

## **INTRODUCTION À L'HYDRAULIQUE**

*Sources : S.Bellalah (Iset Nabeul), M.Chouchene (Iset siliana), T.Cortier (ENSIL)*

*Synthèse: H.Hamdi (UFMC1)*

### ***Plan***

<b>1- Description d'un circuit hydraulique</b>	<b>P2</b>
1.1 Structure générale	
1.2 Composition d'un circuit hydraulique	p2
<b>2- La centrale hydraulique</b>	<b>P4</b>
2.1 Définition d'une Centrale hydraulique	
2-2 Le réservoir	p5
2-3 La pompe (rôle, symboles, caractéristiques)	
<b>3- La pompe hydraulique</b>	<b>P6</b>
3.1 Paramètres	
3.2 Classification et choix de la technologie	p9
3.3 Pompe centrifuge	
3.4 Pompe volumétrique	p11
<b>4- Les organes de liaison</b>	<b>P13</b>
4-1 Organes de commande (les distributeurs)	
4-2 Organes de protection et de régulation	p15
4.3 L'accumulateur	p20

**Annexe 1 : Démonstration pompe générateur de débit P22**

**Annexe 2 :Symboles de représentation (norme NF ISO 1219-1)**

## 1- Description d'un circuit hydraulique

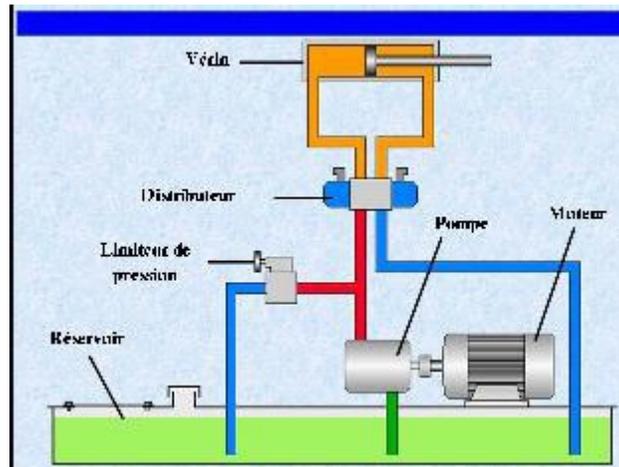


Figure 1.1 : Installation hydraulique

### 1.1 Structure générale

Un circuit hydraulique industriel est constitué de 3 zones :

- **1ère zone** : Source d'énergie : c'est un générateur de débit (centrale hydraulique) ;
- **2ème zone** : Récepteur hydraulique : transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique (vérin, moteur hydraulique) ;
- **3ème zone** : liaison entre les deux zones précédentes.

On peut trouver dans cette zone :

- des éléments de distribution (distributeur),
- des éléments de liaison (tuyaux),
- des accessoires (appareils de mesure, de protection, de stockage d'énergie et de régulation).

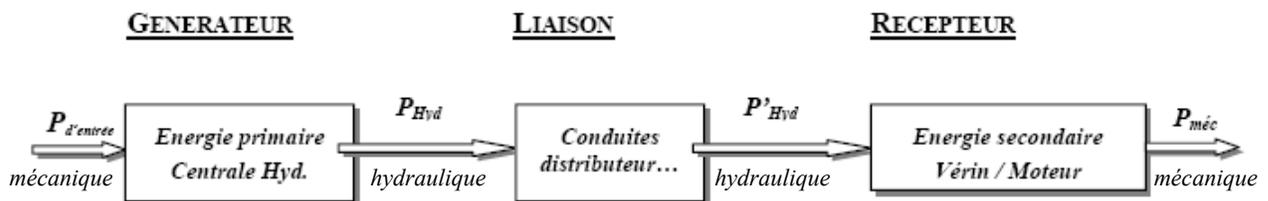


Figure 1.2.a : Installation hydraulique et nature des puissances mises en jeu

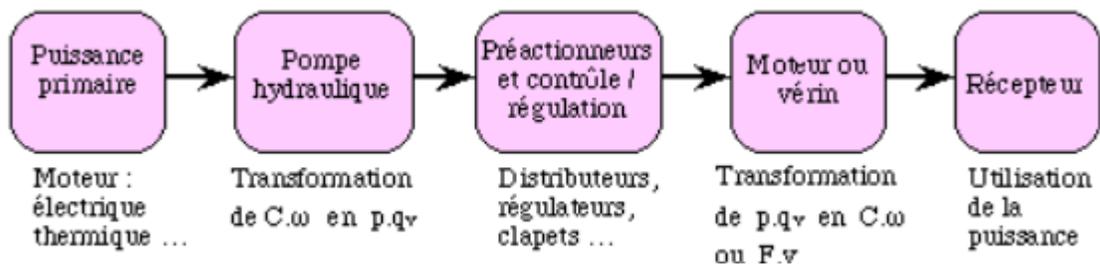


Figure 1.2.b : Installation hydraulique et transformation des puissances

### Figure 1.2 : Structure d'une installation hydraulique

Il est clair que chaque transformation provoque une perte énergétique qui diminue le rendement global de la transmission de puissance.

## 1.2 Composition d'un circuit hydraulique

Un circuit hydraulique industriel est représenté schématiquement par des symboles conventionnels normalisés. Un schéma hydraulique représente l'équipement toujours en position de repos ou initiale.

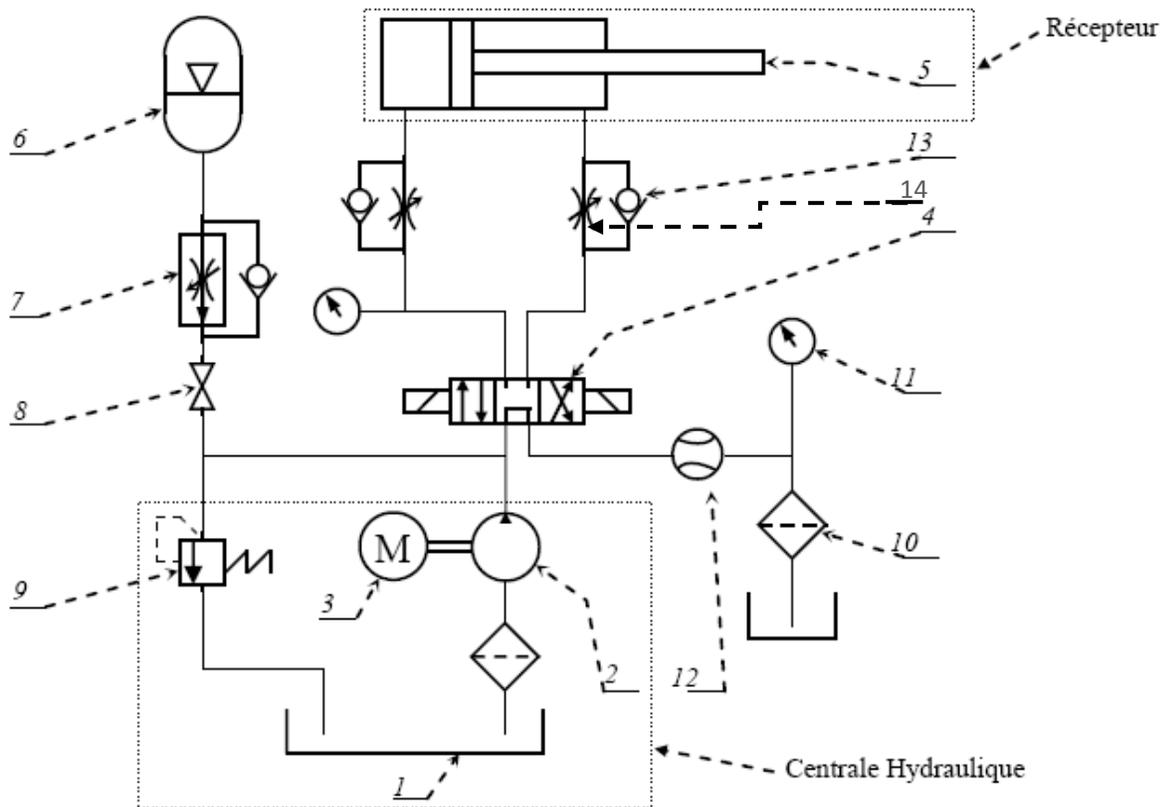


Figure 1.3 : Schéma de principe d'un circuit hydraulique

Rép.	Désignation	Fonction
1	Réservoir	Stocker le fluide
2	Pompe hydraulique	Générer la puissance hydraulique
3	Moteur électrique	Actionner la pompe
4	Distributeur 4/3	Distribuer la puissance hydraulique au vérin
5	Vérin double effet	Transformer la puissance hydraulique en puissance mécanique
6	Accumulateur	Stocker l'énergie hydraulique et la restituer en cas de besoin
7	Régulateur de débit	Régler le débit et la vitesse du fluide
8	vanne	Distribuer ou interrompre le passage du fluide
9	Limiteur de pression	Protéger l'installation contre les surpressions
10	filtre	Empêcher les impuretés de s'infiltrer dans les organes sensibles
11	Manomètre	Indiquer la valeur de la pression
12	débitmètre	Indiquer la valeur de débit
13	Clapet anti-retour	Autoriser le passage du fluide dans un seul sens
14	Limiteur de débit	Réduction de la section du conducteur (donc du débit) via un étrangleur à vis

## 2- La centrale hydraulique

### 2.1 Définition d'une centrale hydraulique

La centrale hydraulique (appelée aussi groupe hydraulique ou groupe motopompe) est constituée essentiellement d'un réservoir d'huile, d'un moteur, d'une pompe et d'un système de filtration.

