles débits (risque d'"engorgement"). |

Exemple de réalisation :

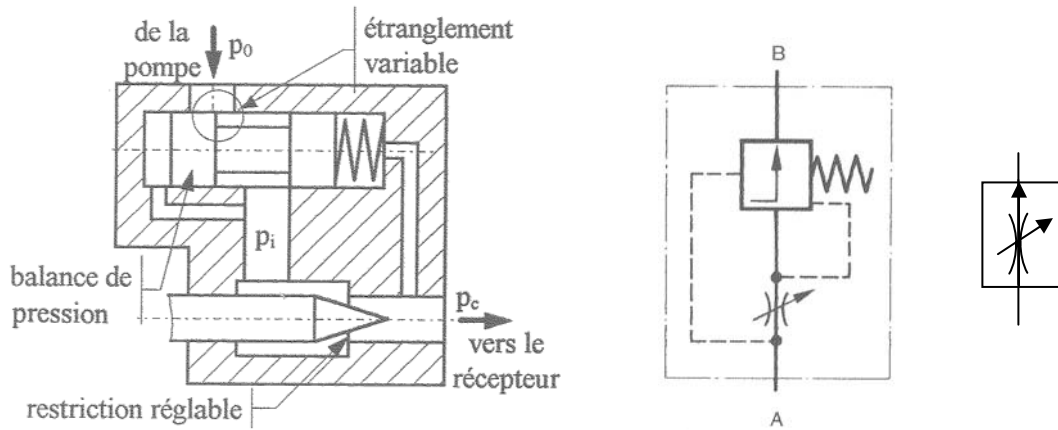


A retenir : Plus la surface mouillée est grande et plus le frottement est important. On aura donc une élévation de la température qu'il conviendra de surveiller et donc une viscosité variable.

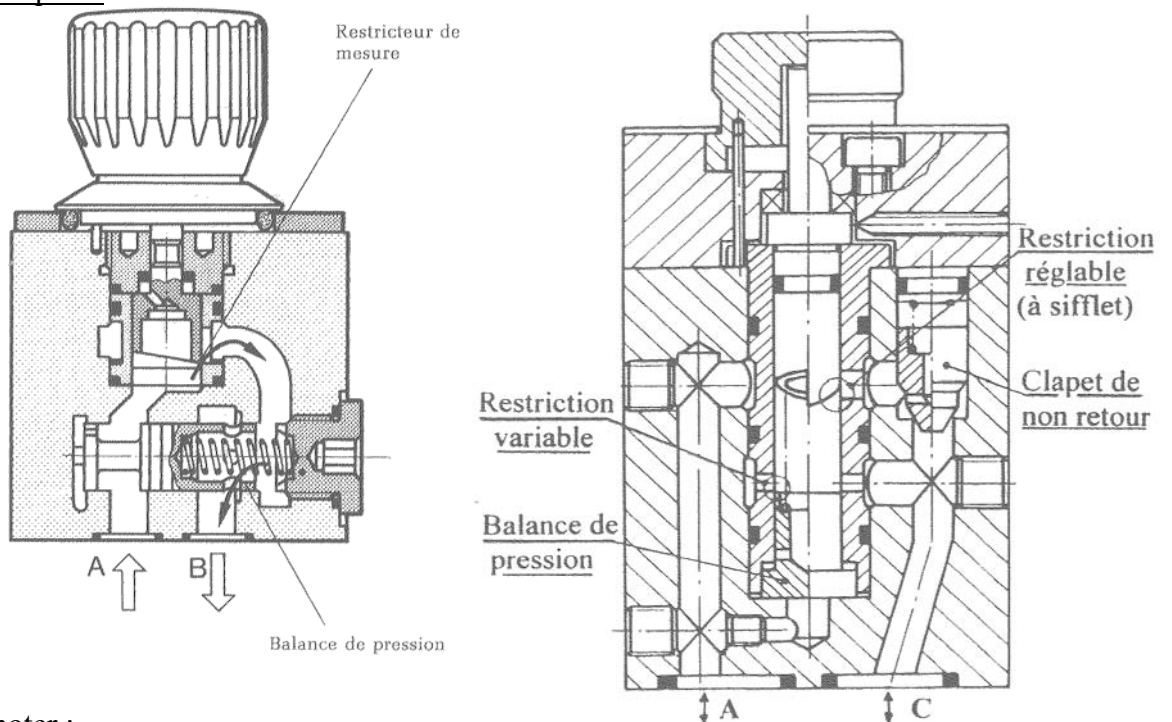
4I. Le régulateur de débit

Pour les cas où la différence de pression doit être maîtrisée, on préfère le régulateur de débit.

