

**Université de Djillali Bounaama Khemis Miliana**  
**Faculté des Sciences et de Technologies**  
**Département de Génie Electrique**

**Master 1**  
**Electrotechnique**

**Cours**  
**Technologie en Automatique Industriel**

**Chapitre 3**  
**Technologie hydraulique**

**Enseigné par : Mme KARA MOSTEFA. C**

**Année Universitaire : 2019 / 2020**

## 1-Théorie de l'hydraulique

Un système hydraulique est souvent lié avec l'électricité, l'automatisme, la mécanique ou les machines spéciales.

À partir d'une énergie électrique ou thermique (moteur diesel par exemple), un système hydraulique permet de produire une énergie hydraulique tout en respectant les normes environnementales et de sécurité.

Le suivi de cela est généralement confié à un technicien ou ingénieur hydraulicien.

- Concevoir le fonctionnement d'une machine ou d'un ensemble hydraulique.
- Déterminer les récepteurs hydrauliques, calcul force, couple, vitesse, puissance etc. Réaliser un schéma hydraulique.
- Pour les systèmes complexes l'étude est faite avec un automaticien, un hydraulicien doit avoir de bonnes bases d'automatisme, afin de faire les meilleurs choix techniques.
- Réalisation et mise en service de la machine.

### Les principaux composants d'un système hydraulique :

#### a) Centrale hydraulique

- Avec le réservoir, le groupe moto pompe est le cœur du système hydraulique.
- Système de filtration de l'huile et de l'air.
- Accumulateur (réserve d'énergie selon le choix technique).

#### b) Régulation de température

- Résistance pour réchauffer.
- Refroidisseur type radiateur (huile/air) ou échangeur (huile/eau).

#### c) Bloc Fonction ou distribution et sécurité

- Soupape de sécurité, ou régulation de pression (force).
- Régulation de débit (vitesse).
- Distribution standard (en tout ou rien) ou proportionnelle.
- Système avec cartouche logique.

#### d) Instrumentation pour mesurer

- Pression.
- Débit.
- Température.
- Niveau d'huile.

## 2- Familles de pompes

On classe les pompes en deux grandes familles :

### 2.1. Les pompes volumétriques

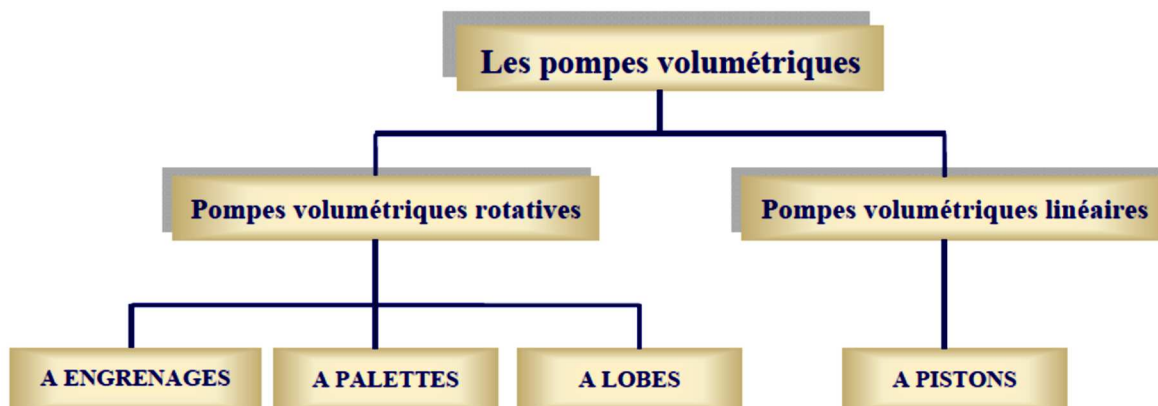
a) Le principe :

- Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos (*stator*) à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté participant à la circulation du fluide à l'intérieur de la pompe. Ce déplacement est cyclique.
- Pendant un cycle, un volume de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé.

b) Description :

- Un volume de fluide  $V_0$  (équivalent à la cylindrée) est emprisonné dans un espace donné et contraint à se déplacer, de l'entrée vers la sortie de la pompe à chaque cycle. Le volume  $V_0$  est prélevé sur le fluide contenu dans la conduite d'aspiration, d'où une dépression qui fait avancer le fluide vers la pompe, assurant ainsi son amorçage (*autoamorçage*).

**- Remarque :** La pression ne doit pas s'abaisser en dessous de la pression de vapeur saturante du liquide, pour éviter son ébullition et l'apparition du phénomène de cavitation.

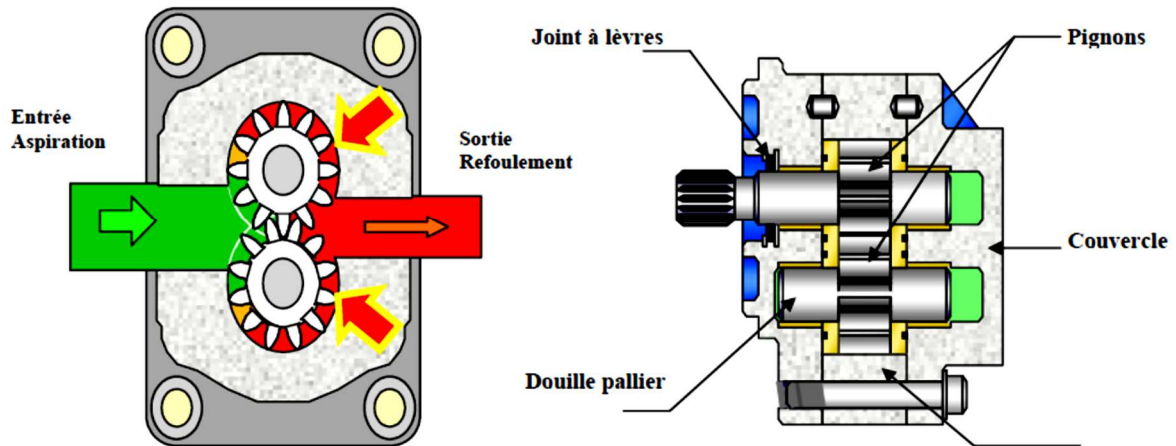


### 2.1.1. Les pompes volumétriques rotatives : ce sont les pompes les plus utilisées.

#### 1) Les pompes à engrenages :

a) Les pompes à engrenages extérieures :