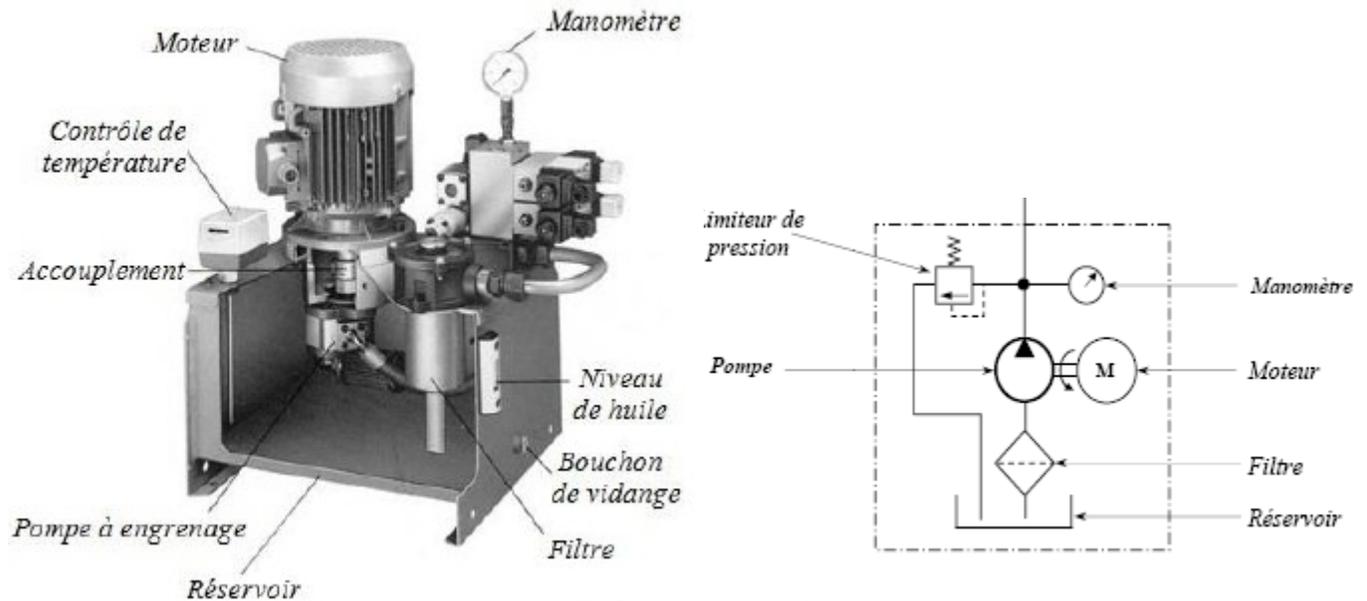


Figure 2.1 : Centrale hydraulique

**Réservoir** : il permet le stockage de l'huile, son refroidissement, la protection contre des éléments qui peuvent la polluer.

**Système de filtration** : il est utilisé pour éliminer les impuretés et les particules solides du fluide.

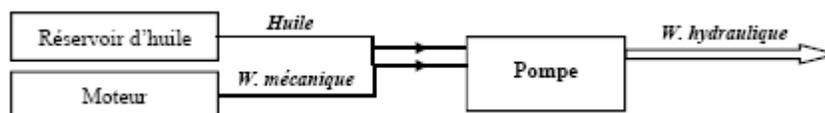
Les polluants présents dans un circuit occasionnent des dommages et/ou une usure prématurée des composants. Ces polluants peuvent être de deux types :

- solides : les particules d'usure venant des composants et les particules venant de l'extérieur ;
- solubles (non solides) : eau, gommages, boues...

Filtre avec indicateur de colmatage à contact	Filtre avec indicateur de colmatage à voyant	Filtre avec limiteur de pression by-pass	Filtre avec clapet anti-retour taré	Filtre protégé contre le retour de l'huile

Figure 2.2 : Différents symboles normalisés des filtres

**Pompe** : sa fonction consiste à générer un débit de liquide. Elle transforme une énergie mécanique en énergie hydraulique.



Généralement une centrale hydraulique contient également un limiteur de pression, un manomètre, un deuxième filtre de retour dans le réservoir.

## 2.2 Le réservoir

### a- Constitution

Le réservoir est utilisé pour le stockage des fluides. Il est constitué de :

- Une cuve en acier séparée en deux chambres par une cloison de stabilisation : une chambre d'aspiration (où se trouve le filtre d'aspiration) et une chambre de retour (pour isoler les polluants).
- Un couvercle assurant l'étanchéité et supportant l'ensemble motopompe.
- Un bouchon de vidange et éventuellement un autre de remplissage.
- Une porte de visite utilisée pour le changement du filtre, la réparation et le nettoyage.
- Deux voyants pour indiquer le niveau de fluide.
- Un filtre monté sur la tuyauterie d'aspiration.

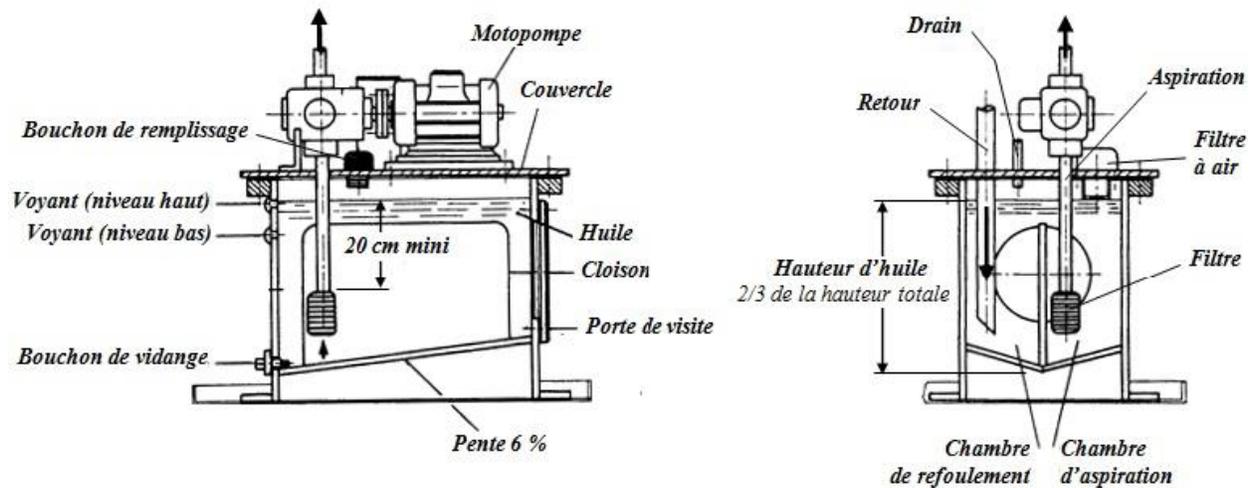


Figure 2.3: Composition d'un réservoir

**Remarque :** La capacité utile du réservoir est supérieure à trois fois la variation possible de volume du circuit. La hauteur d'huile est égale aux 2/3 de la hauteur totale.

### b- Symboles

Réservoir à pression atmosphérique	Réservoir sous pression	Tuyauterie partant d'un réservoir en charge	Tuyauterie immergée	Tuyauterie au-dessus du niveau de l'huile

## 2.3 La pompe

### a- Rôle de la pompe dans un système hydraulique

La pompe est destinée à transformer une énergie mécanique fournie par un moteur, en énergie hydraulique. Son rôle se limite à aspirer l'huile du réservoir et à la refouler.

La pompe est **un générateur de débit et pas de pression**. La pression augmente lorsqu'il y a une résistance à l'écoulement (cf. démonstration en annexe).

**b- Caractéristiques générales**

Une pompe se caractérise par :

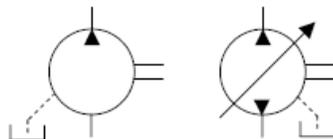
- son débit
- sa cylindrée
- son rendement
- son sens de rotation
- sa vitesse de rotation



**Figure 2.4 : Effets du phénomène de cavitation sur des aubes de pompe centrifuge** (doc. Rhône-Poulenc)

**c- Symboles (norme ISO 1219-1 cf. annexe 2)**

Pompes à débit constant		Pompes à débit variable	
à un sens de flux	à deux sens de flux	à un sens de flux	à deux sens de flux



Le trait en pointillés représente le drain (drainage externe). C'est une canalisation qui récupère le débit de fuite, inévitable à cause des jeux fonctionnels, et qui l'envoie au réservoir.

**Figure 2.5 : Symboles des pompes**

**3- La pompe hydraulique**

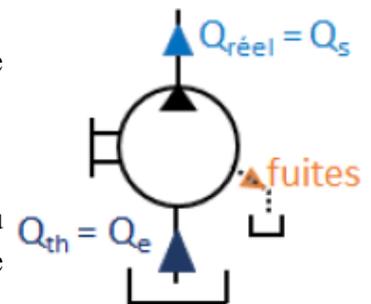
**3.1 Paramètres**

**a- Débit Q**

C'est le volume d'huile que la pompe peut fournir pendant l'unité de temps pour une vitesse de rotation établie (Q : en litres /minute).

**b- Cylindrée**

Elle correspond au volume d'huile théorique débité par tour, en cm<sup>3</sup> ou en litre. Le débit Q correspond donc au produit de la cylindrée par la vitesse de rotation.