La balance de pression est soumise à chaque extrémité à p_c et à p_i . Ces deux pressions sont prises en amont et en aval de la régulation de débit et permettent d'asservir l'étranglement variable pour conserver le débit, quelque soit la variation de pression.



Exemples :

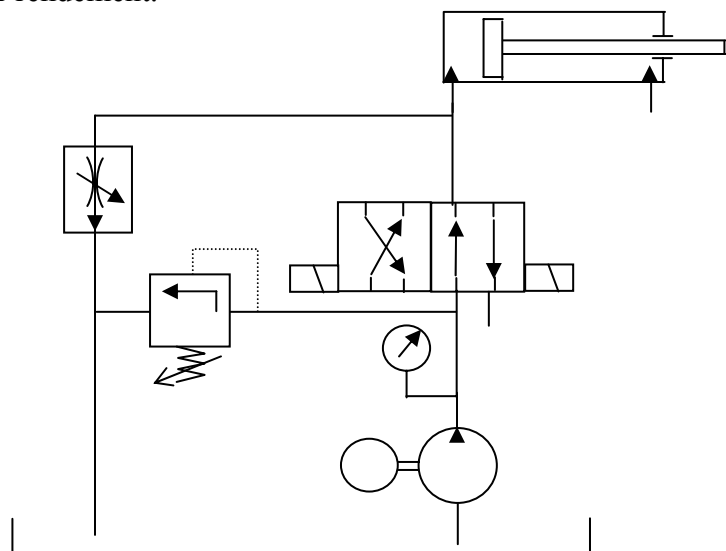


A noter :

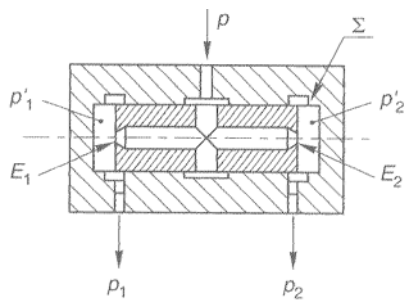
- Les régulateurs de débit sont utilisés selon trois types de montage :
- En alimentation du récepteur : montage traditionnel,
- En retour au réservoir : pour les vérins verticaux,
- En dérivation : pour un meilleur rendement.

Montage en dérivation :

L'intérêt réside dans le fait que le débit excédentaire retourne au réservoir par le régulateur de débit et non par le limiteur de pression.



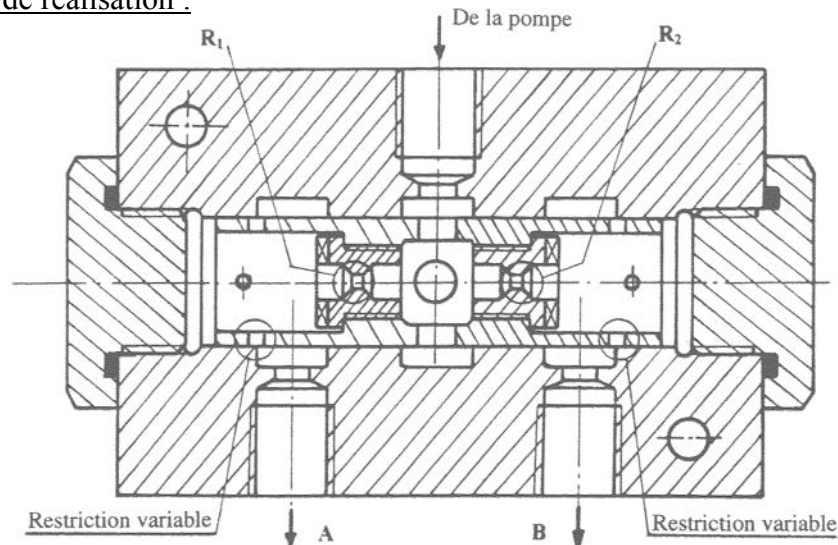
4J. Le diviseur de débit



Son rôle est simple, il doit diviser le débit entrant en deux parties toujours proportionnelles.

Si on souhaite une division en parties inégales il suffit de modifier les caractéristiques de l'un des deux diaphragmes.