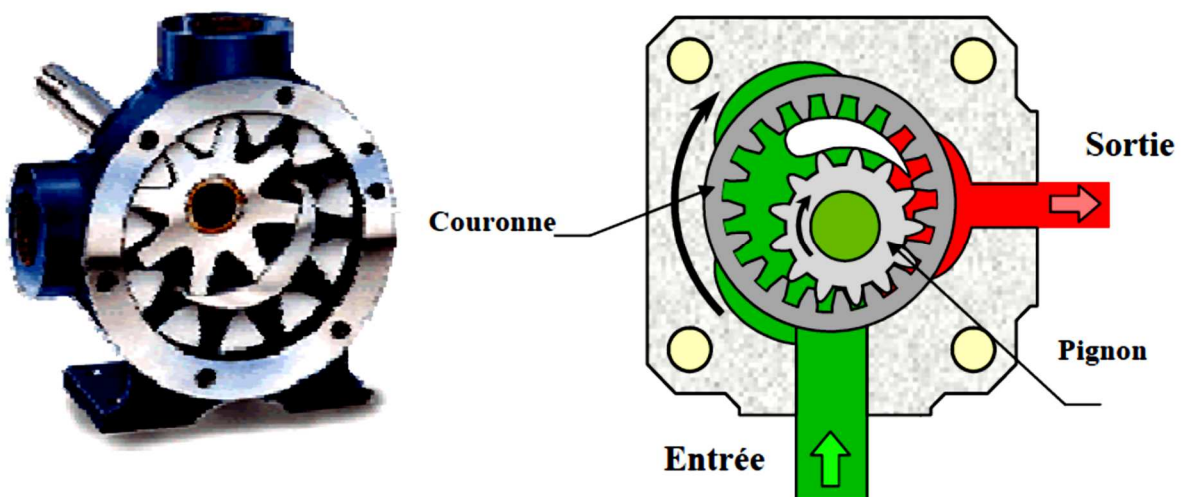
- **Fonctionnement :** Elle est constituée de deux engrenages tournant à l'intérieur du corps de pompe. Le principe consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le faire passer vers la section de refoulement (*La rotation d'un pignon entraîne la rotation en sens inverse de l'autre, ainsi une chambre se trouve à l'aspiration, l'autre au refoulement*).



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit régulier.</li> <li>- Pas de clapets nécessaires.</li> <li>- Marche de la pompe réversible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombreuses pièces d'usure.</li> <li>- Pas de particules solides dans cette pompe, ni de produit abrasifs ; la présence de trace de solide ayant pour effet d'accélérer l'usure mécanique des pignons et de diminuer l'étanchéité entre le corps de pompe et les dents.</li> </ul>

b) Les pompes à engrenages intérieures :

**Présentation :** Ces pompes existent aussi avec une roue à denture intérieure (*Couronne dentée*) engrené à un pignon. Dans ce cas la pompe peut disposer d'une pièce intermédiaire en forme de croissant pour séparer entre l'entrée et la sortie permettant ainsi de diminuer les fuites internes et d'augmenter la pression de service.



**Caractéristiques de la pompe à engrenage à denture intérieure**

- Cylindrée : 250 cm<sup>3</sup>/tour maxi
- Pression de service : 250 bars maxi
- Peu de pièces en mouvement
- Faible encombrement

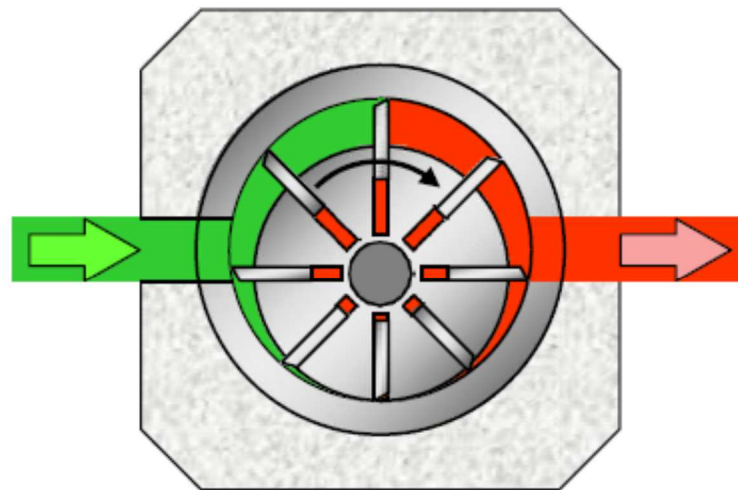
- Combinaison possible de plusieurs pompes
- Aptitude à tourner vite : de 300 à 3000tr/min
- Bruit de fonctionnement très faible
- Rendement élevé : 0,9

## 2) Les pompes à palettes :

a) Pompes à palettes à cylindrée fixe :

### Fonctionnement :

Un corps cylindrique fixe (stator) communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement. A l'intérieur se trouve un cylindre plein, le rotor, tangent intérieurement au corps de la pompe et dont l'axe est excentré par rapport à celui du stator. Le rotor est muni de 2 à 8 fentes diamétralement opposées deux à deux, dans lesquelles glissent des palettes que des ressorts appuient sur la paroi interne du stator. Le mouvement du rotor fait varier de façon continue les différentes capacités comprises entre les cylindres et les palettes en créant ainsi une aspiration du liquide d'un côté et un refoulement de l'autre.