**Figure 3.1 : Débits**

$Q = Cyl . N$ <p><b>Q : débit</b> en litres /minute (l/min) ;  <b>Cyl : Cylindrée</b>, en litres (l/tr) ou en cm<sup>3</sup> (cm<sup>3</sup>/tr) ;  <b>N : vitesse de rotation</b>, en tours /minute (tr/min).</p>
--

**c- Puissances**

- **La puissance hydraulique** à la sortie d'une pompe, traitant le débit volumique Q (en m<sup>3</sup>/s) est :

$$P_H = \Delta P \cdot Q \quad P_H \equiv P_u \text{ (pompe)}$$

avec  $\Delta P = P_e - P_s$  : différence de pression (en Pa) entre l'entrée (P<sub>e</sub>) et la sortie (P<sub>s</sub>) de la pompe

- **La puissance donnée à la pompe** par le moteur (absorbée par la pompe) dont l'axe tourne à la vitesse  $\omega$  et transmet un couple C, s'écrit :

$$P_a = C \cdot \omega \quad P_a \text{ (pompe)} = P_u \text{ (moteur)}$$

C : moment du couple appliqué à l'arbre d'entraînement de la pompe (N.m),

$\omega$  : vitesse angulaire de l'arbre d'entraînement de la pompe (rad/s),

P<sub>a</sub> : puissance absorbée par la pompe (Watts).

**d- Rendements**

- **Rendement global** d'une pompe : c'est le rapport des deux relations précédentes :

$$\eta_p = P_H / P_a = \Delta P \cdot Q / C \cdot \omega$$

- **Rendement volumétrique** : rapport du débit réel au débit théorique (qui permettra de connaître les fuites) ;

$$\eta_v = Q_{\text{reel}} / Q_{\text{th}} = Q / Cyl \cdot N$$

$Q_{th}$  : débit théorique,  $Q_{th} = Cyl \cdot N$  N : vitesse de rotation

- **Rendement mécanique** : rapport du couple réel au couple théorique (qui permettra de connaître les pertes mécaniques par frottement) :

$$\eta_m = C_{\text{réel}} / C_{\text{th}}$$

- **Rendement global** : le produit des rendements mécanique et volumique :

$$\eta_p = \eta_m \cdot \eta_v = \frac{\text{Puissance hydraulique en sortie de pompe}}{\text{Puissance mécanique fournie sur l'arbre}} = \frac{P_H}{P_a}$$

- **Rendement global d'une installation hydraulique**

$$\eta = \frac{P_u \text{ (vérin)}}{P_a \text{ (moteur)}} = \eta_{\text{moteur}} \cdot \eta_{\text{pompe}} \cdot \eta_{\text{vérin}}$$

$P_a$  (moteur)

$$\eta = \frac{P_u \text{ (vérin)}}{P_a \text{ (moteur)}} = \frac{P_u \text{ (moteur)}}{P_a \text{ (moteur)}} \cdot \frac{P_u \text{ (pompe)}}{P_a \text{ (pompe)}} \cdot \frac{P_u \text{ (vérin)}}{P_a \text{ (vérin)}}$$

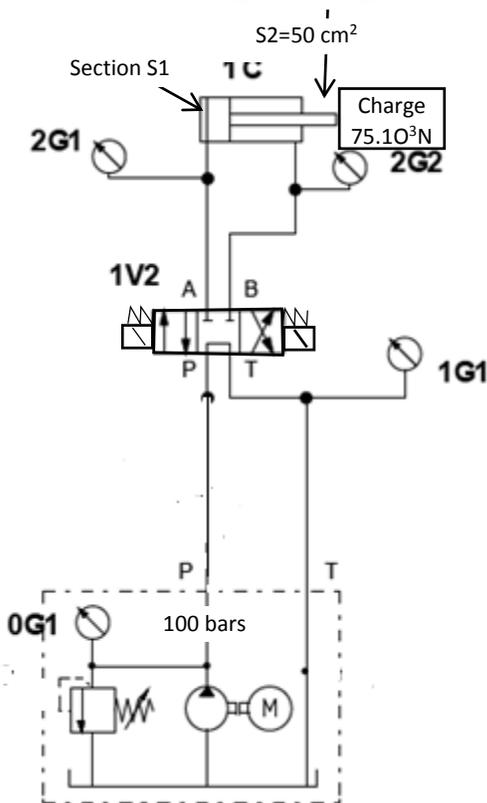
$P_a$  (moteur)     $P_a$  (moteur)     $P_a$  (pompe)     $P_a$  (vérin)

**e- Vitesse de rotation**

La vitesse de rotation maximale en fonctionnement continu (dite vitesse nominale) est principalement limitée par la capacité de la pompe d'aspirer le fluide. On fixe la valeur de la vitesse nominale de telle sorte que tout risque de cavitation soit écarté (cavitation = formations de cavités remplies de vapeur ou gaz dans un liquide en mouvement) : la formation de bulles est due à la dépression créée par la forte vitesse (une zone de forte vitesse dans un fluide correspond à une faible pression cf. théorème de Bernoulli).

**f- Exercice d'application**

Considérons le montage de la figure ci-dessous. Les données sont les suivantes :



Course du vérin (ou longueur de la tige): 50 cm ;  
 Rendement ou taux de charge : 0,75 ; Pression de fonctionnement en sortie de pompe : 100 bars (suffisante pour actionner le vérin et on néglige les pertes de charge);  
 Durée de sortie du vérin pour cette pression : 2,5s ; Rendement global de la pompe : 0,8 ;  
 Les approximations dans les calculs de l'ordre de 1%

On rappelle que la relation liant le débit et la vitesse du vérin est donnée par  $Q \text{ l/mn} = 6 \times V \text{ m/s} \times S \text{ cm}^2$

1° Quelle est en  $\text{cm}^2$  la section S1 du piston du Vérin ?

2° Calculer la vitesse du vérin en sortie en m/s.

3° En déduire le débit Q de la pompe en l/mn ?

3° Calculez la puissance Pa absorbée par la pompe en KW.

4° Calculer la vitesse du vérin en rentrant en m/s.  
 Conclure

**Solution**

**1° Section du piston du vérin**

$$F_{th} = F_{ut}/\tau = 7.5 \cdot 10^4 / 0.75 = 10^5 \text{ N} = 10^4 \cdot 10 \text{ N} = 10^4 \text{ daN}$$

$$F_{th} = P \times S \rightarrow S = F_{th} / P \rightarrow S \text{ cm}^2 = F_{th \text{ daN}} / P_{\text{bar}} = 10^4 / 100 = 100 \text{ cm}^2$$

**2° Vitesse du vérin en sortie**

Vérin linéaire  $\rightarrow$  déplacement linéaire  $\rightarrow$  mouvement rectiligne d'expression  $X = V \times t$

$$\text{Course } C = V \times t \rightarrow V = C / t = 0.5 \text{ m} / 2.5 \text{ s} = 0.2 \text{ m/s}$$

**3° Débit de la pompe**

$$Q = V \times S1 \text{ (S1 section du piston du vérin)}$$

$$Q \text{ l/mn} = 6 \times V \text{ m/s} \times S \text{ cm}^2 \rightarrow Q = 6 \times 0.2 \times 100 = 120 \text{ l/mn}$$

**4° Puissance absorbée par la pompe**

$$P_a = P_H / \eta_p = Q \times \Delta P / \eta_p$$

$$P_a \text{ kw} = (Q \text{ l/mn} \times \Delta P_{\text{bar}}) / (600 \times \eta_p) = 120 \times (100 - 1) / (600 \times 0.8) \approx 0.25 \cdot 10^2 = 25 \text{ KW}$$

**5° Vitesse du vérin en rentrant**

$$Q = V \times S3$$

$$S3 = S1 - S2 = \text{section du piston} - \text{section de la tige} = 100 - 50 = 50 \text{ cm}^2$$

$$Q \text{ l/mn} = 6 \times V \text{ m/s} \times S \text{ cm}^2 \rightarrow V \text{ m/s} = Q \text{ l/mn} / (6 \times S3 \text{ cm}^2) = 120 / (6 \times 50) = 2/5 = 0.4 \text{ m/s}$$

**6° Cylindrée de la pompe**

$$Cyl = Q/N = 120 \text{ l/mn} / 3000 \text{ tr/mn} = 4 / 100 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ l/tr}$$

### **3.2- Classification des pompes et choix de la technologie de pompage**

On classe les pompes en deux grandes familles :

- Les pompes hydrodynamiques (**volumétriques**) : dans lesquelles la chambre d'admission est séparée de la chambre de refoulement (où le fluide est expulsé) par des pièces mécaniques rigides, ce qui assure l'étanchéité entre les deux chambres.

Dans cette catégorie on trouve les pompes alternatives (à piston, à diaphragme, ...) et les pompes rotatives (à vis, à engrenage, à palettes, hélicoïdales, péristaltiques, à lobes ...).

- Les pompes **non volumétriques** : dans lesquelles la chambre d'admission et la chambre de refoulement ne sont pas séparées l'une de l'autre par des pièces mécaniques rigides.

Egalement appelées pompes « hydrauliques » ou turbopompes, elles sont toutes rotatives et regroupent : les pompes centrifuges, à hélice, hélico-centrifuges. De toutes les pompes hydrauliques, la pompe centrifuge est la plus utilisée, aussi bien dans l'industrie que chez les particuliers ainsi que dans l'agriculture (c'est le cas des pompes centrifuges pour l'irrigation).



Pompe volumétrique à membrane (alternative) Pompe volumétrique à vis (rotative)

Pompe centrifuge avec vannes d'isolement

Figure 3.2: Différents types de pompes

Le choix de la famille du **système de pompage** se fait selon l'utilisation que l'on veut en faire. Si l'on souhaite augmenter la pression d'un fluide, il faudra se tourner vers les **pompes volumétriques** dont l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide. Si l'on veut en augmenter le débit, on utilisera les **pompes centrifuges**. Là, le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.