Exemple de réalisation :



4K. Le distributeur

4K1. A tiroir

A noter : Les jeux internes entre le piston et la chambre sont de l'ordre de 15mm. Il convient donc lors du montage sur une semelle d'utiliser une clef dynamométrique et de suivre une logique de serrage (celles des culasses) pour ne pas déformer les éléments.

4K2. A clapet

A noter : L'utilisation des distributeurs à clapet est à éviter si le circuit génère des coups de bélier.

4K3. Synthèse sur les distributeurs

A noter : Préférer toujours un distributeur 4/3 avec centre ouvert pour limiter le couple au démarrage et ainsi limiter la casse de l'accouplement moteur électrique / pompe.

4L. La pompe

4L1. A engrenage

C'est la pompe standard, elle fonctionne entre 10 et 200 bars.

4L2. A palettes

Elle est aussi standard, fonctionne sur la même plage de pression mais est souvent à cylindrée variable.

4L3. A pistons axiaux

Pour les utilisations de 200 à 350 bars.

4L4. A pistons radiaux

Au-delà de 350 bars

4L5. Synthèse sur les pompes

A retenir : une pompe qui cavite aura une usure prématurée.

4M. Le vérin

A retenir : Un vérin qui saccade en fin de course est très souvent du à une cavitation.

4N. Les moteurs**4O. Synthèse sur la technologie des composants**

La bonne utilisation des organes hydrauliques doit permettre une durée de vie de 25000 heures pour les systèmes fixes et de la moitié pour les systèmes mobiles. S'il en est autrement, vérifier que les opérations de maintenance sont bien réalisées et surtout mettre en place un plan d'amélioration pour atteindre ces valeurs.

5. Les solutions technologiques**5A. Le circuit ouvert****5B. Le circuit fermé****5C. Différentes applications****6. Les servo – mécanismes**

7. Risques et Prévention en intervention

7A. Les risques

7A1. Définition du risque et utilisation des systèmes

Combinaison de la Probabilité et de la Gravité d'une atteinte à :

- La santé des personnes,
- Des biens,
- De l'environnement,

pouvant survenir dans une situation DANGEREUSE.

Tout opérateur, conducteur ou intervenant, même occasionnel, sur machine DOIT connaître :

- Son principe de fonctionnement,
- Les systèmes qui l'animent,
- Les risques inhérents aux systèmes.

7A2. Le système normatif

Du plus général au plus précis il y a :

- L'ISO (International System Organisation),
- L'EN (European Norme), qui édite des directives européennes ou des normes européennes,
- L'AFNOR (Association Française de NORmalisation), qui édite des décrets d'applications et des normes françaises,
- L'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), qui édite des recommandations.

Un décret est un texte ayant une valeur législative tandis qu'une norme a une valeur consultative.

Une déclaration au Préfet de la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) est impérative pour tous les matériels sous pression, suivant l'article 15&1 de l'arrêté du 15 mars 2000.

En fonction de leur qualité, les personnels doivent connaître certaines normes, la liste n'est pas exhaustive mais relève les indispensables. Elles sont données dans le tableau récapitulatif suivant :

| Référence du texte | Objet | A l'usage des concepteurs | A l'usage des agents de maîtrise | A l'usage des utilisateurs |
|---------------------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| NF X 02-006 Août 94 ⇔ ISO 100 | Le système international d'unités, description et règles d'emploi, choix des multiples et de sous multiples | X | X | |
| NFE 48-120 De Nov. 93 | Transmissions hydrauliques et pneumatiques Définition de la pression | X | | |
| NAS 1638 | Définitions des classes de pollution des fluides en fonction du nombre de particules incluses | X | | |
| NF ISO 1219 /1 et /2 de Mars 92 | Transmissions hydrauliques et pneumatiques symboles graphiques et schémas des circuits | X | X | |
| NF E 48-201 juin 81 ⇔ ISO 4413 | Transmissions hydrauliques – Règles à usage des constructeurs et des utilisateurs | X | | |

| Référence du texte | Objet | A l'usage des concepteurs | A l'usage des agents de maîtrise | A l'usage des utilisateurs |
|------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| EN 082-983 | Sécurité des machines | X | X | X |
| NFE 48-602 Oct. 82 | Lubrifiants et huiles industrielles et produits connexes classe 1 | X | X | |
| EN 1050 | Appréciation du risque | X | X | X |
| NFE 48-350 Sept. 81 | Recommandations pour la mise en service, l'utilisation et l'entretien des pompes, moteurs et variateurs hydrauliques | X | X | X |
| NF X 08-100 Fév. 86 | Repérage des fluides dans les tuyauteries | X | X | X |
| EN 418 | Equipements d'arrêt d'urgence | X | X | X |