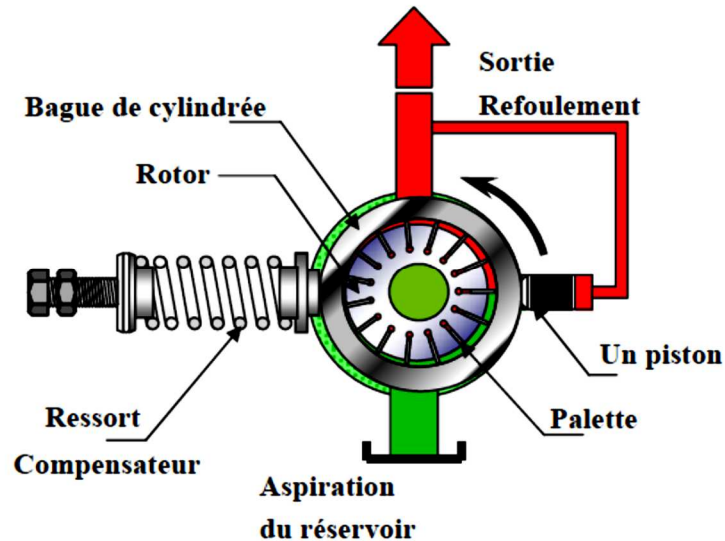


### Caractéristique et utilisation :

Ce sont des pompes caractérisées par des débits allant jusqu'à  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  et des pressions au refoulement de 4 à 8 bars. Elles conviennent aux liquides peu visqueux.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Pas de brassage, ni d'émulsification du liquide pompé.</li><li>- Débit régulier.</li><li>- Marche réversible de la pompe.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Usure du corps par frottement des palettes.</li></ul>

b) Pompes à palettes à cylindrée variable (autorégulatrice) :



**Caractéristiques d'une pompe à palettes à cylindrée variable :**

- ❖ Cylindrée : 100 cm<sup>3</sup>/tour maxi
- ❖ Pression de service : 160 bars maxi
- ❖ Auto-aspirante
- ❖ Pompe double ou triple
- ❖ Régulation optimale du débit
- ❖ Faible bruit de fonctionnement et de
- ❖ Construction simple
- ❖ Nécessite une filtration efficace
- ❖ Rendement de 0,9 avec rotor équilibré

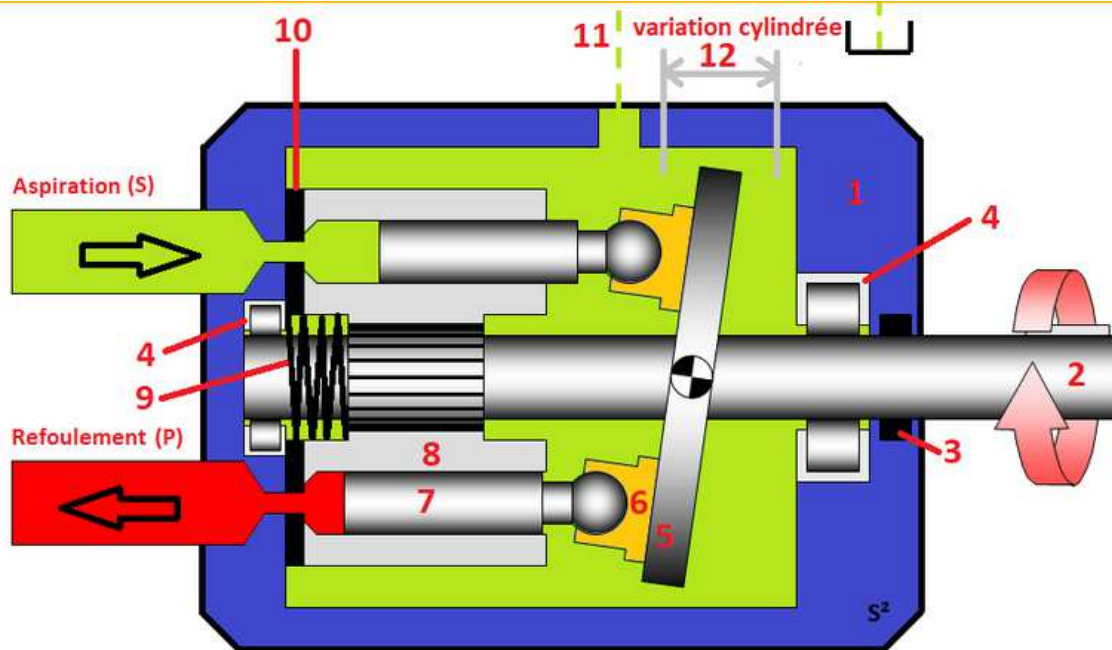
**3) Les pompes volumétriques alternatives :**

Tous les types de pompes à pistons reposent sur le même principe de fonctionnement mouvement alternatif des pistons dans un alésage doté de deux orifices destinés à l'aspiration et au refoulement. Selon la disposition des axes des pistons, plusieurs configurations de pompes peuvent exister :

a) Les pompes à piston :

**Fonctionnement :**

Son principe est d'utiliser les variations de volume occasionné par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé : il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe. Une membrane est parfois liée au piston.



