

# Les pompes hydrauliques.

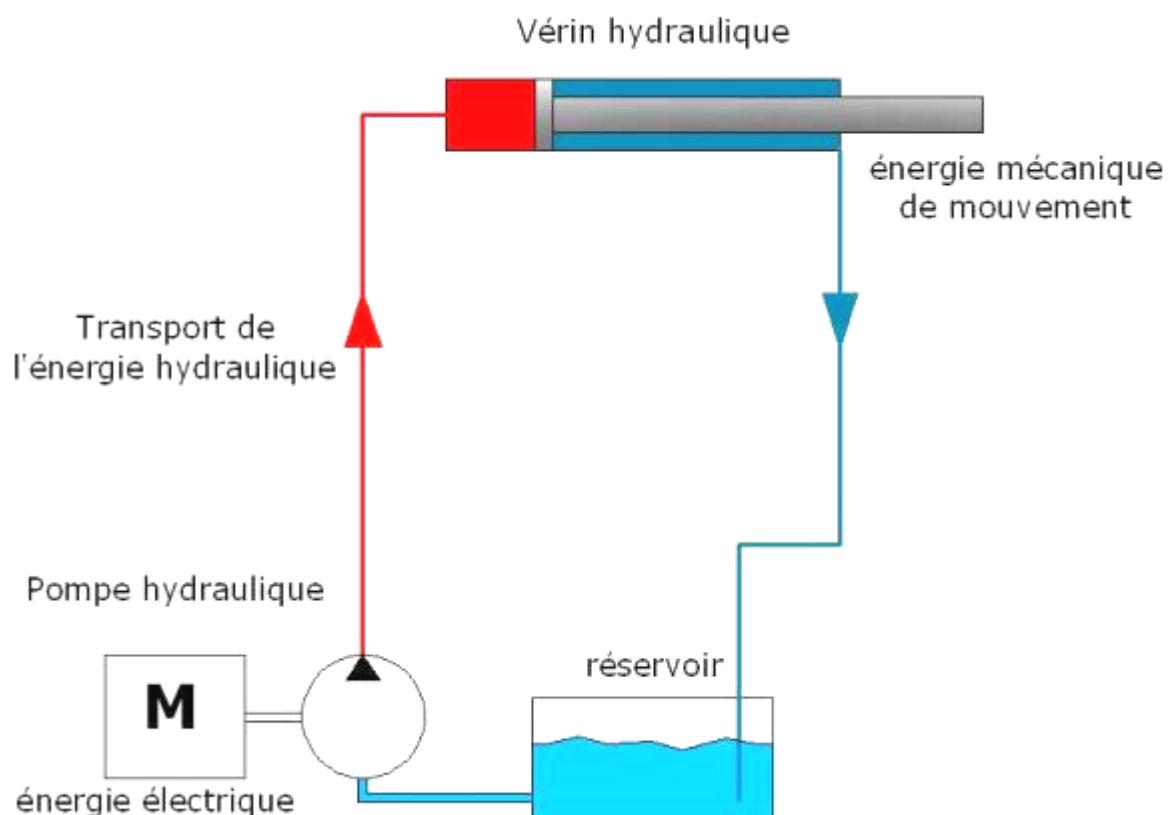
---

## Définition.

Les pompes oléo hydrauliques sont des générateurs de puissance, elles transforment l'énergie qui les alimente en énergie hydrostatique.

L'orifice d'aspiration est raccordé à un réservoir approprié d'où elles puisent le fluide.

L'orifice de refoulement est raccordé au circuit. Il alimente un réseau de canalisation qui achemine le fluide aux organes de distributions, ceux-ci à leur tour dirigent l'énergie ainsi véhiculée vers les organes récepteurs qui convertissent à nouveau l'énergie hydraulique en énergie mécanique de mouvement.



# Les pompes hydrauliques.

---

## ***Variantes de construction des pompes volumétriques :***

Il existe de nombreuses variétés de pompes capables de transformer l'énergie d'entraînement (thermique, électrique, éolienne) en énergie hydrostatique.

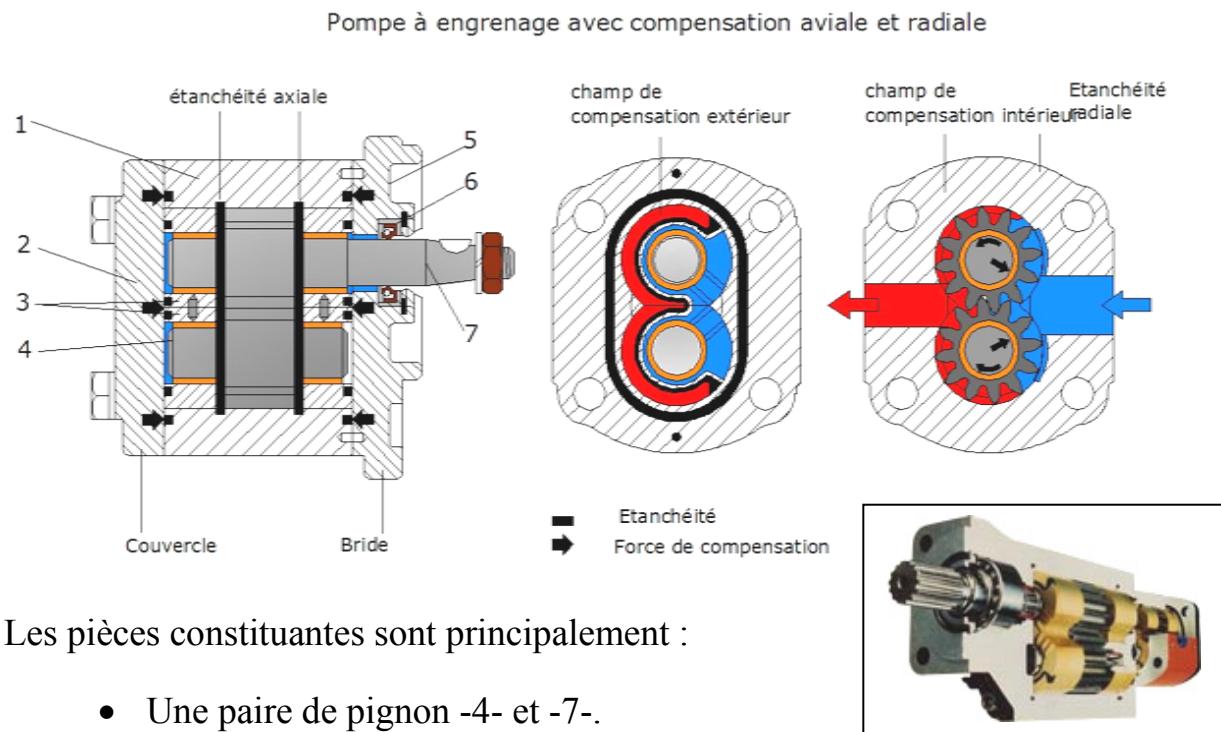
Chacun de ces principes de pompes présente des performances et des avantages particuliers. Ils sont à prendre en considération afin de les faire coïncider avec les performances réclamées par le circuit hydraulique.

Parmi les critères de choix on peut citer :

- Niveau de pression nominal.
- Cylindrée nécessaire constante ou variable.
- Plage de vitesse de rotation.
- Durée de vie minimum
- Niveau sonore admissible.
- Fréquence des pulsations du débit
- Encombrement disponible.
- Sensibilité à la pollution du circuit (impureté)
- Rendements.
- Sensibilité à la dépression (conditions d'aspiration)
- Compatibilité avec le fluide hydraulique utilisé.
- Prix
- Temps de réponse des régulateurs montés sur les pompes à débit variable.
- La classification des pompes dite volumétrique peut se faire par leur principe technologique :
  - Pompes à engrenages.
  - Pompes à palettes.
  - Pompes à pistons.