Liste des décrets applicables :

- **Décrets 92-766 et 92-767 du 29 juillet 1992 relatifs à la directive 89/392 (conception des machines)**
Certification de conformité des équipements de travail et moyens de protection.
- **Décret 93-40 du 11 janvier 1993 relatif à la directive 89/655 (utilisation des équipements de travail)**
Prescriptions techniques applicables pour l'utilisation des équipements de travail.
- **Décret 93-41 du 11 janvier 1993 relatif à la directive 89/655 (utilisation des équipements de travail)**
 1. Règles générales (équipements de travail et moyens de protection)
 2. Mesures d'organisation, conditions de mise en œuvre (équipements de travail)
 3. Conditions d'utilisation (équipements de protection individuelle)
- **Décret du 15 mars 2000**
Responsabilité des propriétaires d'accumulateurs et d'appareils de gaz.

7A3. Liste des risques

Ils sont répertoriés et font références aux normes européennes EN 292-1 ; EN 292-2 ; EN 474-1 ; EN 982 et EN 983 ou directives européennes 89/392 et 89/655.

| Réf. | Liste des risques | Normes et articles en relations avec l'hydraulique |
|------|--|--|
| 1 | Risques mécaniques causés par la machine et ses éléments | EN 292-1 art. 4.2.1, art. 4.2.2 et art.4.2.3 EN 292-2 art. 1.3, art.1.4 et art.1.3.7 EN 982 et 983 |
| 2 | Risques électriques | 89/392/CEE art. 3.5.1 EN 474-1 art. 4.13 |
| 3 | Risques thermiques | EN 292-1 art. 4.4 |
| 4 | Risques engendrés par le bruit | EN 292-1 art. 4.5 EN 292-2 art.3.6.3 |
| 5 | Risques engendrés par les vibrations pouvant provoquer des troubles neurologiques ou vasculaires | EN 292-1 art. 4.6 EN 292-2 art.3.6.3 |
| 6 | Risques engendrés par les matériaux et produits traités, utilisés ou rejetés par la machine | EN 292-1 art. 4.8 EN 292-2 art.3.3b) EN 982 et 983 |

| | | |
|----|--|---|
| 7 | Risques engendrés par le non respect des principes ergonomiques lors de la conception de la machine (machine non adaptée aux caractéristiques et aptitudes humaines) | EN 292-1 art. 5.5, art. 5.2.2, art. 3.16 EN 292-2 art.4.9, art. 3, art. 3.7 |
| 8 | Combinaison de risques | EN 292-1 art. 4.10 |
| 9 | Risques engendrés par la défaillance de la source d'énergie, panne de la machine et autres dysfonctionnements | EN 292-1 art. 5.3, art. 3.16 EN 292-2 art.3, art. 3.8.4, art. 3.7 |
| 10 | Risques causés par une absence (temporaire) et/ou une mise en place incorrecte de moyens de protection | EN 292-1 art.3.22, art.3.23, art.3.3 art.4.10 EN 292-2 art.4.2, art. 5.2 à 5.5, art. 6.2 |

7A4. Pour fixer les idées

On classe les systèmes en 4 grands domaines :

| | Classes de pression (en bars) | Domaines d'utilisation |
|----------------------------|----------------------------------|---|
| BASSE PRESSION | $30 < p < 100$ | Installations fixes : machines outils |
| MOYENNE PRESSION | $100 < p < 300$ | Installations fixes : presses de métallurgie ou de plasturgie |
| | | Installations mobiles : équipements de travail |
| HAUTE PRESSION | $300 < p < 500$ | Installations fixes : fonderie |
| | | Installations mobiles : transmission |
| TRES HAUTE PRESSION | $500 < p$ | Installations fixes : laminoirs, forge, bancs d'essais. <i>Découpe au jet d'eau : 3000 bars</i> |

Le circuit d'eau du robinet est à 2,5 bars en moyenne.

200 bars sont équivalents à 20 000 volts.

Une femme sur ses 2 talons aiguilles exerce sur le sol une pression de 90 bars.