**Caractéristiques et utilisation :**

Elles ne conviennent que pour des débits moyens de l'ordre de  $80 \text{ m}^3 / \text{h}$ . L'intérêt des membranes est l'utilisation avec des produits chimiques corrosifs, abrasifs ou acides. La pression au refoulement peut aller jusqu'à 25 bars.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fonctionnement à sec sans dommage.</li> <li>- Bon rendement (&gt; 90%).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit limité.</li> <li>- Viscosité assez faible.</li> <li>- Pompage de particules solides impossible : La pompe ne fonctionne bien que si l'étanchéité est parfaite entre le cylindre et le piston.</li> </ul>

- Il existe des pulsations importantes au refoulement : on peut remédier à ceci en utilisant des dispositifs de pots antibéliers.

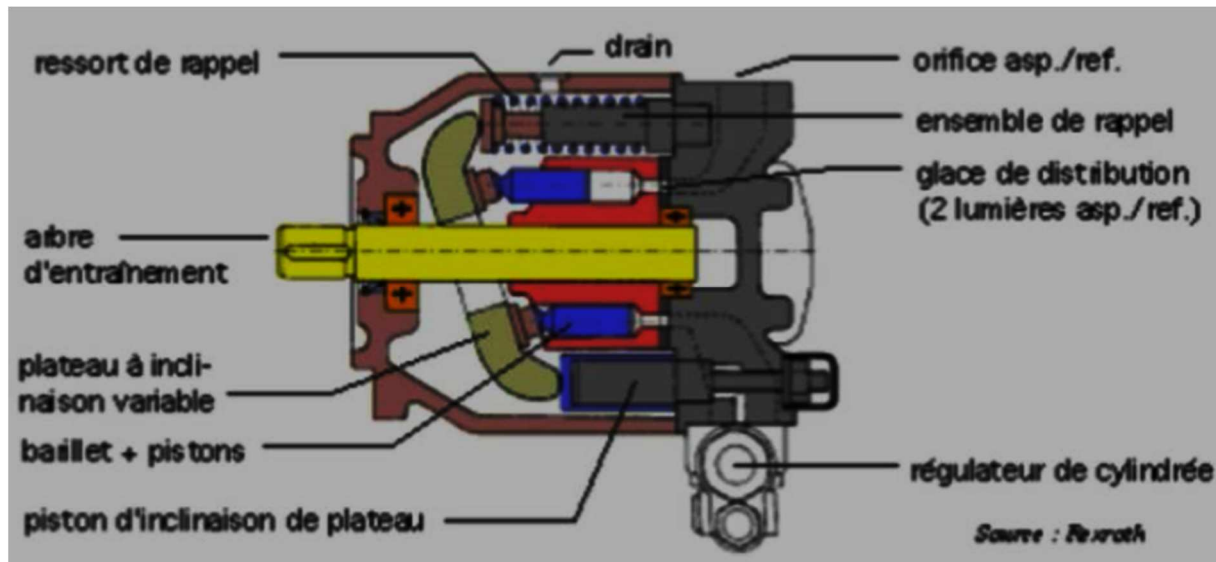
b) Pompe à pistons en ligne

- C'est une pompe à cylindrée fixe.
- Son rendement peut atteindre les 97 %.
- Les pressions de service peuvent être supérieures à 500 bars.
- Elle est de construction simple.

c) Pompe à pistons axiaux :

**Fonctionnement :**

Au moment où le plateau pivote, il pousse les pistons en décrivant une course en forme de cône. Les pistons y pénètrent en aspirant le liquide pour ensuite l'expulser vers l'utilisation. Les axes des pistons sont parallèles entre eux et l'axe principal de la pompe. Les bielles sont en liaisons rotules avec le plateau incliné d'un angle  $\alpha$  (fixe ou variable) qui est à l'origine des mouvements alternatifs des pistons.



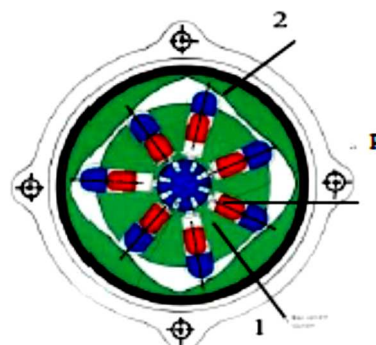
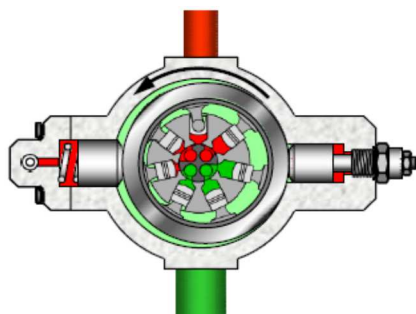
**Caractéristiques des pompes à pistons axiaux:**

- Cylindrée : 500 cm<sup>3</sup>/tour maxi
- Pression de service : 350 bars maxi
- Rendement de 0,9 et durée de vie tr
- Faible inertie des pièces en mouvement
- Le débit est plus stable (moins de pulsation)
- Nécessite une filtration efficace (de 10 à 20  $\mu$ ) car le jeu interne est très faible
- Peut être utilisé en moteur hydraulique.

d) Pompes à pistons radiaux :

**Description :**

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



Cylindrée variable

Cylindrée fixe

### Caractéristiques d'une pompe à pistons radiaux

- Cylindrée : 250 cm<sup>3</sup>/tour maxi
- Pression de service : 350 bars maxi
- Rendement de 0,90 et durée de vie très importante
- Nécessite une filtration efficace (de 10 à 20 μ) car le jeu interne est très faible
- Peut être utilisé en moteur hydraulique
- Prix élevé.