# Les pompes hydrauliques.

## Pompe à engrenage à denture externe :



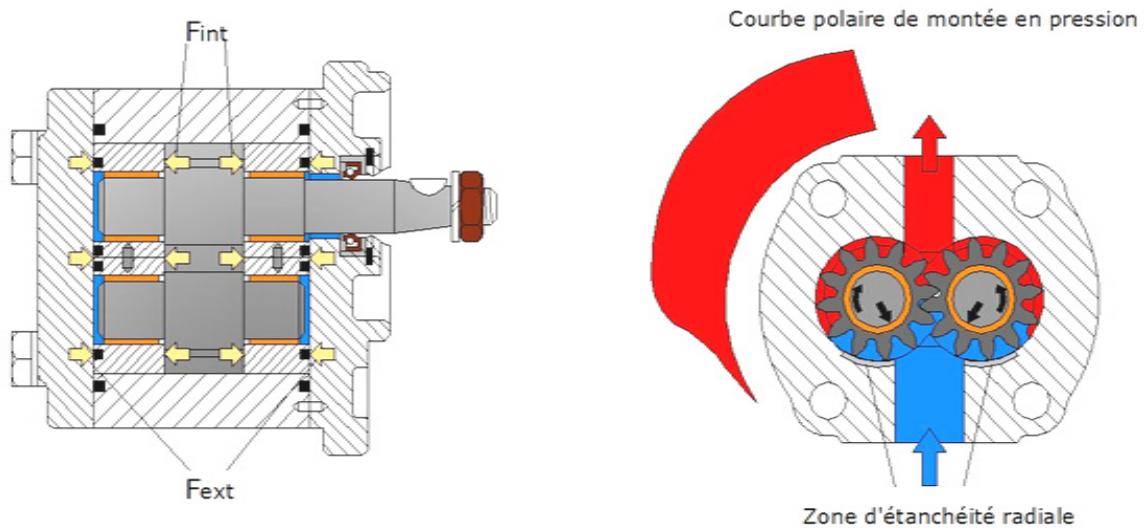
Les pièces constituantes sont principalement :

- Une paire de pignon -4- et -7-.
- D'un corps extrudé généralement en alliage léger.
- Une bride avant -5- où se loge le joint d'étanchéité -6- du pignon menant.
- D'un couvercle arrière.
- De quatre demi-lunettes -3- où sont logés les paliers.



## Etanchéités internes :

### Axiale.



## Les pompes hydrauliques.

---

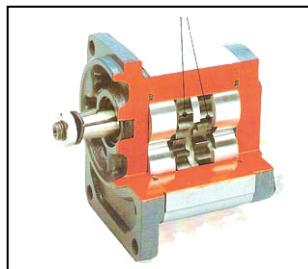
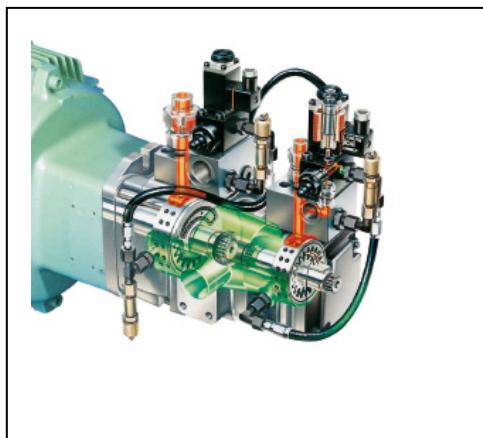
L'étanchéité entre les flancs des dentures coté refoulement est assurée par le contact de frottement de glissement des lunettes. Cette zone de contact entre les flancs des pignons et des lunettes est parfaitement définie. La pression de refoulement agit donc de part et d'autre de la lunette sur les zones de compensation délimités par des joints de forme spéciale.

Les poussées de compensation se trouvent ainsi exclusivement appliquées aux endroits où il fait équilibrer les effets de l'huile sous pression emprisonnée dans les creux de denture coté refoulement.

### Radiale.

La pression de refoulement agit également sur le diamètre de tête des pignons et plaque l'ensemble pignons/lunette coté aspiration. Les pignons se trouvent en contact avec les parois intérieures du corps de pompe et forme une zone d'étanchéité. Un cycle de rodage automatique en fin de montage des pompes met en place le jeu voulu entre les pignons et le corps. Ce jeu détermine les performances optimales de la pompe.

La pression sur le pourtour des pignons s'établit normalement avec un gradient élevé. Dans ce principe de pompe, un chanfrein judicieusement sur le diamètre extérieur des lunettes assure un rééquilibrage de cette montée en pression.



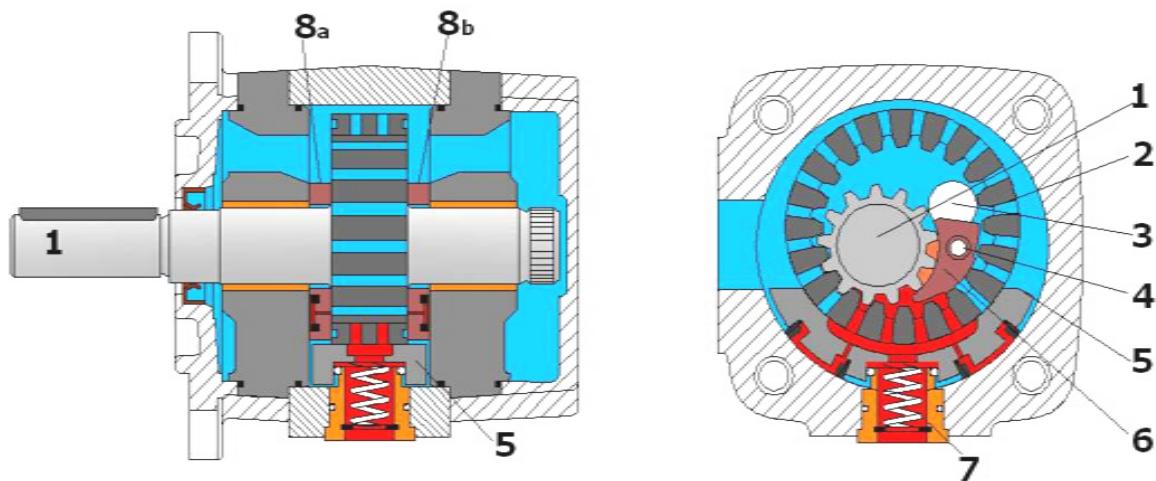
# Les pompes hydrauliques.

## ***Les pompes à engrenage intérieur compensé axialement et radialement.***

La figure représente le principe de cylindrée de cette pompe.

Elle est composée d'un pignon menant arbré -1- qui s'engrène sur la couronne -2- à denture intérieure. L'arbre menant est guidé par deux paliers lisses.

Une pièce en forme de croissant -6- guidée par son axe -4- vient s'intercaler entre la denture du pignon arbré et celle de la couronne.



### ***Principe de la cylindrée :***

Le pignon menant et la couronne tournent dans le même sens.

### **Aspiration**

Le désengrènement des dents dans la zone d'aspiration provoque une augmentation de l'espace et le remplissage de ce volume ainsi libéré.

### **Transfert**

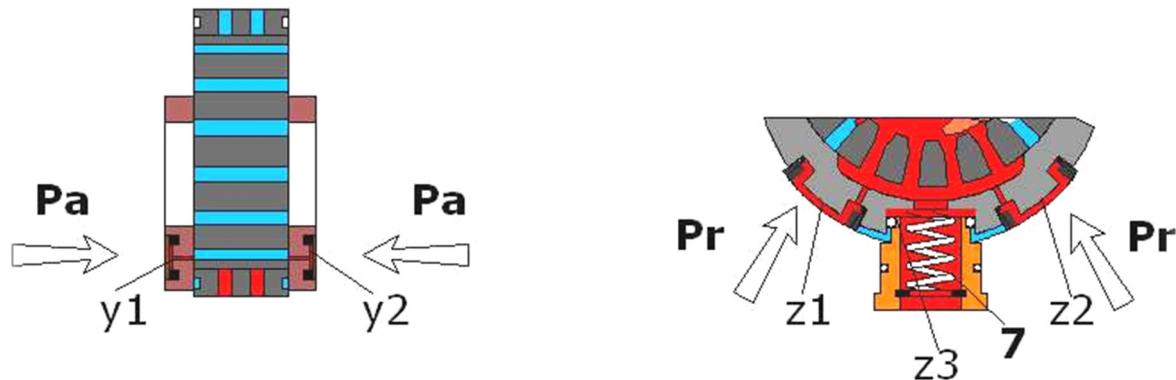
Simultanément les creux des dents remplis d'huile isolée par le croissant -6- sont acheminés dans la zone de refoulement.