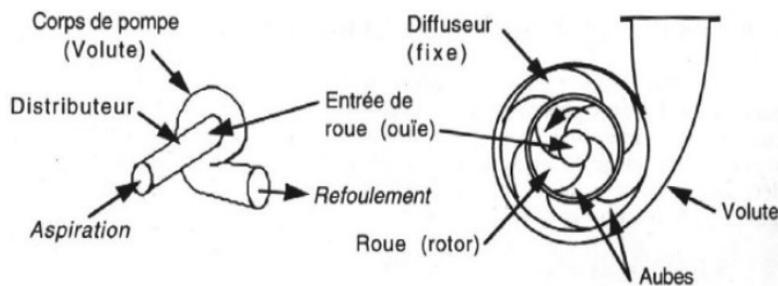
### **3.3- La pompe centrifuge**

#### ***Description***

Une pompe centrifuge est une machine tournante destinée à communiquer au liquide pompé une énergie suffisante pour provoquer son déplacement dans un réseau hydraulique, comportant en général une hauteur géométrique d'élévation de niveau ( $Z$ ), une augmentation de pression ( $p$ ) et toujours des pertes de charges. Une pompe centrifuge est constituée principalement par une roue à ailettes ou aubes (rotor) qui tourne à l'intérieur d'un carter étanche appelé corps de pompe.

### **Principe**

Les pompes centrifuges fonctionnent suivant le principe d'une mise en rotation du fluide à pomper dans une roue (rotor) tournant à grande vitesse (~600 à 3500 tr/mn). En sortie de roue, le fluide est canalisé dans un diffuseur, puis ralenti dans une volute, et la pression dynamique acquise au niveau de la roue (énergie de vitesse ou cinétique) est transformée en pression statique (énergie de pression).



Structure d'une pompe centrifuge

Figure 3.3 : Pompes centrifuges



Le liquide est aspiré au centre du rotor par une ouverture appelée « distributeur ». Son rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à l'entrée du rotor. Une fois qu'elle est pleine de liquide, la pompe est alors amorcée. La vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente ; par conséquent la pression diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage.

Le débit pompé est essentiellement fonction :

- de la différence de pression entre aspiration et refoulement,
- de la vitesse de rotation de la roue,
- du diamètre de la roue (vitesse périphérique).

### **Avantages et inconvénients**

Avantages :

- demande peu d'entretien. Sa construction simple n'impose qu'une faible maintenance ;
- prix modéré ;
- compacte, peu encombrante et offre un bon rendement ;
- en cas de dysfonctionnement du circuit de refoulement, la pompe ne subit aucun dommage.

Inconvénients :

- **ne s'amorce pas automatiquement** : l'air contenu nécessite d'être préalablement chassé. On peut utiliser un réservoir annexe placé en charge sur la pompe pour réaliser cet amorçage par gravité ;
- incompatible avec les fluides trop visqueux ainsi que les liquides dits « susceptibles » c'est-à-dire ne supportant pas la forte agitation dans la pompe comme les liquides alimentaires (vin, lait...);
- nécessite un disque d'équilibrage.

### 3.4- Les pompes volumétriques

#### *Description*

La **pompe à piston**, l'une des plus répandues, utilise les variations de volumes occasionnées par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces machines ont un fonctionnement alternatif (font appel au mouvement alterné d'un piston ou d'une membrane) et nécessitent un jeu de soupape ou de clapet anti retour pour obtenir tantôt l'aspiration dans le cylindre, tantôt son refoulement. La pompe à membrane est une variante de la pompe à piston puisque dans ce cas de figure, le fluide n'est pas en contact avec le piston, il est séparé par une membrane souple ou un diaphragme.

Les pompes péristaltiques, à engrenages, à lobes, à vis... sont toutes des **pompes rotatives** qui fonctionnent grâce à la vitesse de rotation. En évitant le frottement, les hélices déplacent les fluides. Ces pompes sont composées d'une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement.

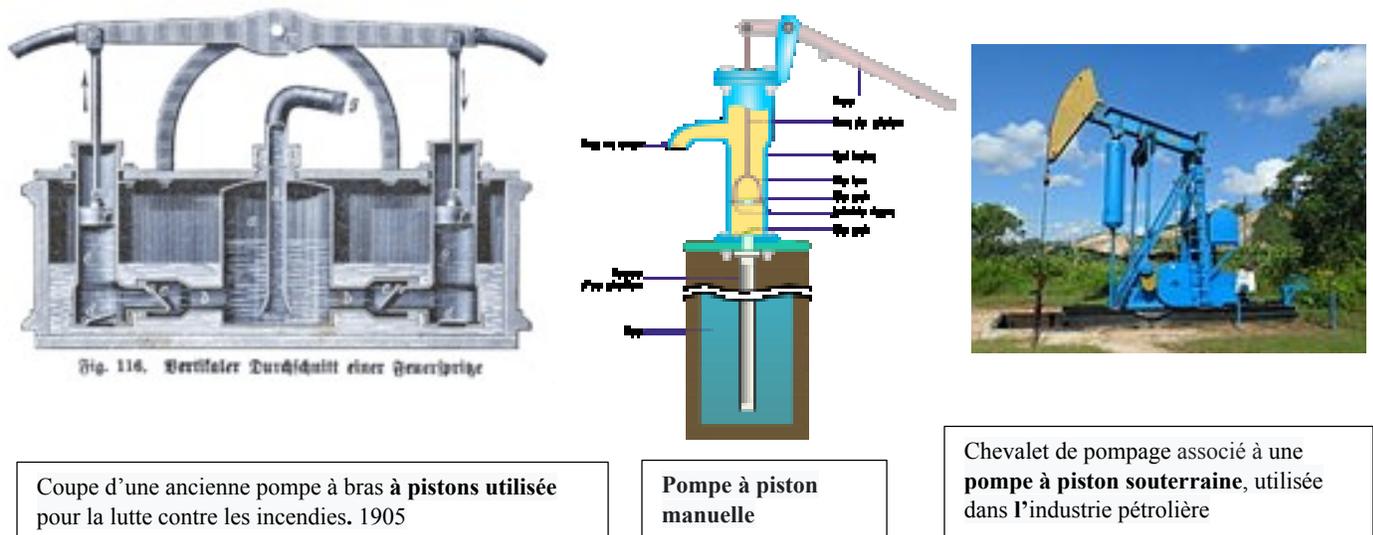


Figure 3.4 : Pompes alternatives à piston

#### *Principe*

Les **pompes volumétriques** prélèvent, en un temps donné, un volume de fluide incompressible  $V_0$  (équivalent à la cylindrée), et l'envoient au refoulement vers la sortie à chaque cycle.

Le volume  $V_0$  est prélevé sur le fluide contenu dans la conduite d'aspiration, d'où une dépression qui fait avancer le fluide vers la pompe, assurant ainsi son amorçage (*autoamorçage*).

Dans les pompes rotatives, la cylindrée et la vitesse de rotation fixent le débit pompé.

Dans les pompes alternatives la cylindrée et la course fixent le débit pompé.

Les pompes volumétriques sont utilisées pour les applications suivantes :

- Agriculture : transfert d'effluent, alimentation animale, irrigation.
- Environnement : transfert de boues d'épuration, boues déshydratées

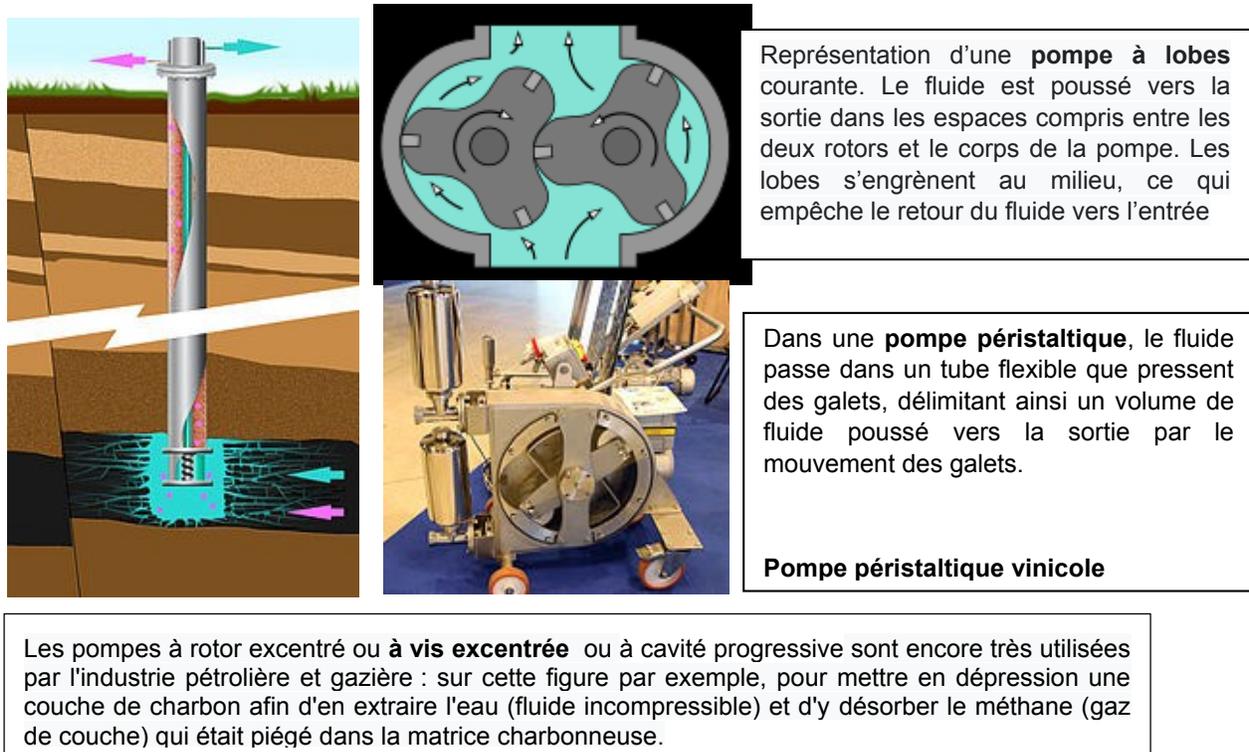


Figure 3.5 : Pompes volumétriques rotatives

### *Avantages et inconvénients*

#### Avantages :

- machine robuste assurant un excellent rendement ;
- amorçage automatique ;
- traite tout type de fluide (grand avantage) même les liquides très visqueux du secteur de l'industrie chimique ou de la pétrochimie par exemple.