### 3- Les récepteurs hydrauliques

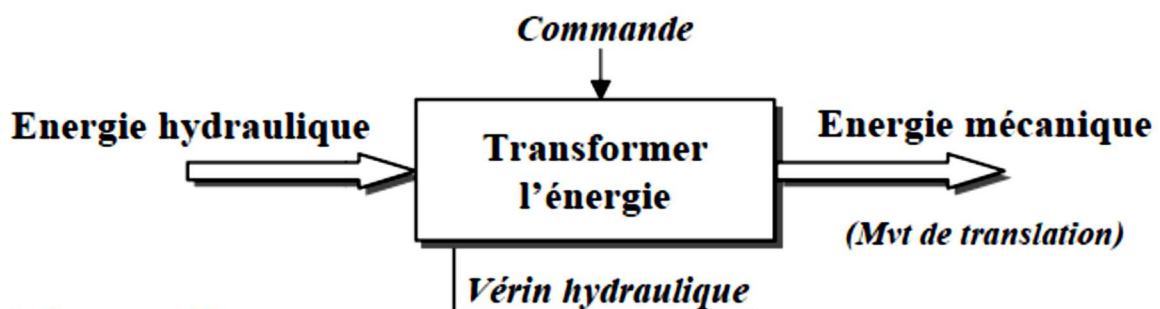
#### Introduction :

Les récepteurs hydrauliques transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique. On distingue :

#### 3.1. Pour mouvement de translation (vérins)

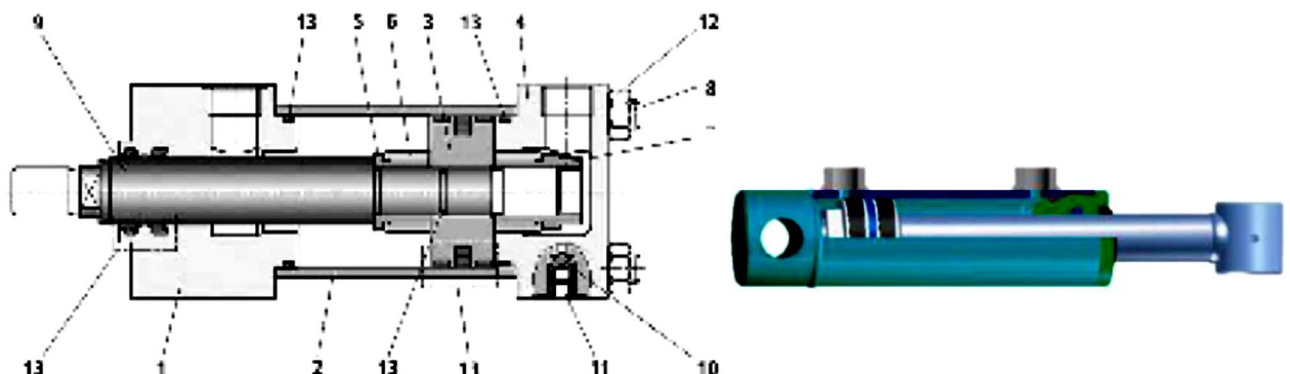
a) Définition :

Un vérin est l'élément récepteur de l'énergie dans un circuit hydraulique. Il permet de développer un effort très important avec une vitesse très précise.



b) Composition :

La figure ci-dessous montre un modèle de vérin à double effet.



#### Légende :

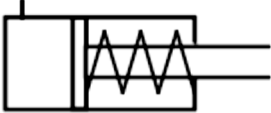
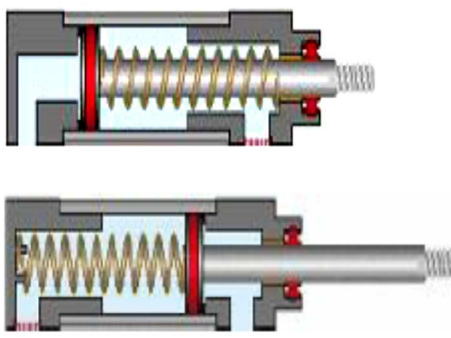
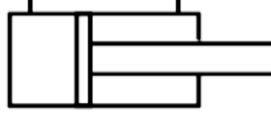
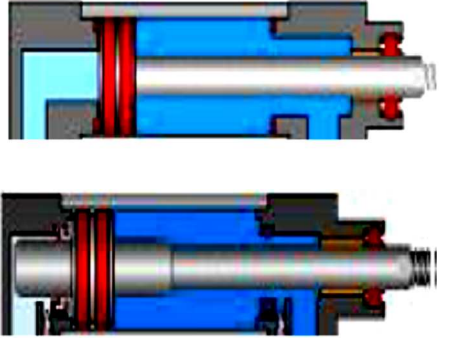
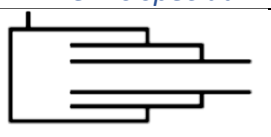
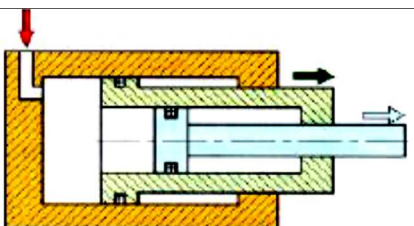

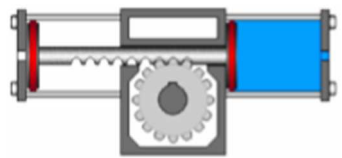
- |         |                           |                       |
|---------|---------------------------|-----------------------|
| 1/Tête  | 5/Chemise d'adaptation    | 9/Tige de piston      |
| 2/Corps | 6/Chemise d'amortissement | 10/Vis de purge d'air |