### **Refoulement**

L'engrènement des dents dans la zone de refoulement provoque une réduction de l'espace, le fluide incompressible est chassé par les orifices exécutés dans le fond de denture de la couronne.

# Les pompes hydrauliques.

## *Principe de la compensation :*



Cette pompe est munie d'un système de compensation axial et radial permettant d'accroître les performances de l'appareil. Les pressions de fonctionnement avoisinent les 300bar en continu et 330bar en pointe selon la taille de la pompe.

### *Compensation radiale des jeux :*

Les trois lames -z1-, -z2- et -z3- exécuté dans le patin -5- communiquent avec la pression de refoulement. Leur surface d'action est calculée de manière à assurer et équilibrer le contact constant des quatre pièces d'étanchéité de la zone de refoulement.

- Contact entre denture du pignon -1- et croissant -6-.
- Contact entre denture de la couronne -2- et croissant -9-.
- Contact entre périphérie de la couronne -2- et patin -5-.

Les fuites et l'usure sont ainsi limitées.

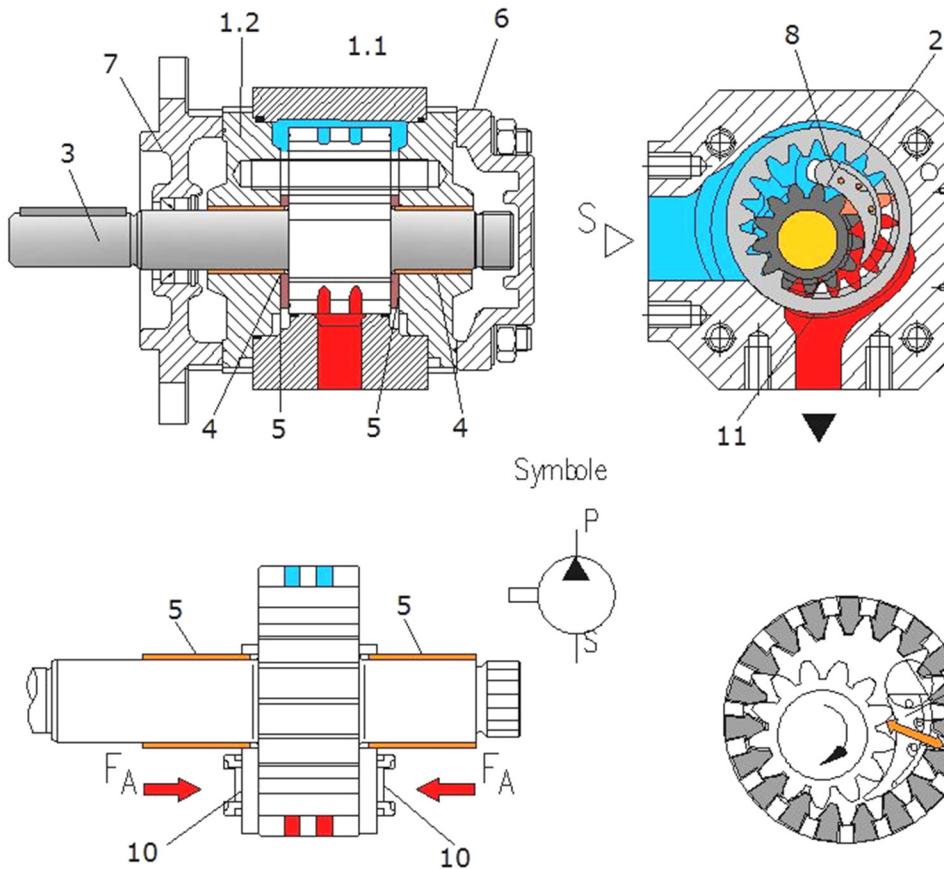
### *Compensation axiale des jeux :*

Le lamage usiné dans chaque petite plaquette -8a- et -8b- est équipé d'un joint d'étanchéité délimitant une zone -y1- et -y2- qui communique avec la pression de refoulement. Cette surface sous pression engendre une force -Pa- plaque judicieusement les joues des plaquettes contre les flancs des pignons dans la zone de refoulement.

Cette conception garantit le rattrapage des jeux axial et l'équilibrage des efforts sur les pièces en mouvement.

# Les pompes hydrauliques.

Document technique origine Rexroth. Rexroth



## Structure

Les pompes hydrauliques de type PGF sont des pompes à engrenage à denture interne à jeux compensés et cylindrée fixe.

Elles se composent essentiellement du corps (1), du chapeau de palier (1.1), de la couronne à denture interne (2), de l'arbre à pignon (3), des paliers lisses (4), des disques axiaux (5), de la tige de butée (6), ainsi que de pièce intercalaire (7), qui est composée du segment (7.1), du support de segment (7.2) et des rouleaux d'étanchéité (7.3).

## Processus d'aspiration et de refoulement

L'arbre à pignon (3) sur palier hydrodynamique entraîne la couronne à denture interne (2), dans le sens de rotation indiquée. Le mouvement de rotation engendre sur un angle d'environ  $90^\circ$  une augmentation de volume dans le secteur de l'aspiration, ce qui a pour effet de créer une dépression faisant entrer du fluide dans les chambres. La pièce intercalaire (7) en forme de croissant sépare les chambres d'aspiration et de refoulement. Dans cette dernière, les dents de l'arbre à pignon (3) s'engrènent à nouveau dans les entre-dents de la couronne à denture interne (2), ce qui a pour effet de refouler du fluide par le conduit de refoulement (P).

# Les pompes hydrauliques.

## **Compensation axiale**

La force axiale de compensation *FA*, générée par l'effet latéral (8) de la pression de refoulement sur les disques axiaux (5), agit dans le secteur de la chambre de refoulement.

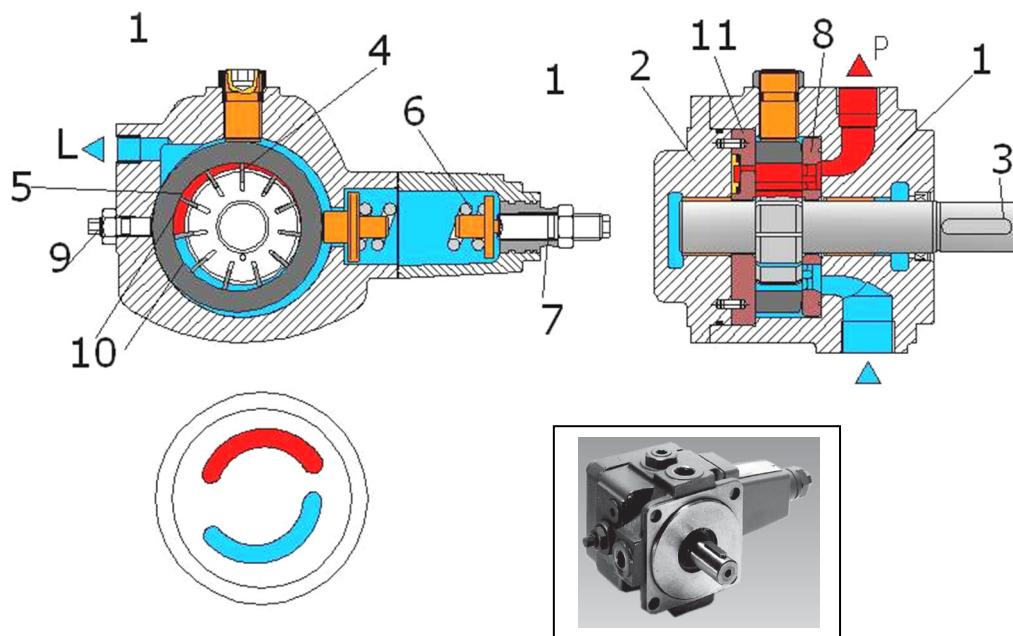
## **Compensation radiale.**

La force de compensation radiale *-FR-* agit sur le segment (7.1) et le support de segment (7.2). Les rapports de surface et la position des rouleaux d'étanchéité (7.3) entre segment et support de segment sont conçus. De façon à assurer un étanchement pratiquement parfait entre couronne à denture interne (2), pièce intercalaire (7) et arbre à pignon (3). Les éléments élastiques sous les rouleaux d'étanchéité (7.3) assurent un appui suffisant, même aux faibles pressions. Paliers hydrodynamiques et hydrostatiques Les forces agissant sur l'arbre à pignon (3) sont absorbées par des paliers lisses (4) à charge radiale et graissage hydrodynamique, et les forces agissant sur la couronne à denture interne (2), par le palier hydrostatique (11).