#### Inconvénients :

- outil robuste mais encombrant, lourd et plus cher ;
- frais d'entretien également plus élevés car comme toute tuyauterie industrielle complexe ou équipement sous pression, la maintenance sera plus lourde ;
- impossible d'obtenir de gros débits à basse pression, même si le rendement est élevé ;
- ajout obligatoire de dispositifs annexes dans certains cas : le débit pulsé nécessite l'installation d'appareils spéciaux pour éviter le « coup de bélier », et les systèmes de sécurité comme le by-pass ou la soupape de sécurité sont indispensables car le danger de surpression dans le circuit de refoulement existe.

## 4- Les organes de liaison

### 4.1 Organes de commande : distributeurs (cf. H.Hamdi-chap.3-cours actionneurs)

#### a- Rôle

Les distributeurs sont utilisés pour commuter et contrôler le débit du fluide sous pression, à la réception d'un signal de commande qui peut être mécanique, électrique ou hydraulique, afin de commander l'organe récepteur (vérin ou moteur).

#### b- Symbolisation

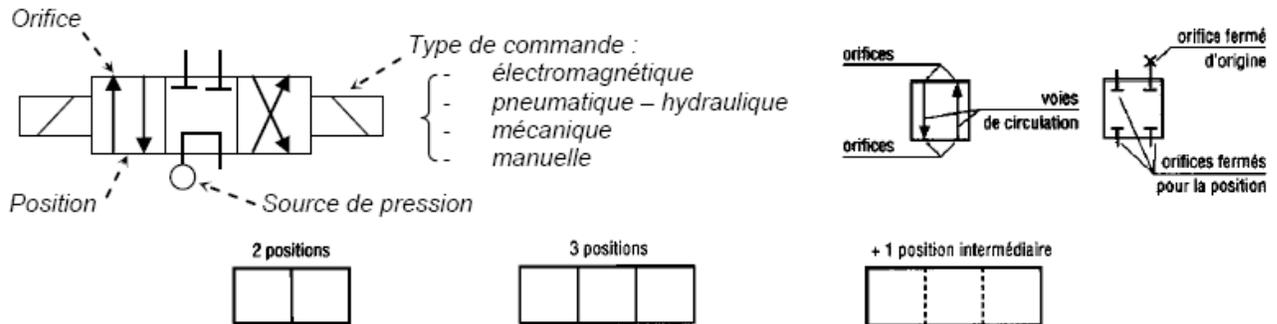
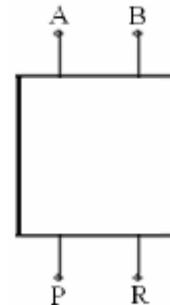


Figure 4.1 : Symboles normalisés du distributeur

\* **Désignation** : Nombre d'orifices / Nombre de positions, nature du centre du distributeur si nombre de positions est 3, type de commande.

\* **Orifices** : Les différents orifices d'un distributeur sont :

- P : orifice en connexion avec la pompe.
- R : orifice d'échappement.
- A : orifice en connexion avec l'orifice A de l'organe récepteur.
- B : orifice en connexion avec l'orifice B de l'organe récepteur.



\* **Types de centres**

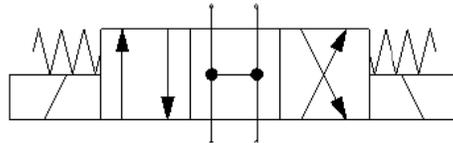
Désignations	Représentations
Centre fermé	
Centre tandem	
Centre semi ouvert	
Centre ouvert	

\* **Types de commandes**

Désignations	Représentations
Bouton poussoir	
Commande manuelle sans maintien en position	Levier
	Bouton poussoir-tirette
Commande manuelle avec maintien en position (levier à accrochage)	
Commande électrique	
Commande électrique avec ressort de rappel	
Commande hydraulique	
Commande hydraulique avec ressort de rappel	

Figure 4.2 : Symboles normalisés du distributeur à 3 positions

- Distributeur 4/3 à centre ouvert à commande électrique avec ressorts de rappel



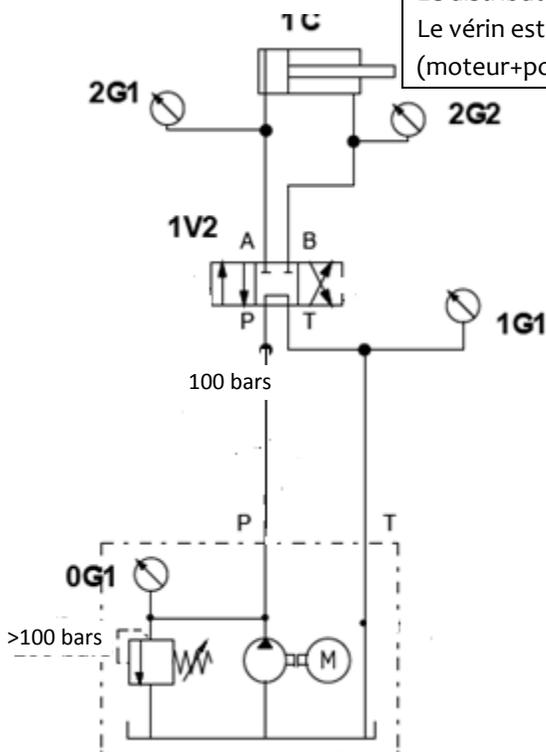
- Distributeur 4/2 NO commandé par levier à accrochage	- Distributeur 4/2 NF commandé par levier à accrochage

Figure 4.3 : Exemples de distributeurs

**Exercice d'application :** étude de l'influence du distributeur sur le fonctionnement d'un vérin

En analysant la figure, compléter dans le tableau ci-dessous les valeurs des pressions indiquées par les manomètres pour chacun des 3 états du distributeur, si on néglige les pertes de charge dans les canalisations. On rappelle que la pression atmosphérique (à l'air libre) est de 1 bar environ.

Etat du distributeur (+vérin)	Mesure sur le manomètre (en bar)			
	0G1	1G1	2G1	2G2
Le distributeur est en position centrale. Le vérin est entièrement rentré (moteur+pompe à l'arrêt)				
Le distributeur est dans la position gauche. Le vérin est en train de sortir (moteur+pompe en marche)				
Le distributeur est dans la position droite. Le vérin est en train de rentrer (moteur+pompe en marche)				



**Solution**

Etat du distributeur (+vérin)	Mesure sur le manomètre (en bar)			
	0G1	1G1	2G1	2G2
Le distributeur est en position centrale. Le vérin est entièrement rentré (moteur+pompe à l'arrêt)	1	1	?	?
Le distributeur est dans la position gauche. Le vérin est en train de sortir (moteur+pompe en marche)	100	1	100	1
Le distributeur est dans la position droite. Le vérin est en train de rentrer (moteur+pompe en marche)	100	1	1	100

**Commentaires**

On néglige les pertes et on suppose que la pression de 100 bars est suffisante pour actionner le vérin.

1° Quelle que soit la position du distributeur, le manomètre 1G1 est relié à la pression atmosphérique, car la cuve d'huile est ouverte à l'air libre.

2° Quand le distributeur est commandé par la gauche, le point A est relié à la sortie de la pompe et le point B à la pression atmosphérique. Par conséquent 2G1 indique 100 bars et 2G2 indique 1 bar.

3° Quand le distributeur est commandé par la droite, les sorties et les indications des manomètres s'inversent par rapport au 2°. Ainsi 2G1 indique 1 bar et 2G2 100 bars

4° Quand le distributeur est à la position centrale de repos,

- 1G1 se retrouve relié à 0G1. Par conséquent 0G1 est aussi à la pression atmosphérique de 1 bar.
- Les sorties A et B du distributeur sont bouchées. Par conséquent les 2 chambres des vérins ne sont soumises à aucun flux de liquide donc aucune force.
- si le distributeur n'était pas alimenté avant, les chambres sont vides et ne contiennent pas d'huile. Elles sont à la pression atmosphérique. Les manomètres affichent tous les deux 1 bar ;
- si le vérin est complètement sorti ou complètement rentré ou au milieu, cela n'a aucune importance. La pression naît d'une résistance à la force exercée par le flux d'huile.
- $P = F/S$ . Comme il n'y a aucune force exercée, donc  $P = 0$  (en fait c'est la pression atmosphérique = 1 bar).

**4.2 Organes de protection et de régulation**

**a- Organes de réglage du débit** : limiteur de débit et régulateur de débit

Le rôle de ces composants est de faire varier la section dans laquelle le fluide circule.

En effet la vitesse d'un récepteur hydraulique (*vérin ou moteur*) est fonction du débit. Le réglage de ce débit est obtenu par un étranglement de section.

**\* Limiteur de débit**

Destiné à agir sur le débit pour contrôler la vitesse d'un récepteur (*vérin, moteur*) mais n'assure pas la stabilité de débit au cours des variations de la pression.