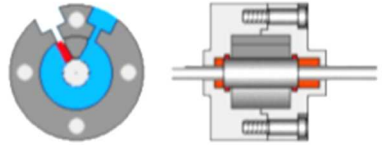
3/Piston  
4/Fond

7/Ecrou de piston  
8/Tirant

11/Capuchon de sécurité  
12/Ecrou de Tirant

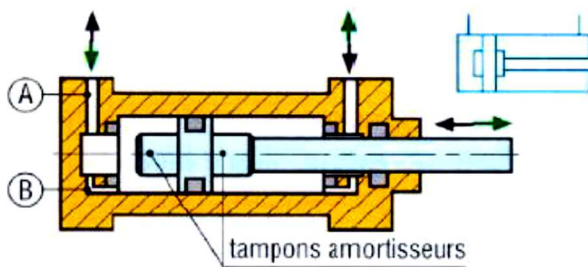
Le jeu de joint 13 comprenant : Joint raqueur, Joint de la tige, Joint de Torique, Bague d'appui, Bague de guidage).

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

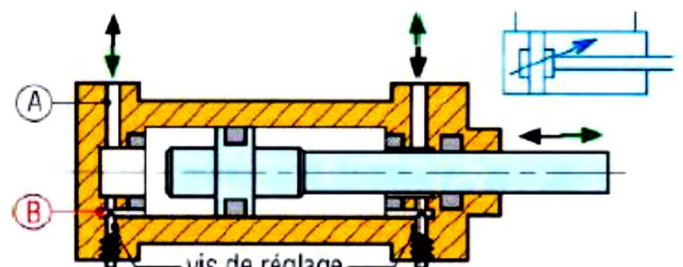
<p>rampe hélicoïdale réalisée sur la vis.</p> <p><b>A palette</b> : un certain nombre de palettes sont mis en mouvement grâce à la poussée d'huile provenant de l'orifice d'admission l'autre orifice est mis à la bâche. Les fuites internes augmentent avec la pression de service.</p>	
---	--

**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, au lieu de l'orifice **A**. La réduction du débit provoque une surpression créant l'amortissement.



Vérin double effet à amortissement non réglable

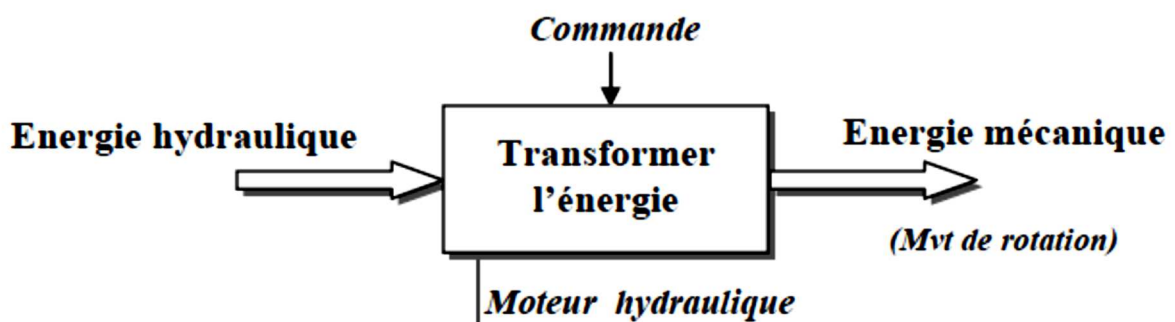


Vérin double effet à amortissement réglable

**3.2. Pour mouvement de rotation (Les moteurs hydrauliques)**

a) Définition :

Dans ce type d'actionneur, l'énergie hydraulique fournie par un fluide sous pression est transformée en énergie mécanique. Il en résulte un mouvement de rotation de l'arbre de sortie.

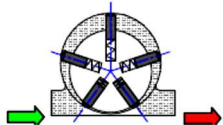

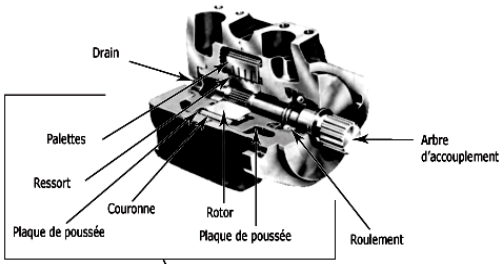
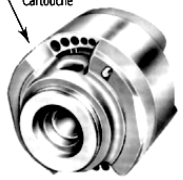



- Les moteurs hydrauliques présentent deux caractéristiques : *le couple moteur et la vitesse de rotation.*

b) Principaux types de moteurs hydrauliques :

- Les moteurs sont classés en deux familles :

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

<i>Moteur à palette</i>	
<p>-L'huile sous pression provoque la rotation des palettes implantées sur le rotor.</p> <p>-<b>Avantages</b> : réalisation simple.</p> <p>-<b>Inconvénients</b> : puissance transmise relativement faible.</p> <p><b><math>Cyl = 2.b.n.e.D.sin(\pi/n)</math></b></p> <p>b : largeur de la palette. </p> <p>n : nombre de palette.</p> <p>e : excentricité. </p>	 
<i>Moteur à engrenage</i>	