## **Denture.**

La denture est une denture à développante. Sa grande longueur d'engrènement se traduit par de faibles pulsations de débit et de pression, ce qui contribue également au fonctionnement silencieux. Le jeu longitudinal axial entre les éléments rotatifs et fixes, est ainsi considérablement réduit, ce qui assure un étanchement axial optimal de la chambre de refoulement.

## **Pompe à palettes :**



## **Document technique origine Rexroth.**

Les pompes hydrauliques à palettes à action directe et cylindrée variable se composent essentiellement du corps de pompe -1-, du couvercle -2-, du rotor -3-, des palettes -4-, de la bague statorique -5-, du ressort de compression -6-, de la vis de réglage -7- et de la glace de

# Les pompes hydrauliques.

distribution -8-. Pour limiter le débit maximal, la pompe est équipée d'une vis de réglage -9-. Le rotor -3- tourne à l'intérieur de la bague statorique -5-. Les palettes -4-, entraînées par le rotor -3-, viennent s'appliquer par la force centrifuge sur la surface interne de glissement de la bague statorique -5-.

## **Processus d'aspiration et de refoulement**

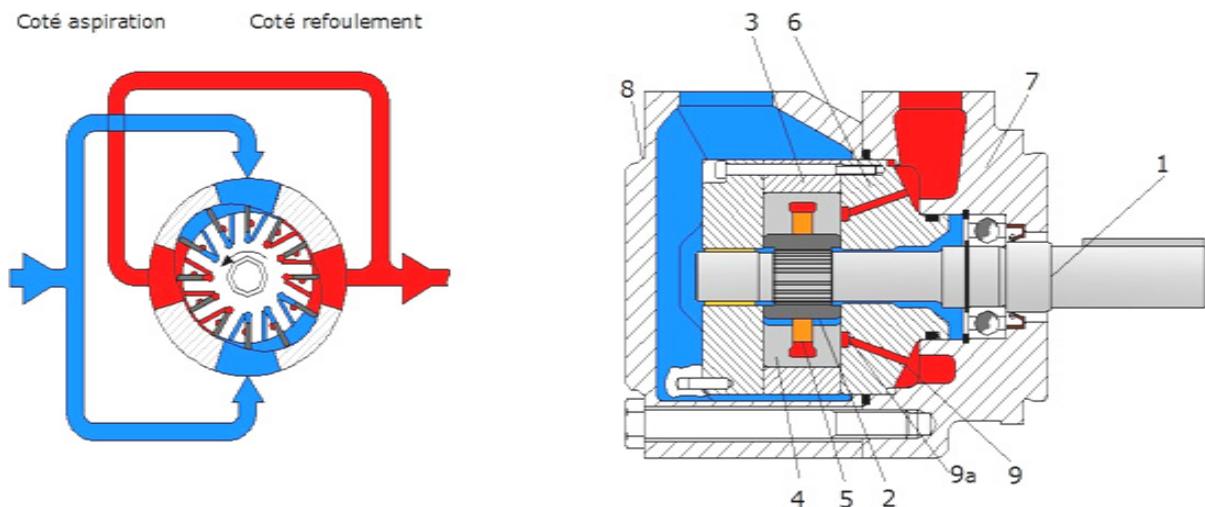
Les palettes -4-, le rotor -3-, la bague statorique -5-, la glace de distribution -8- et le couvercle -2- forment les cellules -10-, requises pour le transport du liquide. En raison de la rotation du rotor -3-, le volume des cellules -10- devient de plus en plus grand, ce qui a pour effet de les remplir de fluide à partir du conduit d'aspiration -S-. Une fois le volume de cellule maximal atteint, les cellules -10- sont séparés de l'aspiration. Le rotor -3- continuant à tourner, elles sont mises en liaison avec le refoulement, et en diminuant de volume, refoulent le fluide par le conduit de refoulement -P- dans le système hydraulique.

## **Régulation de la pression**

Le ressort -6- maintient la bague statorique -5- dans sa position initiale excentrée. Le réglage de la pression de service maximale requise dans le système se fait à la vis de réglage -7- par l'intermédiaire du ressort -6-. La pression qui s'établit sous l'effet antagoniste agit côté refoulement sur la face interne de glissement de la bague statorique -5- à l'encontre de la force du ressort -6-. Une fois la pression correspondant à la force de réglage du ressort atteinte, la bague statorique -5- se déplace de sa position excentrée en direction de la position neutre. Le débit se règle alors à la valeur du débit prélevé à ce moment-là. Une fois la pression maximale atteinte, comme réglée au ressort -6- la pompe annule pratiquement le débit. La pression de service est maintenue, seul le débit de fuite étant remplacée, ce qui a pour effet de maintenir la puissance dissipée et le réchauffement du fluide à de faibles valeurs.

## **Pompe à palettes équilibrées :**

Les zones de refoulement sont sur le même axe afin d'équilibrer les forces radiales.



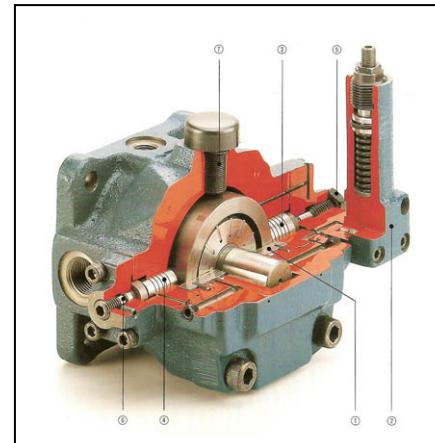
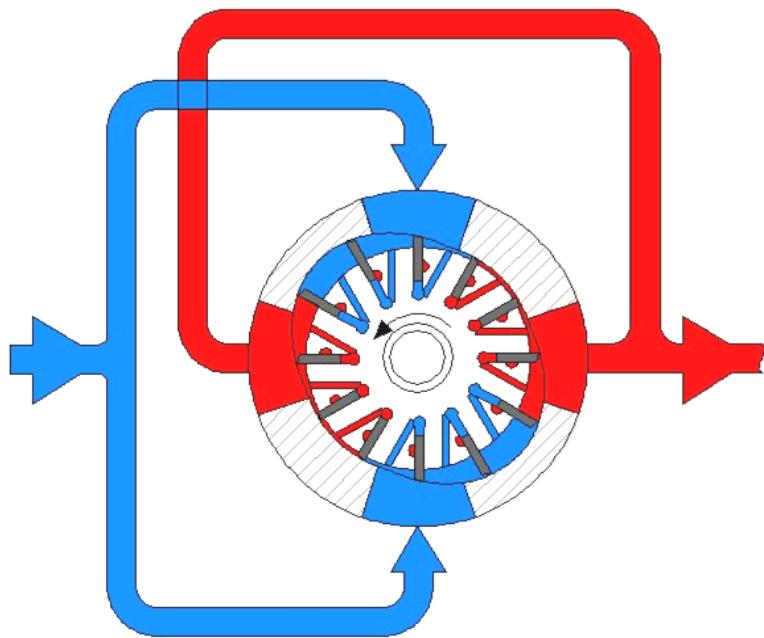
Le principe est constitué d'une grande palette -4- munie d'une ouverture à sa base dans laquelle coulisse une petite palette -5-.

# Les pompes hydrauliques.

L'objectif étant d'adapter la force de contact de l'extrémité de la grande palette contre l'anneau came en fonction du cycle aspiration refoulement.

Coté aspiration

Coté refoulement



Pour cela la pression de refoulement de pompe est amenée par les perçages -9- rainure circulaire -9a- et les demi trou -10- dans la zone évidée entre la grande et la petite palette. Une force plaque la palette -4- sur l'anneau statorique.

D'autre part des perçages radiaux sont réalisés à la périphérie du rotor -2- qui débouchent au pied des grandes palettes. Ils alimentent la face inférieure de la palette -4- réduite par la petite palette sous la pression qui règne à un instant donné.

Lorsque la cellule est dans la zone de pompage la pression est nulle et la palette -4- est maintenu plaque contre l'anneau statorique par l'action de la petite palette -5-.