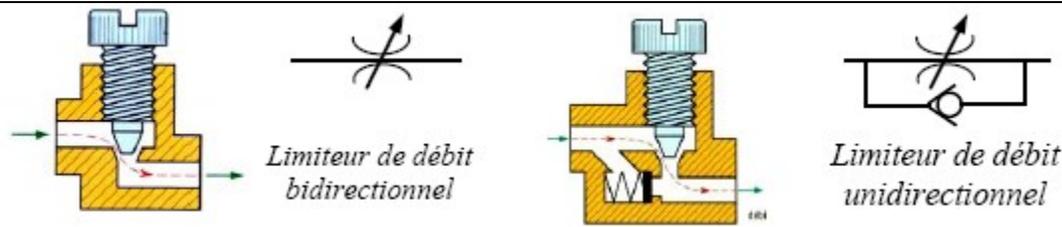


Figure 4.4 : Limiteur de débit

**NB :** le limiteur de débit ne permet pas le contrôle du débit lorsque la charge est variable.

**\* Régulateur de débit**

Conçu comme le limiteur de débit mais une variation de la pression permet d'ouvrir plus ou moins l'étranglement du passage du fluide.

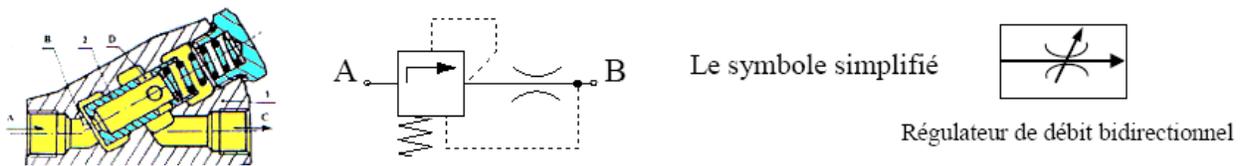


Figure 4.5: Régulateur de débit

Son principe de fonctionnement est basé sur :

- un étranglement qui permet d'ajuster le débit en fonction de la vitesse ;
- un tiroir qui a pour fonction de compenser toute variation de charge du récepteur et permet de maintenir une différence de pression  $p$  constante de part et d'autre de l'étranglement.

**b- Organes de réglage de pression** : limiteur de pression et régulateur de pression

**\* Limiteur de pression** (soupape de sûreté)

Fonction

Comme son nom l'indique, il permet de limiter la valeur maximale du paramètre pression du réseau principal, et la maintenir constante en un point du circuit. Cette limitation est obtenue en dérivant une partie du fluide de façon à maintenir cette valeur maximale constante.

En conséquence, le limiteur de pression est toujours **normalement fermé** et **installé en dérivation** sur les différents éléments (pompe, actionneurs, etc.) du circuit à protéger. Monté en amont du circuit, en dérivation avec la pompe et relié au réservoir, il permet de protéger le circuit contre les surpressions.

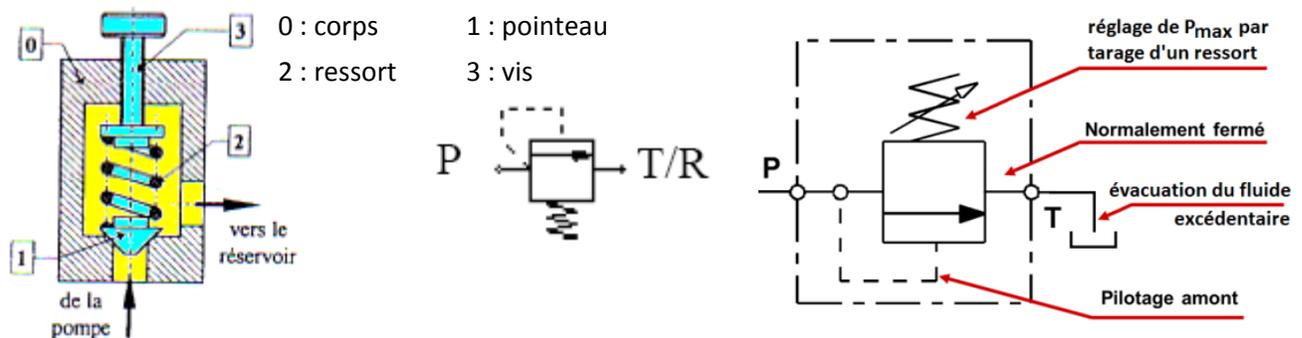


Figure 4.6: Limiteur de pression à action directe

### Principe.

- On **prélève l'information de pression en amont du limiteur**
- Cette pression est comparée à une valeur limite obtenue par le tarage d'un ressort par exemple
- Si la pression du circuit dépasse ce seuil, le limiteur s'ouvre pour évacuer une partie du fluide vers le réservoir.

Selon la précision recherchée et l'importance du débit susceptible de les traverser, cet appareil peut être à action directe (valeur maximum fixée manuellement par tarage d'un ressort) ou pilotée (commandée à distance par voie électrique ou hydraulique).

### \* **Réducteur de pression**

#### Fonction

La fonction d'un réducteur-régulateur de pression est de limiter la pression dans une branche secondaire du circuit à une valeur constante et inférieure à la pression de service.

En conséquence, un réducteur-régulateur de pression est **toujours normalement ouvert** et **installé en série** sur la partie de circuit dont la pression doit être régulée.

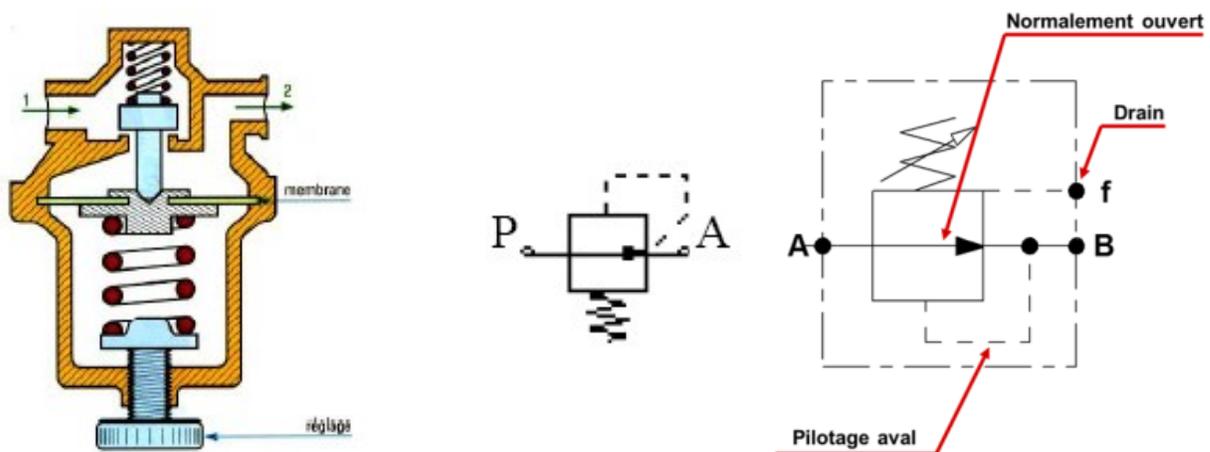


Figure 4.7: Régulateur de pression

### Principe.

On **prélève l'information de pression** appliquée sur la section d'un clapet **en aval** de l'appareil, on la compare avec l'effort généré par un ressort dont le tarage correspond à la pression de fermeture de l'appareil. Lorsque la pression atteint le seuil fixé, le clapet se déplace et ferme le passage du fluide (empêchant la pression coté utilisation d'augmenter). De plus le déséquilibre de pression entraîne le recul du pointeau ce qui met en relation la chambre de contrôle avec un orifice relié au réservoir. Cette perte de charge créée permet de limiter la pression en B à la valeur de la pression de tarage.

Lorsque la pression coté B diminue, le clapet principal redescend. Le passage de A vers B s'ouvre de nouveau

Si la pression en A est inférieure à la pression de tarage, la pression en B est égale (en négligeant la perte de charge du composant) à la pression en A.

\* **Valve de séquence**

La valve de séquence ne permet la circulation de l'huile vers une portion du circuit (alimenter le circuit secondaire) **que si** la pression dans la ligne principale (circuit primaire) a atteint la valeur de sa pression de pilotage.

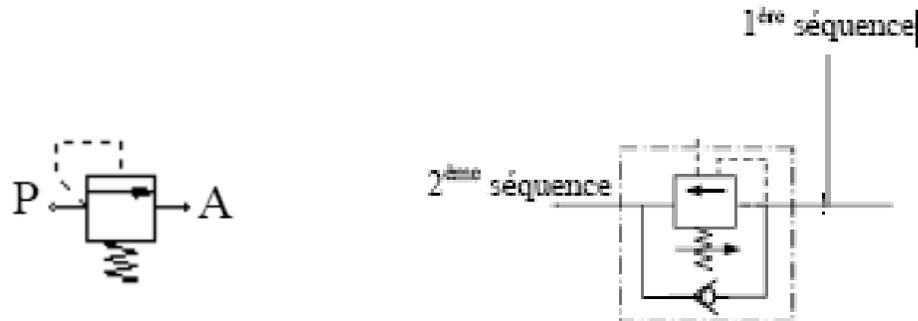


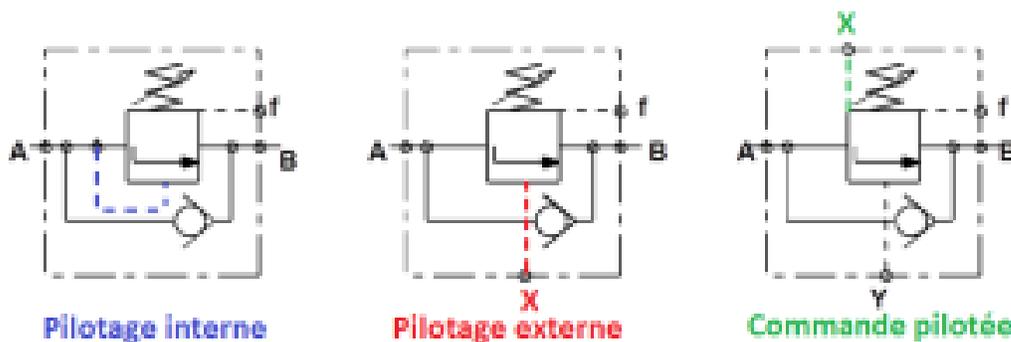
Figure 4.8 : Valve de séquence

La valve ouvre une voie de passage au fluide lorsque la **pression amont** (pilotage interne) ou une **pression prise en un point** quelconque de l'installation (pilotage externe) **atteint une valeur donnée** par le tarage de l'appareil.