<p>–Même conception que la pompe à engrenage, la pression du fluide entraine en rotation les roues dans l'une est motrice.</p> <p>–<b>Avantages</b> : encombrement très réduit et économique.</p> <p>–<b>Inconvénient</b> : rendement limité.</p> <p>–Le débit moyen à engrenages extérieurs est donné par la relation suivante :</p> $Q_{V_{moy}} = b \cdot \omega \cdot m^2 \cdot Z \quad [m^3/s]$ <p>b : largeur de la dent. m : module. Z : Nombre de dents.</p>	
<p><i>Moteur à piston radiaux</i></p>	
<p>–Contrairement aux pompes à piston radiaux, les pistons peuvent tourner sur une came (stator) permettant d'avoir plusieurs courses par tour. Le nombre des pistons est impair pour la continuité de débit et l'équilibrage. Possibilité d'avoir une distribution cylindrique ou plane du fluide.</p> <p>–<b>Avantage</b> : Couple très important.</p> <p>–<b>Inconvénients</b> : vitesse faible, encombrante, couteuse, problèmes d'étanchéité pour la distribution.</p> $Cyl = n \cdot n' \cdot c \cdot s.$ <p>Cyl : Cylindrée. n : nombre de piston. n' : nombre de course par piston. c : course.</p>	

**Schéma**

**Moteur à piston axial**

–Les pistons en communication avec la haute pression se déplacent en tournant et par une liaison rotule avec le tourillon obligent ce dernier à tourner.

–**Avantages** : Couple très important, possibilité de varier la cylindrée, vitesse importante.

–**Inconvénient** : couteux.

**$Cyl. = 2r.tan\alpha.n.s$**

Cyl : cylindrée.  
r : entraxe.  
n : nombre des pistons.

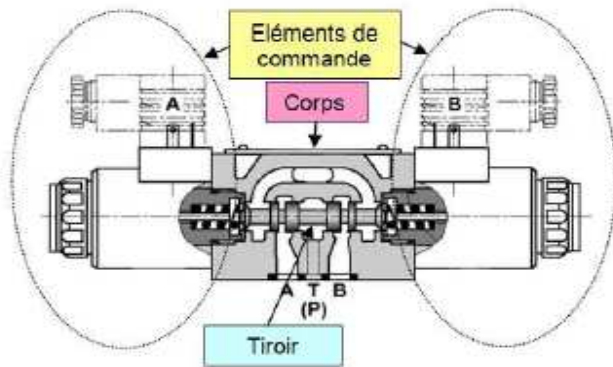
**4. Les éléments de liaisons : Les distributeurs**

a) Fonction :

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

b) Constitution :

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



c) Fonctionnement :

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

d) Caractéristique :

Un distributeur est caractérisé par le nombre d'orifices, le nombre de positions, la nature de la commande, le débit et la pression maximale admissible.

Un distributeur peut être à commande manuelle, mécanique, électrique (électromagnétique) ou hydraulique.

e) Symbolisation :

La symbolisation se réalise en 2 étapes :

- Construction du symbole de base (nombres d'orifices, nombres de positions).
- Représentation du type de commande.

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

Manuelle	A levier	Par galet	A pédale	Electrique
Crantés	Rappel par ressort	Commandé par moteur électrique	Pilotage direct hydraulique	Pilotage électro-hydraulique (étage pilote)

**Schéma des différentes commandes :**

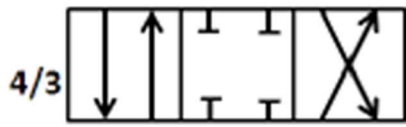
La majorité des distributeurs hydrauliques sont à 2 ou 3 positions.

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

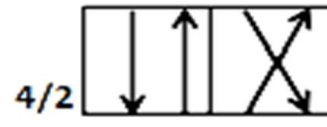
Nombre d'orifices, nombre de positions, type de centre (si 3 positions), type de commande, type de rappel ou de maintien.

Il peut y avoir plusieurs symboles sur une même représentation.

Exemples :



Distributeur 4/3 à commande hydraulique



Distributeur 4/2 à commande hydraulique

## 5. Les accumulateurs

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 (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.

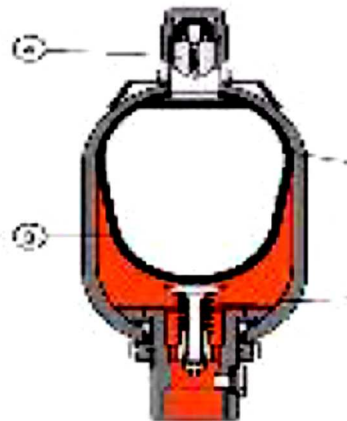
### 5.1. Principe :

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.

#### Accumulateur a vessie

##### Constitution :

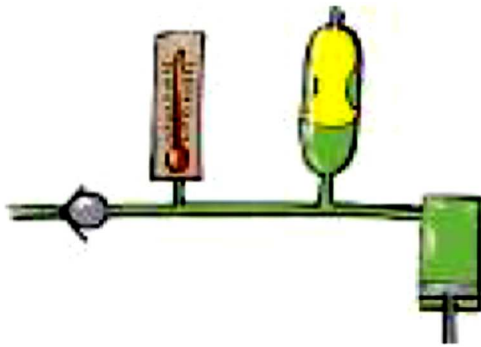
1. Corps.
2. Soupape d'huile.
3. Vessie.
4. Valve de gonflage.



### 5.2. Les Différentes Fonction D'un Accumulateur :

#### 5.2.1. Dilatation thermique :

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



### 5.2.2. 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.

### 5.2.3. 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.



### 5.2.4. 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.



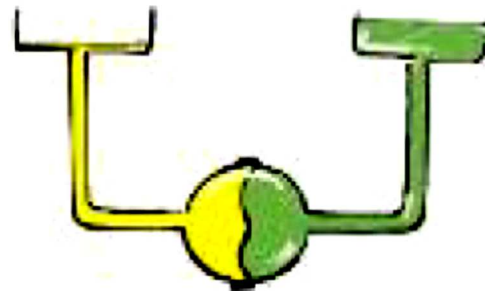
### 5.2.5. Compensation de fuites :

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.