7B. La prévention

7B1. Principales causes d'accidents



7B2. Mesures préventives

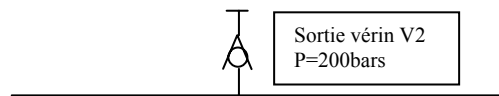
Actuellement aucun texte spécifique n'existe. Seul une fiche pratique éditée par l'INRS existe. Il s'agit de l'ED 018. Aujourd'hui elle est en pleine révision et l'ensemble des textes européens devrait y être ajouté.

Deux types de personnes sont essentiellement à prévenir :

Le candide qui ne voit pas le risque et devient dangereux par son ignorance,

Le spécialiste qui connaît parfaitement la technique et croit maîtriser son sujet.

A penser : Mettre des prises de pression dès que cela est nécessaire. Deux solutions sont envisageables. Soient les prises de pression étanches et rapides, soient les manomètres à pousser. Mettre une étiquette sur la fonction et la pression normale au niveau de la prise.

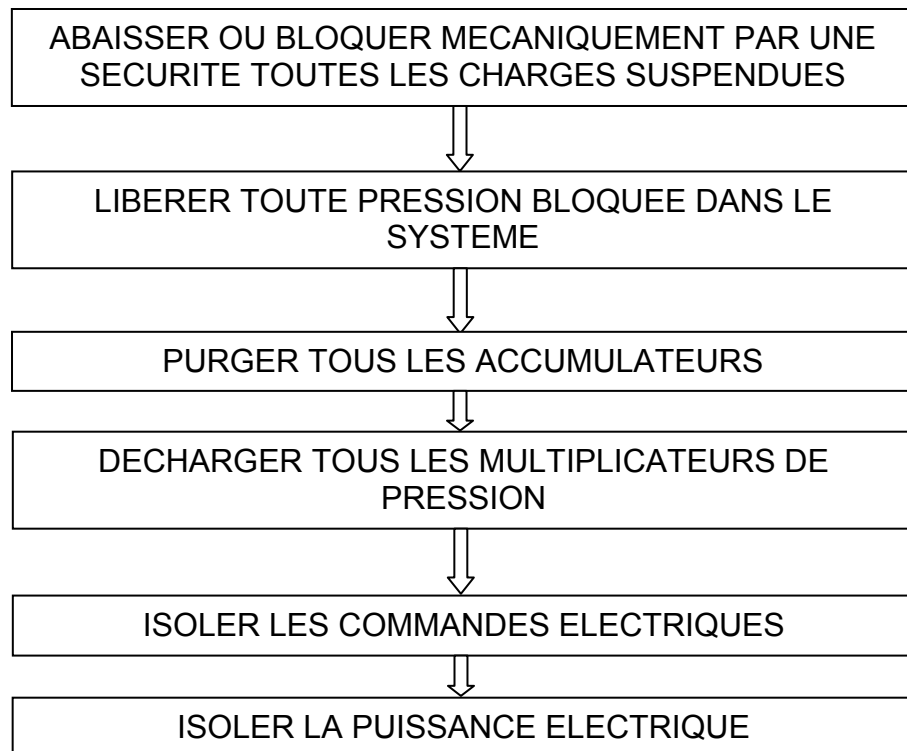


7C. La maintenance corrective

Ci après une liste non exhaustive des actions de maintenance corrective qui peuvent engendrer des risques et donc auxquels il faut prêter plus attention :

- **Intervention.** => Toujours avoir le schéma et repérer l'identification des composants ;
- **Démontage des liaisons.** => Faire chuter la pression interne et penser par exemple à manipuler les distributeurs plusieurs fois à la main si nécessaire pour faire chuter la pression résiduelle ;
- **Désolidarisation d'un récepteur.** => Vérifier que la charge n'est pas en prise et si oui qu'elle n'est pas menante, sinon penser à caler les charges ;
- **Dépose d'un composant sur un circuit équipé d'un accumulateur.** => Penser à purger l'accumulateur ;
- **Dépose d'un récepteur équipé d'un clapet anti-retour.** => Bien vérifier que la partie restante n'est pas encore sous pression ;
- **Branchement des manomètres.** => Eviter les bouchons et choisir la solution du paragraphe précédent ;
- **Vérification ou réglage des fonctions.** => Bien prendre en compte les déplacements, vitesses et efforts ;
- **Vérification des moteurs hydrauliques.** => Faire attention aux survitesses ;
- **Démontage des canalisations.** => Attention à la pression et à la chaleur du fluide. Faire attention également aux canalisations non ou mal repérées ;
- **Intervention à distance.** => Bien consigner la centrale pour limiter les mouvements non contrôlés ;
- **Remontage et vérification.** => Attention aux erreurs de branchements des bobines, choisir par exemple deux couleurs pour les connecteurs sur un même distributeur ;
- **Evacuation du fluide.** => Bien collecter sans polluer l'environnement ;
- **Drainage.** => Bien penser à collecter les drains pour éviter la pollution.