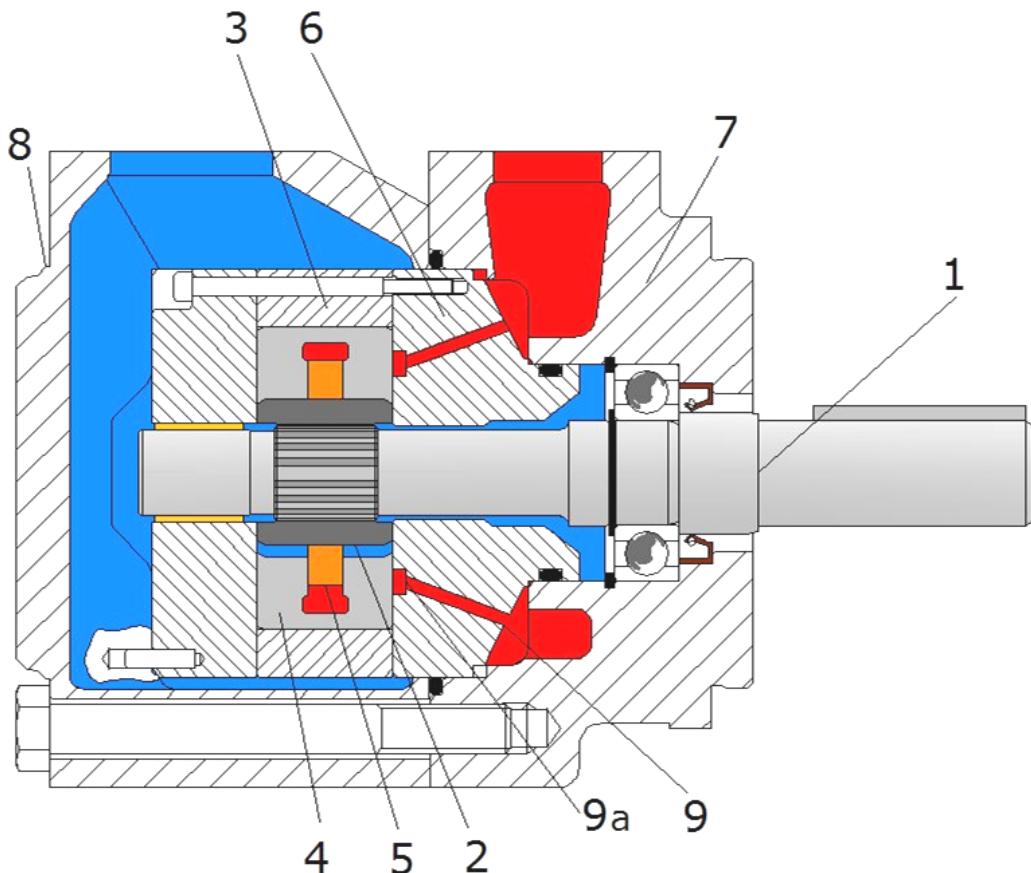
Lorsque la cellule de pompage est en refoulement la poussée est maximale.

La poussée de la palette contre l'anneau est parfaitement adapté en fonction du cycle de pompage. Le rendement volumétrique de l'appareil s'en trouve amélioré et l'usure des pièces en mouvement diminuée.

# Les pompes hydrauliques.

---

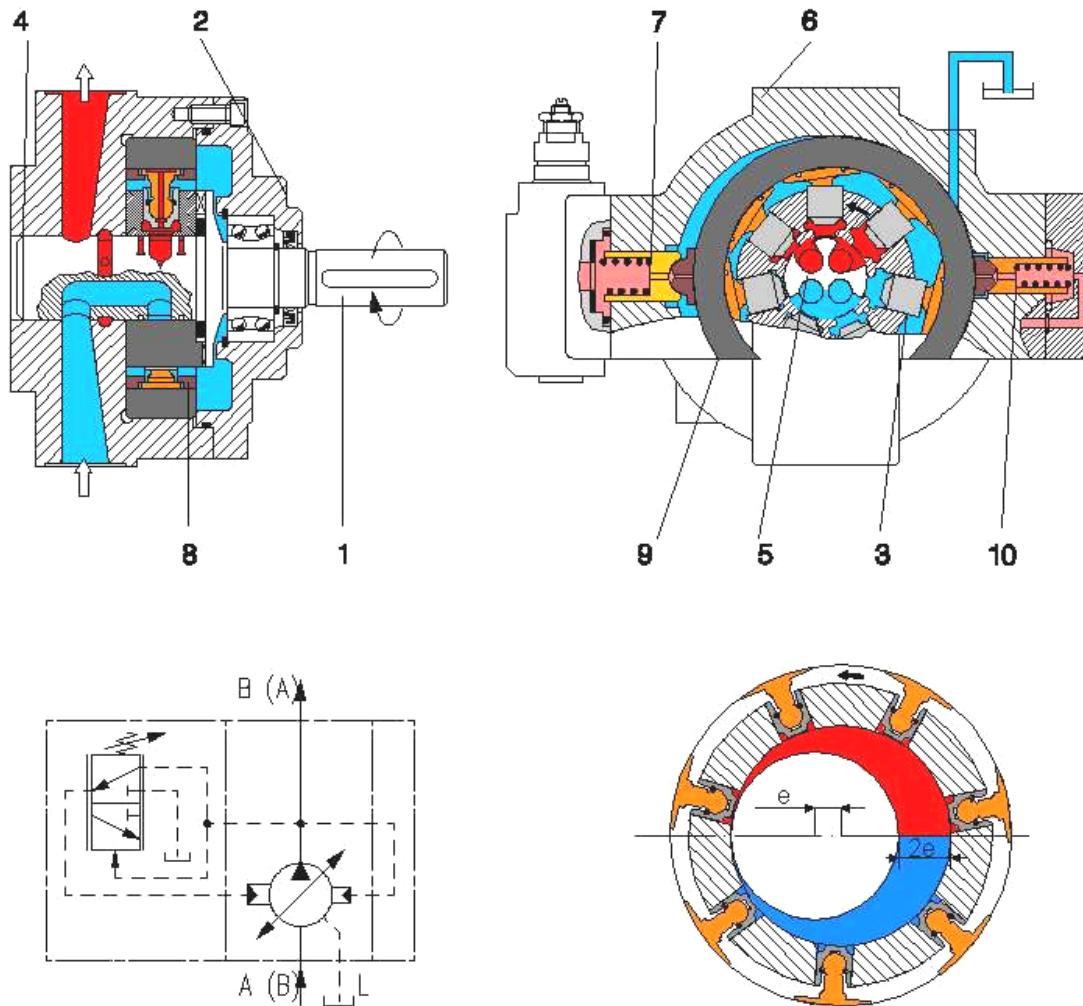
*Vue en coupe :*



1. Arbre d'entraînement.
2. Rotor.
3. Anneau statorique.
4. Grande palette.
5. Petite palette.
6. Embase avant.
7. Flasque de fixation.
8. Couvercle arrière.
9. Canal d'alimentation des petites palettes.

# Les pompes hydrauliques.

## Pompe à piston radiaux série RKP : **BOSCH**



### Origine Bosch/Moog.

Les pistons de cette pompe sont disposés en étoile et débloquent vers le centre sur le pivot de distribution -5-. Les patins des pistons équilibrés hydro statiquement prennent appui sur une bague de commande de la cylindrée -9-.

La variation de la cylindrée s'obtient par excentration de la bague -9- qui porte les patins des pistons. Son déplacement est obtenu au moyen des deux pistons de commande -7- et -10-.

Le couple entraînement est transmis sans contrainte transversale de l'arbre entraînement -1- au bâillet des pistons -8- par l'intermédiaire d'un accouplement à tenons.

# Les pompes hydrauliques.

---

Le bâillet **-8-** tourne autour d'un pivot central de distribution **-5-**.

Les deux anneaux de guidage maintiennent les patins des pistons sur la piste de glissement de la bague de réglage de la cylindrée **-9-**. La force centrifuge et la pression d'huile générée par les pistons plaquent les patins sur la bague de cylindrée.

Au regard du schéma ci-dessus la course des pistons est égale au double de l'excentration. Le débit ainsi refoulé sera donc proportionnel à l'excentration de la bague de réglage **-9-**.