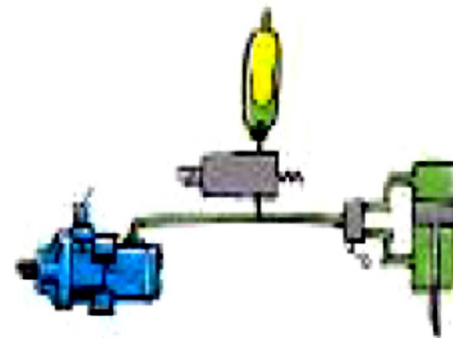
#### 5.2.6. Transfert :

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



#### 5.2.7. 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.



## 6. Les appareils de régulation et de protection

### 6.1. Régulation de pression

#### 6.1.1. Fonction :

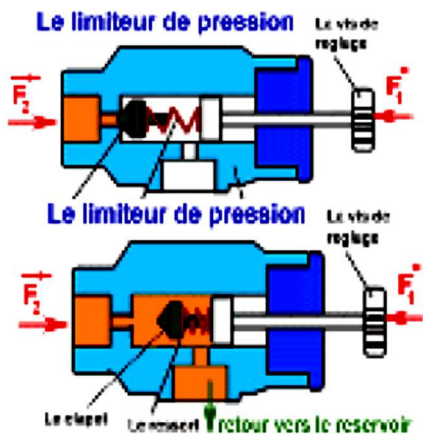
Réduire la pression du réseau principal et la maintenir constante dans une partie du circuit. La nécessité de limiter la pression maximale du fluide hydraulique, afin de protéger les différents éléments (pompe, actionneurs, etc.) constituant le circuit, est évidente.

#### 6.1.2. Le limiteur de pression : (soupape de sûreté)

Décrit précédemment, est monté en dérivation avec le circuit et relié au réservoir.



Au départ, le clapet conique est en appui sur son siège grâce à une force  $F$  d'appui. La force  $F$  est réglée par le ressort de pression et la vis de réglage. Au moment où la force  $F_2$  dépasse progressivement la force  $F_1$ , le clapet recule de son siège, libérant et autorisant le retour de fluide sans pression au réservoir.



### 6.1.3. Mise en situation :

Pour mieux comprendre le fonctionnement du limiteur de pression, on a par exemple un camion benne qui utilise le système hydraulique pour le déchargement.

Un moteur thermique entraîne une pompe qui débite le fluide hydraulique sous une pression donnée dans un vérin. Ce fluide fait sortir la tige du vérin (levage de la benne) ou la fait rentrer (descente de la benne).

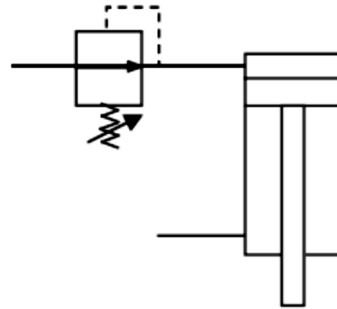


Pour décharger complètement, la benne sera immobilisée obligatoirement pendant un bon bout de temps en position haute (la tige du vérin est complètement sortie). Pourtant à ce moment, la pompe continue de débiter le fluide qui n'a plus d'issue, d'où une montée rapide de la pression, et si rien n'est fait, les canalisations du fluide et les composants du système vont se rompre, ce qui est dangereux pour l'homme et le matériel (projection de l'huile chaude et de débris).

Et c'est pour remédier à cette situation de fonctionnement (inévitable car la benne doit toujours s'immobiliser en position haute pour son déchargement), que la présence du limiteur de pression a son importance.

### 6.1.4. Le réducteur de pression à action direct :

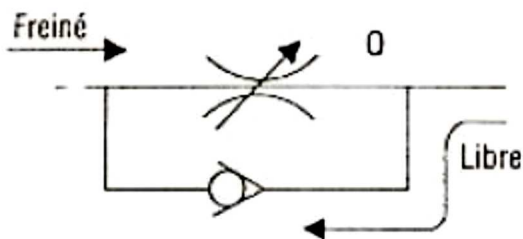
Il est normalement ouvert au repos et lorsque la pression en aval dépasse la valeur de tarage, elle coupe la communication entre l'entrée et la sortie



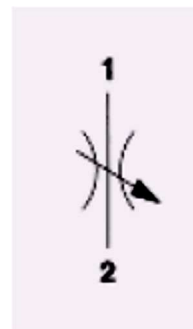
## 6.2. Le contrôle de débit : (limiteur de débit, régulateur de débit)

Le rôle de ce composant est de faire varier la section dans laquelle le fluide circule.

### 6.2.1. limiteur de débit :



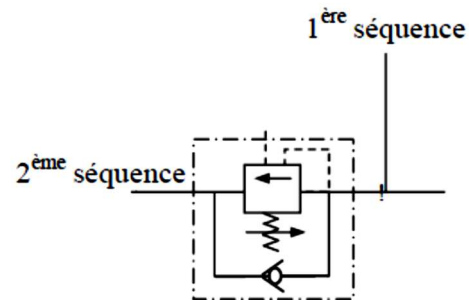
Unidirectionnel



Bidirectionnel

### 6.2.2. La valve de séquence :

Elle permet d'alimenter un circuit secondaire lorsqu'une certaine pression est atteinte dans le circuit primaire.



### 6.2.3. La valve d'équilibre :

Son rôle est de maintenir en position un récepteur hydraulique (vérin ou moteur). Elle peut être envisagée avec deux pilotages.