Utilisation

Ce type de valve peut être utilisé pour :

- Contrôler une séquence : activation d'une partie du circuit après respect d'une condition de pression (valve de séquence)
- Contrôler une charge motrice (valve d'équilibrage)
- Contrôler la mise en service d'une pompe basse pression (fonction de décharge)
- Contrôle du chargement d'un accumulateur (fonction de conjoncteur disjoncteur)

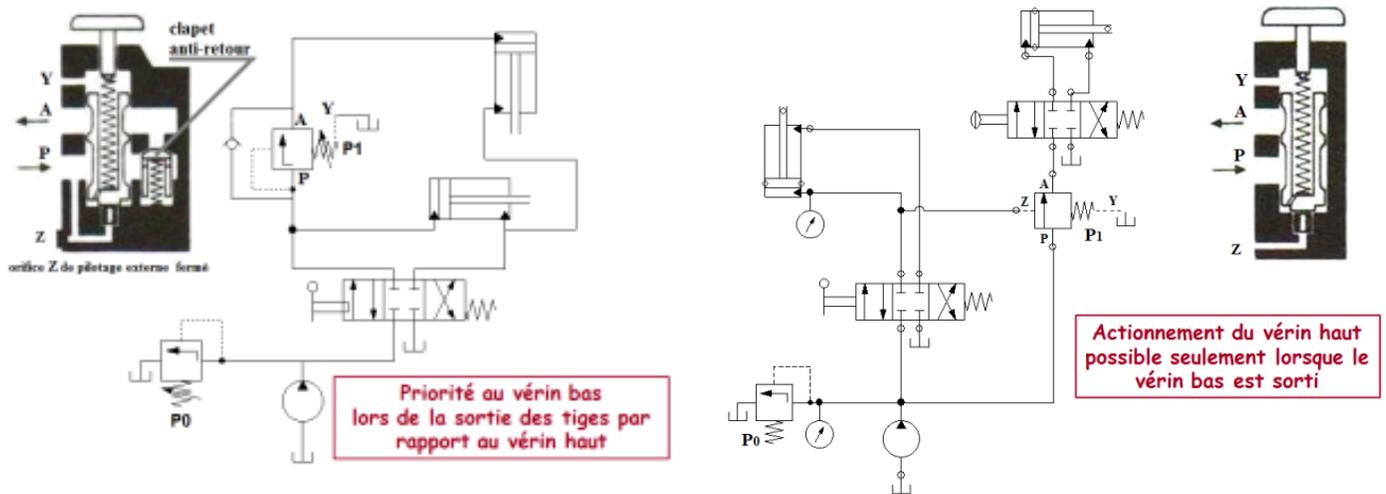


**Une valve de séquence (multifonction) est toujours normalement fermée (NF).**

Figure 4.9 : Pilotage d'une valve de séquence

(source : T.Cortier « Hydraulique : de la mécanique des fluides à la transmission de puissance »)

Exemple : priorité donnée à un actionneur



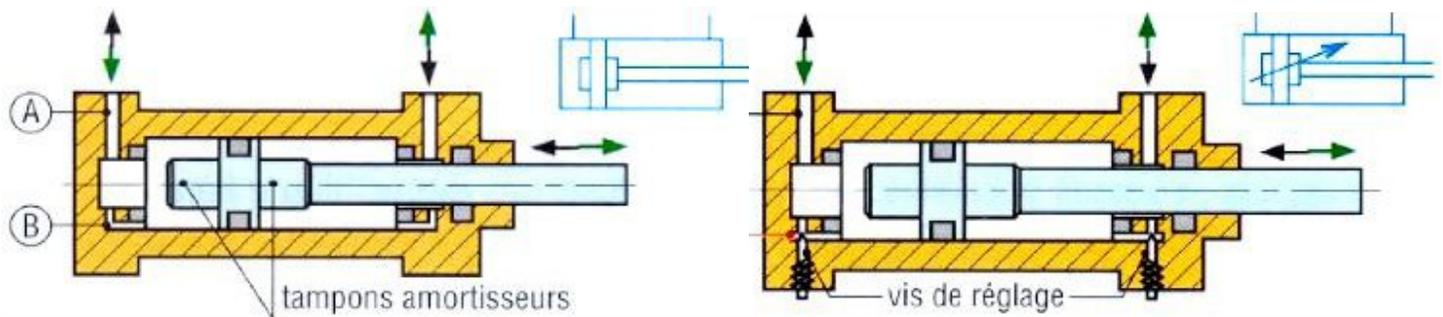
**Figure 4.10 : Priorité à un actionneur avec une valve de séquence à pilotage interne**  
 (source : T.Cortier « Hydraulique : de la mécanique des fluides à la transmission de puissance »)

On permet la manœuvre du vérin haut seulement si le vérin bas a son piston sorti et si la pression dans sa grande chambre atteint une valeur suffisante égale à  $P_1$ , valeur d'ouverture de la valve de séquence.

Ce type de montage peut être utilisé dans le cas où on veut s'assurer qu'une pièce est serrée (grâce au vérin bas) avant de réaliser tout autre opération (à l'aide du vérin haut).

**c-Amortissement de fin de course des vérins**

Cet amortissement est indispensable aux vitesses ou cadences élevées et sous fortes charges. Si des blocs en élastomère suffisent lorsque l'énergie à amortir est modérée, les dispositifs avec tampons amortisseurs sont recommandés aux plus hautes énergies. Dès que le tampon entre dans son alésage, le fluide à l'échappement est obligé de passer par l'orifice **B** plus petit, créant l'amortissement.



Vérin double effet à amortissement non réglable

Vérin double effet à amortissement réglable

**Figure 4.11 : Amortissement d'un vérin double effet**

### 4.3 Autre composant hydraulique : l'accumulateur

Les accumulateurs sont des appareils entrant dans la constitution des systèmes hydrauliques. Ils servent à emmagasiner une réserve d'énergie.

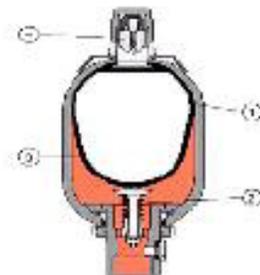
Ils se montent en dérivation avec le circuit principal permettant de stocker une quantité de fluide sous pression et la restituer (donner) en cas de besoin, par exemple en cas de chute de pression accidentelle, compensation des fuites, équilibrage des forces... Dans certains cas l'utilisation d'un accumulateur est indispensable pour la sécurité, ex élévateur des charges.

#### a- Principe

L'accumulateur consiste à emmagasiner l'énergie cinétique engendrée par une colonne de fluide en mouvement lors d'une fermeture brutale du circuit (vanne, électro-vanne...) ou, plus généralement, lors d'une variation brutale de pression dans le circuit.

#### b- Constitution

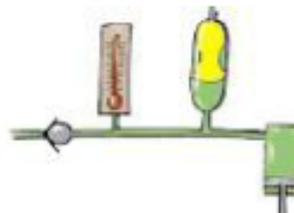
1. Corps.
2. Soupape d'huile.
3. Vessie.
4. Valve de gonflage.



#### c- Différentes fonctions d'un accumulateur

##### • Dilatation thermique:

L'augmentation de volume due à l'élévation de température sera absorbée par la mise en place d'un accumulateur.



##### • Amortissement de chocs: Suspension :

L'accumulateur, par son rôle d'amortisseur, diminue la fatigue des composants hydrauliques et mécaniques.

##### Exemple:

-Élévateurs, chariots de manutention, machines agricoles.



### 🌿 Récupération et restitution d'énergie:

L'énergie fournie par la descente d'une charge peut être absorbée par l'accumulateur et restituée à un mouvement mécanique.



### 🌿 Amortissement de pulsations:

L'adjonction d'un accumulateur sur un circuit hydraulique permet de limiter le taux d'irrégularité des pompes : il s'en suit un meilleur fonctionnement de l'installation, protection et augmentation de la durée de vie des éléments du circuit, ainsi qu'une diminution sensible du niveau sonore.



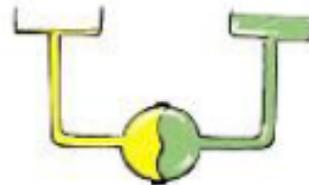
### 🌿 Compensation de fuites:

Une fuite dans un circuit hydraulique peut entraîner une chute de pression. L'accumulateur compense alors la perte de volume et maintient ainsi une pression sensiblement constante dans le circuit.



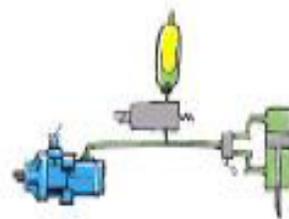
### 🌿 Transfert:

L'accumulateur rend possible le transfert entre deux fluides incompatibles. C'est la membrane qui assure la séparation entre les deux fluides.



### 🌿 Réserve d'énergie:

Dans un circuit sous pression, l'accumulateur permet de tenir immédiatement disponible une réserve de fluide. On peut ainsi utiliser, au cours d'un cycle, dans un temps très court, une énergie importante, accumulée par une installation de faible puissance pendant les périodes de non consommation.