## ***Commande hydraulique de la bague de cylindrée :***

La modification de l'excentricité de la bague de réglage est effectuée par le piston de commande **-7-** et le contre-piston **-10-**. Ils ont un rapport de section 2/1

Le contre-piston **-10-** de dimension inférieure reçoit directement la pression de refoulement, il pousse la bague de réglage de la cylindrée **-9-** vers le piston de commande **-7-**.

Selon l'état de fonctionnement de l'organe de commande le piston **-7-** se trouve :

En communication avec la pression de refoulement le réglage de la cylindrée reste inchangé.

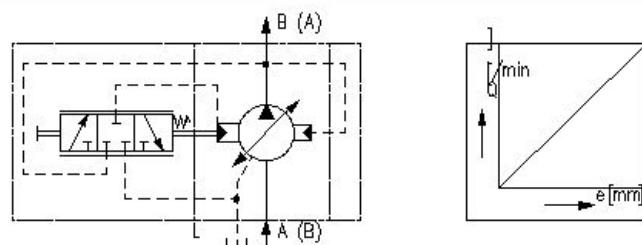
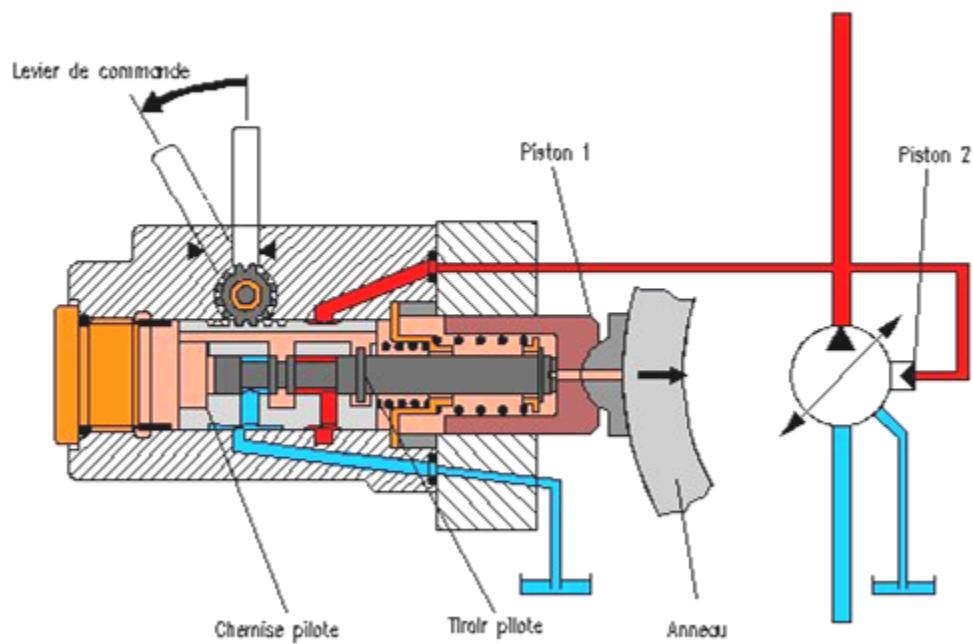
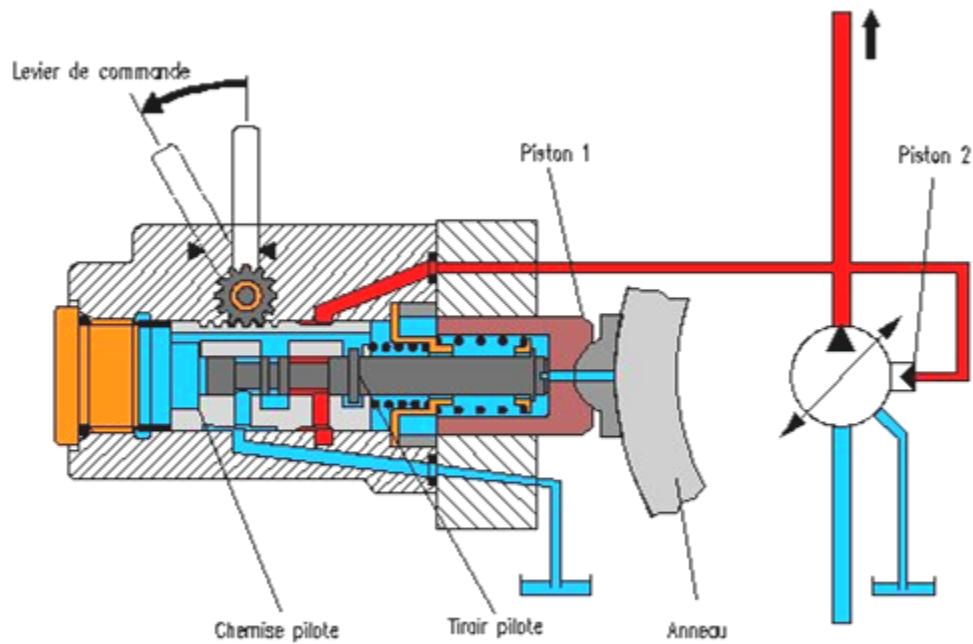
Purgé au réservoir la force exercée par le contre-piston déplace la bague de réglage vers une cylindrée réduite.

## ***Commande manuelle :***

### ***Fonction :***

L'assistance de la commande correspond à la fonction d'un amplificateur de force. Cette commande assistée se résume à un dispositif de commande au travers duquel l'excentricité de l'anneau de cylindrée et par voie de conséquence le débit sont ajustés en partant d'une faible force de commande appliquée au levier de commande. Le changement d'état ne s'effectue donc pas automatiquement en fonction d'une certaine grandeur physique mais par une action venant de l'extérieur. La pression de refoulement de la pompe permet de réaliser une amplification de puissance.

# Les pompes hydrauliques.



# Les pompes hydrauliques.

---

## ***Construction et fonctionnement :***

La valve d'assistance est flasquée directement sur le corps au-dessus du piston de commande -1- elle peut être assimilée à une valve 3voies 3positions à commande manuelle, à rappel par ressort.

La pression de refoulement agit d'une part directement sur le petit piston -2- et d'autre part à l'entrée de la valve d'assistance.

## ***Position repos :***

La chambre du piston -1- est purgée dans le carter de la pompe. Le piston -2- maintient l'anneau de réglage concentrique au bâillet la pompe est à débit nul.

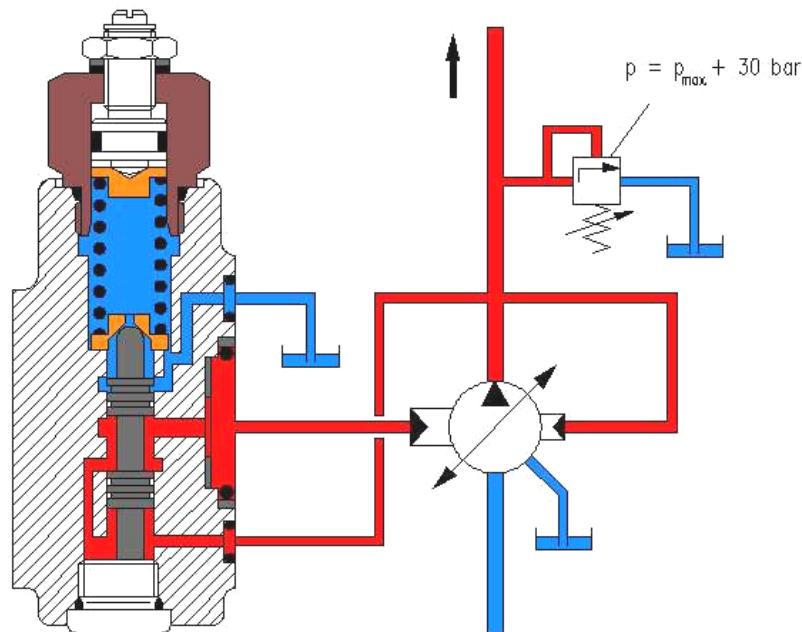
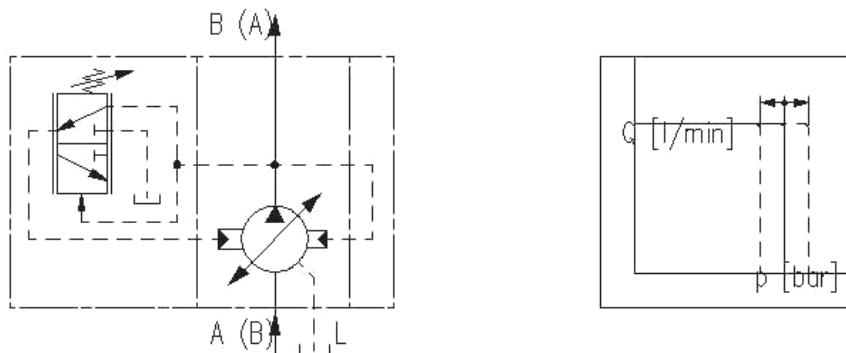
## ***Position débit :***