On peut donc synthétiser ces recommandations dans la procédure d'arrêt des machines suivante :



7D. L'habilitation

7D1. Petite mise au point

Aujourd'hui l'habilitation hydraulique n'est pas réglementaire et donc non obligatoire. Cette recommandation UNITOP (Union Nationale des Industries de Transmissions Oléo-hydrauliques et Pneumatiques) précise les prescriptions générales pour prévenir et assurer la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement contre les phénomènes dangereux potentiels des composants et systèmes utilisés dans les transmissions d'énergies hydrauliques lors d'intervention, de travaux sur (ou à proximité) des systèmes oléo-hydrauliques en fonctionnement ou consignés, quelque soit la pression.

Elle est donc nécessaire pour :

- Accéder sans surveillance aux locaux réservés aux hydrauliciens,
- Exécuter des travaux, des interventions d'ordre hydraulique,
- Diriger des travaux ou interventions d'ordre hydraulique,
- Procéder à des consignations d'ordre hydraulique,
- Effectuer des mises au point, mesurage ou vérification d'ordre hydraulique,
- Assurer la fonction de surveillant de sécurité hydraulique.

7D2. La formation

Les personnes intervenant sur des machines équipées de systèmes hydrauliques ne peuvent être habilitées que par l'employeur qui doit s'assurer que celles-ci connaissent les précautions à prendre. Pour être habilité, le personnel doit avoir reçu une formation correspondante au niveau d'habilitation requis. Cette formation le rend habilitable.

Le contenu de la formation doit porter principalement sur :

- L'analyse des risques (EN 1050),
- Les phénomènes dangereux en hydraulique,
- Les règles de sécurité à appliquer pour se prémunir contre ces phénomènes dangereux,
- La conduite à tenir en cas d'accident,
- Les mesures de prévention à prendre.

7D3. Les niveaux d'habilitation

Ils correspondent aux niveaux de la maintenance selon la norme NFX 60-010 de décembre 94 et sont indépendants de la notion de pression. Un niveau supplémentaire est toutefois attribué « Niveau 0 » et concerne les actions de nature non hydraulique au voisinage des composants ou des systèmes.

| | Classe hydraulique |
|--|--------------------|
| Metteur au point | HY5 |
| Responsable de consignation / déconsignation | HY4 |
| Responsable d'intervention ou de travaux avec 2 personnes ou plus | HY3 |
| Responsable d'intervention ou de travaux seul ou avec 1 seule personne | HY2 |
| Exécutant | HY1 |
| Non hydraulicien / pneumaticien | HY0 |

| Niveaux Maintenance | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---------------------|---|---|---|--|--|---|
| Habilitation | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Intervenants | Opérateurs Conducteurs Professionnels non hydrauliciens | Opérateurs Régleurs Agents de maintenance | Agents de maintenance Régleurs | Agents de maintenance Techniciens qualifiés Chargés de travaux | Chargés de consignation et de déconsignation Techniciens Equipes spécialisées | Constructeur Société spécialisée |
| Actions | Travaux d'ordre non hydraulique | Travaux sur système hydraulique consigné | Travaux sur système hydraulique en fonctionnement | Dépannage Réparation | Travaux importants de maintenance préventive ou corrective Consignation Déconsignation | Rénovation Reconstruction Mise au point Amélioration |
| Documents | Fiches de maintenance de conduite | Gammes Procédures simples | Procédures détaillées Instructions | Procédures détaillées | Instructions particulières Procédures spéciales | Documentation spécifique |
| Exemples | Interventions : Mécanique, électrique ou pneumatique | Remplacement de filtres, reniflards Remplissage des réservoirs | Echange de canalisation et joint Réglage pression débit Contrôles Applications des mesures de sécurité | Réparation par échange de sous ensembles et de composants Consignations | Remplacements de composants Vérification des appareils de mesure | Modifications des schémas Vérification Essais |

7E. Logigramme de sécurité