## Annexe 1 : Démonstration que la pompe est un générateur de débit

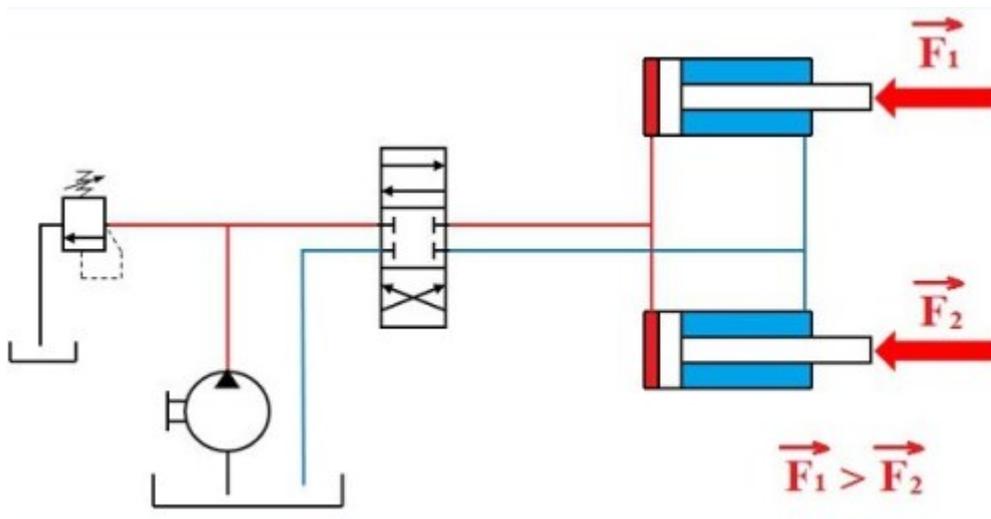
Source : Thierry Cortier, ENSIL - France

[http://www.unilim.fr/pages\\_perso/thierry.cortier/Hydraulique\\_cours/co/Hydraulique\\_-\\_De\\_la\\_mecanique\\_des\\_fluides\\_a\\_la\\_transmission\\_de\\_Puissance\\_108.html](http://www.unilim.fr/pages_perso/thierry.cortier/Hydraulique_cours/co/Hydraulique_-_De_la_mecanique_des_fluides_a_la_transmission_de_Puissance_108.html)

Pour mettre en évidence qu'une pompe est un générateur de débit et non un générateur de pression, on étudie le comportement d'un circuit pour lequel la pompe alimente en parallèle 2 vérins au travers d'un seul distributeur.

Dans un premier temps on considère que les 2 pistons des 2 vérins de même dimensions doivent se déplacer avec des efforts résistants différents appliqués sur les 2 tiges.

### Les 2 tiges peuvent-elles se déplacer en même temps ?



Le piston soumis à la force résistante la plus faible sort en premier. En effet, la pression de refoulement de la pompe augmente jusqu'à atteindre une valeur suffisante pour vaincre l'effort le plus petit :  $P_2 = (F_2/S) + \Delta P$ . La tige de ce vérin se déplace alors à une vitesse qui dépend uniquement du débit de la pompe.

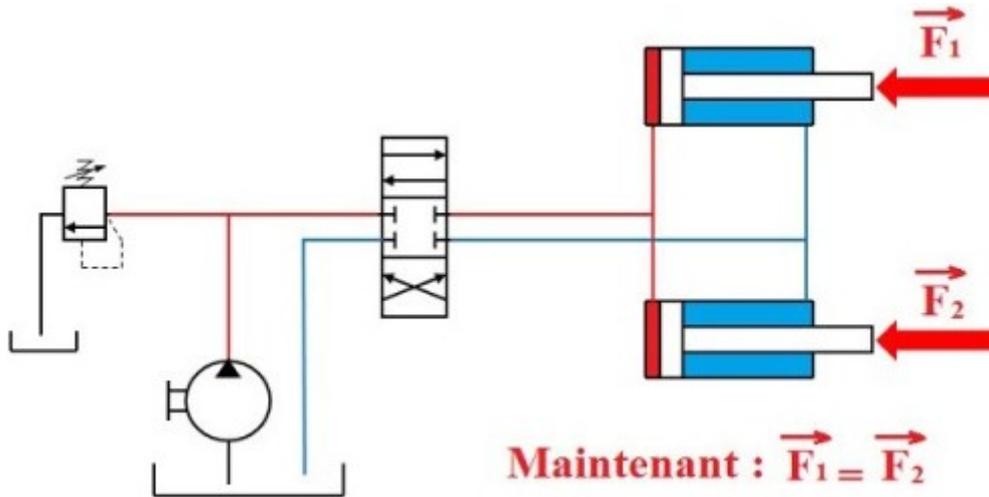
Lorsque ce 1er vérin est en butée, la pression dans le circuit va de nouveau augmenter jusqu'à atteindre une valeur suffisante pour vaincre l'effort résistant :  $P_1 = (F_1/S) + \Delta P$ , sur le 2ème piston qui se met en mouvement à son tour.

Lorsque ce piston arrive à son tour en butée, la pression  $P$  du fluide augmente puisque le fluide fourni par la pompe est poussé dans un circuit dont le volume est constant.

Pour protéger la pompe contre cette élévation de pression, on dispose toujours sur sa sortie un organe chargé de limiter la valeur maximale de cette pression en permettant au fluide de s'évacuer vers le bac (réservoir). Cet organe est le limiteur de pression principal du circuit (voir page 12 paragraphe 3.2.b : "organes de réglage de pression").

On considère maintenant que les 2 pistons des 2 vérins de même dimensions doivent se déplacer avec des **efforts résistants identiques** appliqués sur les 2 tiges.

**Est-ce que dans ce cas, les 2 tiges peuvent se déplacer en même temps ?**



On retrouve ici le même comportement. En effet, même si les 2 vérins ont les mêmes caractéristiques nominales (même diamètre notamment), en réalité il existe forcément des écarts même faibles liés aux tolérances de fabrication.

Avec un montage de ce type, il n'est pas possible de savoir lequel de ces 2 pistons se déplacera en premier.

La pompe ne fournit donc qu'un débit. **La pression dans le circuit dépend uniquement de la résistance à l'écoulement du fluide** en fonction des caractéristiques des éléments de circuit et en particulier ici des vérins.

## Annexe 2 : Symboles de représentation en hydraulique

### *Symboles de base*

*(Extraits de la norme NF ISO 1219-1)*

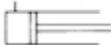
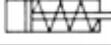
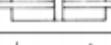
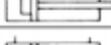
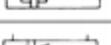
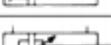
#### POMPES

Symbole graphique		Composant	Description
(a) 	(b) 	Pompe à cylindrée fixe	A un sens de flux (a)
			A deux sens de flux (b)
(a) 	(b) 	Pompe à cylindrée variable	A un sens de flux (a)
			A deux sens de flux (b)
		Pompe manuelle	Pompage par levier

#### MOTEURS

Symbole graphique		Composant	Description
(a) 	(b) 	Moteur à cylindrée fixe	A un sens de rotation (a)
			A deux sens de rotation (b)
(a) 	(b) 	Moteur à cylindrée variable	A un sens de rotation (a)
			A deux sens de rotation (b)
		Actionneur rotatif	Moteur hydraulique dans lequel l'angle de rotation est limité

#### VERINS

Symbole graphique	Composant	Description
	Vérin à simple effet	Course de retour commandée par une force externe
		Course de retour par ressort
	Vérin à double effet	A simple tige
		A double tige
	Vérin avec freinage de fin de course non réglable	Freinage sur un seul côté
		Freinage sur les deux côtés
	Vérin avec freinage de fin de course réglable	Freinage sur un seul côté
		Freinage sur les deux côtés
	Vérin télescopique	A simple effet
		A double effet

**VALVES DE CONTROLE DE PRESSION**

<b>Limiteur de pression</b> Direct  Piloté 		<b>Valve de séquence</b> Directe  Pilotée 	
<b>Valve de réduction de pression</b> Directe  Pilotée 		<b>Valve d'équilibrage</b> 	

**VALVES DE CONTROLE DE DEBIT**

<b>Etrangleur variable</b> Bidirectionnel 	Avec clapet anti-retour unidirectionnel 	<b>Régulateur de débit compensé</b> Bidirectionnel 	A trois voies 
--	---	--	---

**VALVES DE CONTROLE DE DIRECTION**

Standard 	Taré 	<b>Clapet anti-retour</b> Piloté à l'ouverture 		Piloté avec drainage 
<b>Distributeurs</b>				
2 voies - 2 positions 	3 voies - 2 positions 	4 voies - 2 positions 	4 voies - 3 positions 	
<b>Commandes pour distributeurs</b>				
Mécanique 	A bouton-poussoir 	A levier 	A pédale 	
<b>Commandes pour distributeurs</b>				
A ressort 	A came 	Electrique (solénoïde) 	Electrique-hydraulique 	
<b>Commandes pour distributeurs</b>				
Pneumatique 	Hydraulique 	Electrique (proportionnelle) 	Electro-hydraulique (proportionnel) 	

**TRANSMISSION D'ENERGIE ET ACCESSOIRES**

Symbole graphique	Composant	Description
	Moteur	Electrique
		Thermique
	Conduites et raccords	Ligne principale
		Pilotage
		Drainage
		Tuyau flexible
		Point de connexion
		Croisement
		Branchements
	Avec tuyauterie raccordée	
	Coupleurs	Coupleurs rapides
		Avec clapet anti-retour

Symbole graphique	Composant	Description
	Réservoir	Conduites au-dessus du niveau
		Conduites en-dessous du niveau
		Réservoir sous pression
	Purge d'air	
	Accumulateur hydraulique	
	Filtre	
	Echangeur de chaleur	Réchauffeur
		Réfrigérant
		Réfrigérant à liquide
	Manomètre	
	Pressostat	
	Arbre tournant	1 sens
		2 sens