Un mouvement de rotation du levier de commande entraîne le déplacement de la chemise pilote vers la droite et découvre ainsi l'orifice de pression. La chambre du piston -1- est alors alimentée sous pression et ordonne le déplacement de l'anneau de réglage de la cylindrée. Le tiroir pilote maintenu plaqué contre le piston -1- par l'action de son ressort suit le déplacement de l'anneau de réglage. Lorsqu'il vient recouvrir l'orifice d'alimentation la course du piston -1- s'arrête.

Pour diminuer le débit on effectue le mouvement inverse. Qui à pour effet de purger la chambre du piston -1- de réglage et de ramener l'anneau de réglage vers la gauche.

# Les pompes hydrauliques.

## Régulateur de pression à commande directe :



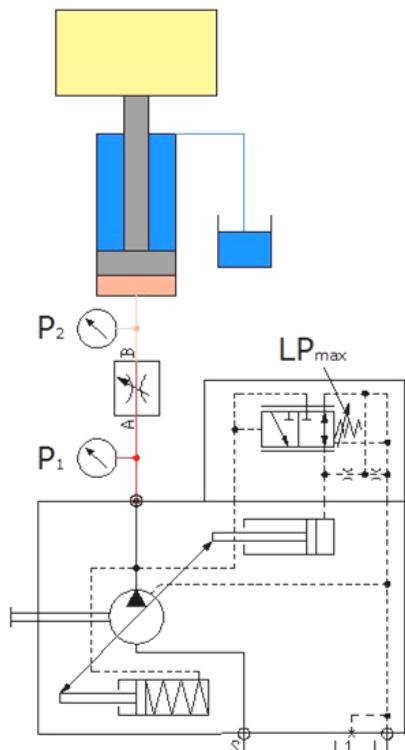
La valve de régulation flasquée sur la carter de la pompe cotée piston de commande -1- peut-être assimilée à un distributeur 3voies commandé hydrauliquement. Comme précédemment la pression de refoulement est dirigée d'une part directement sur le piston -2- et d'autre part au travers du régulateur sur le piston -1-. Le rapport des sections 2/1 de ces deux pistons fait que l'anneau de réglage de la cylindrée est maintenu en position de cylindrée maximale repoussée par le piston -1-. La pression de refoulement agit également sur la face inférieure du tiroir pilote.

Lorsque la pression de refoulement atteint celle réglée par le ressort placé de l'autre côté du tiroir, il se déplace vers le haut et coupe l'alimentation en pression

# Les pompes hydrauliques.

du piston -1- simultanément il ouvre le canal mettant le piston en communication avec le carter de la pompe. De ce fait le piston -1- se trouve décomprimé. Sous l'action du piston -2- l'anneau de réglage se déplace afin d'adapter la cylindrée de la pompe au besoin du circuit. Lorsque la consommation d'huile du circuit est nulle, l'anneau de réglage est pratiquement concentrique au bâillet seul un léger débit de pilotage subsiste pour maintenir la pompe en position d'annulation.

## Régulateur combiné pression, débit :



Le régulateur de pression décrit précédemment ajuste le débit de la pompe à cylindrée variable à la valeur réglée par une valve de débit placée sur le refoulement de la pompe. L'ajustement du débit est réalisé à la pression de réglage du régulateur de pompe. Ce qui occasionne une perte de rendement de l'installation. Elle est d'autant plus importante que la pression de fonctionnement du récepteur est éloignée de celle de la pompe.

Prenons pour exemple le schéma ci-contre :

La pression de la charge  $P_2 = 200$  bar.

Le régulateur de pompe est réglé  $LP_{max} = 250$  bar.

Le débit qui traverse le limiteur de débit  $Q = 50$  l/min.

$$P_w = \frac{P \times Q}{600}$$

Puissance d'entraînement de la pompe :  $P_w = \frac{250 \times 50}{600} = 20,83$  Kw

Puissance consommée par le vérin :  $P_w = \frac{200 \times 50}{600} = 16,66$  Kw

La puissance perdue dans le limiteur de débit est :

$$P_w = 20,83 - 16,66 = 4,17$$
 Kw

# Les pompes hydrauliques.

---

Si la pression de travail du vérin diminue la puissance consommée par le vérin diminue d'autant et par voies de conséquence la puissance perdue dans le limiteur de débit augmente.

Elle est transformée en **-calorie-** pour être dissipée dans le réservoir si celui-ci est suffisamment volumineux.

Il est donc souhaitable d'avoir un système de régulation qui puisse adapter la pression de refoulement de la pompe à celle de la charge à déplacer.

## **Régulateur combiné pression, débit :**

Appelé communément circuit (load-sensing) ou à détection de charge il présente l'avantage d'adapter le débit et la pression au besoin de l'installation, afin d'en optimiser le rendement.

Il se compose généralement d'une pompe à débit variable à circuit ouvert, dont la cylindrée est commandée par une balance de pression, et d'un appareil de réglage du débit, pouvant être.

1. Un limiteur de débit fixe ou réglable.
2. Un distributeur à commande proportionnelle.
3. Un gicleur.

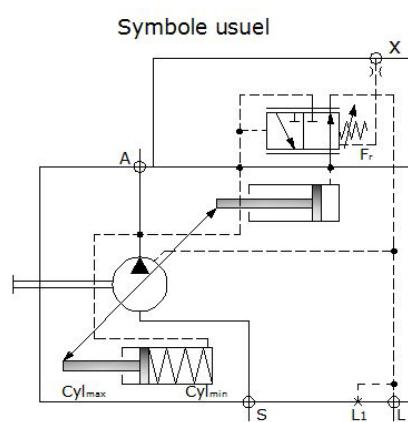
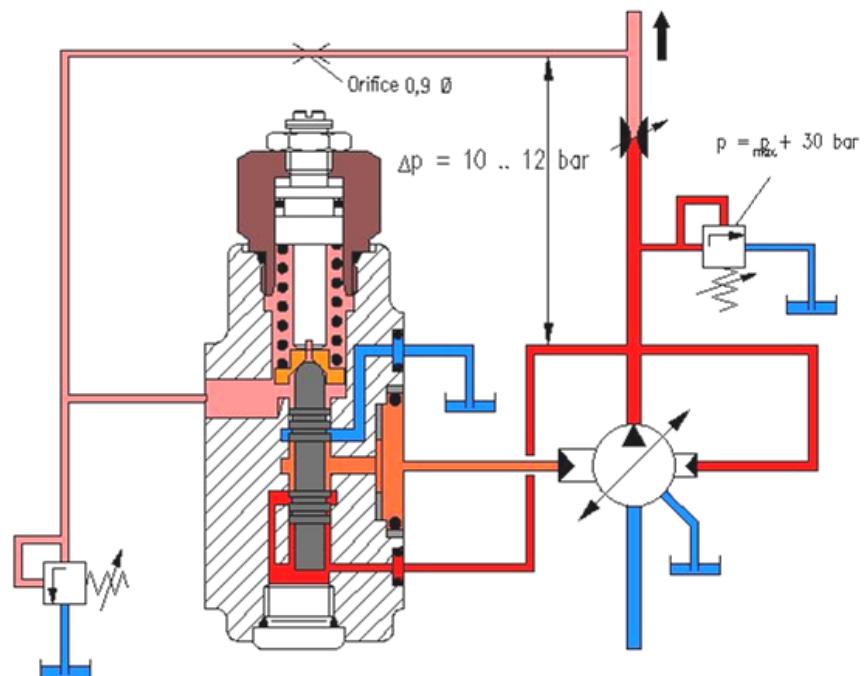
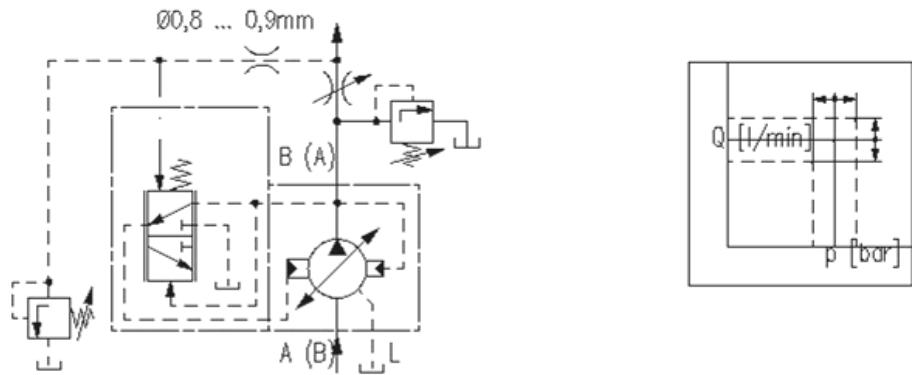
Ce type de circuit convient parfaitement pour les installations dont la vitesse réglée du récepteur ne doit pas être influencée par les variations de charges.

On peut en conclure qu'il est régit par la loi d'écoulement au travers d'une section.

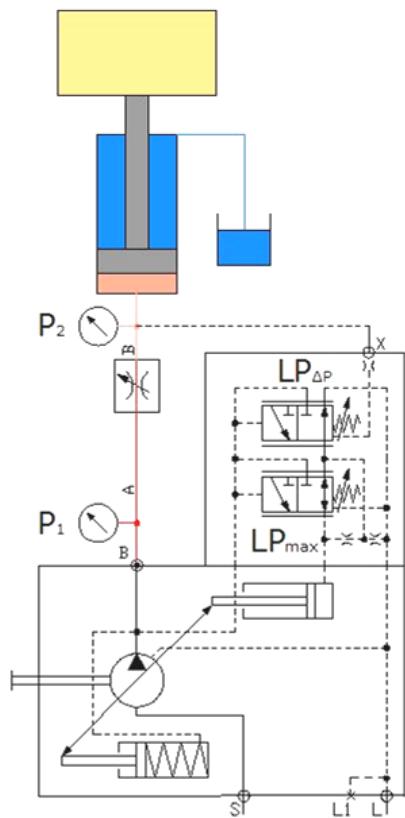
Formule pratique :  $Q = S \times C \times 60 \times \sqrt{\frac{2}{\rho} \times \Delta P}$

- $Q$ = débit en l/min.
- $S$ = section de l'orifice  $\text{cm}^2$ .
- $\rho$ = Masse volumique du fluide.
- $\Delta P$ = différence de pression aux bornes de la section réglée.
- $C$ = coefficient d'orifice (*de l'ordre de 0.72*).

# Les pompes hydrauliques.



## Les pompes hydrauliques.



Le débit refoulé par la pompe passe au travers d'un limiteur de débit. La pression du circuit en aval du limiteur de débit est dirigée dans la boîte à ressort du tiroir de régulation et s'additionne à la pression du ressort.

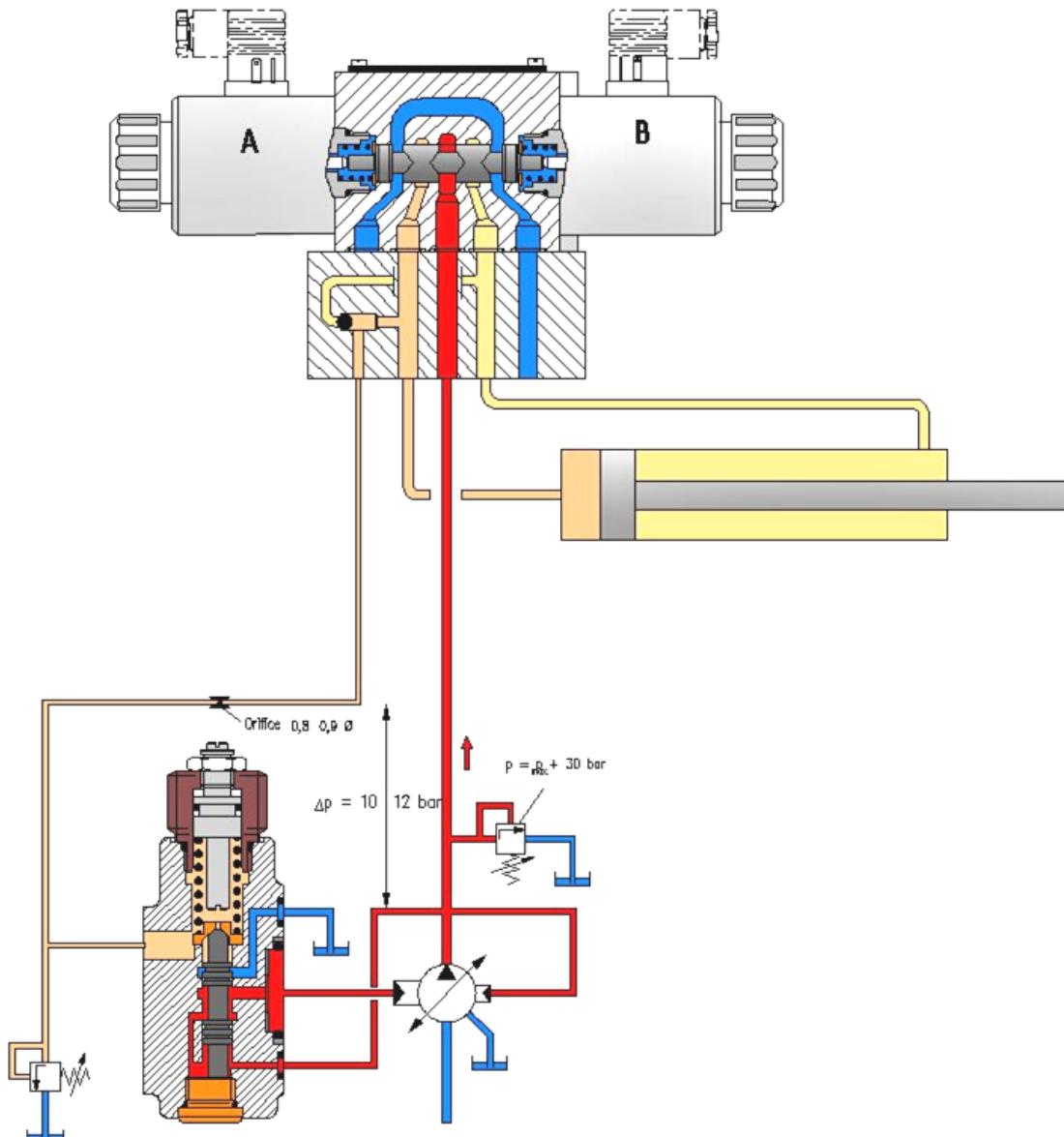
Comme dans le cas du compensateur de pression. Le réglage de la pression du tiroir pilote (*balance de pression*) est maintenant déterminée par la pression du ressort à laquelle vient s'ajouter la pression de travail.

La différence de pression aux bornes du limiteur de débit est donc constante à la valeur de celle du ressort du tiroir de pilotage ou balance de pression.

Ce principe de fonctionnement optimise le rendement du circuit. Il laisse aussi entrevoir un autre avantage. Le débit qui traverse le limiteur de débit reste constant quelle que soit la pression du récepteur car la  $\Delta P$  (différence de pression) aux bornes du limiteur reste constante.

La figure ci-dessous associe une pompe à débit variable équipée d'un compensateur débit pression et d'un distributeur proportionnel.

# Les pompes hydrauliques.



Le schéma ci-dessus représente un système de régulation débit pression associé à un électro-distributeur à commande proportionnelle le fonctionnement de cet ensemble peut être assimilé à celui d'un circuit dont la vitesse du récepteur est contrôlée par un régulateur de débit à 2 voies sans débit excédentaire.

Pour plus de détail voir l'article sur les distributeurs.

# Les pompes hydrauliques.

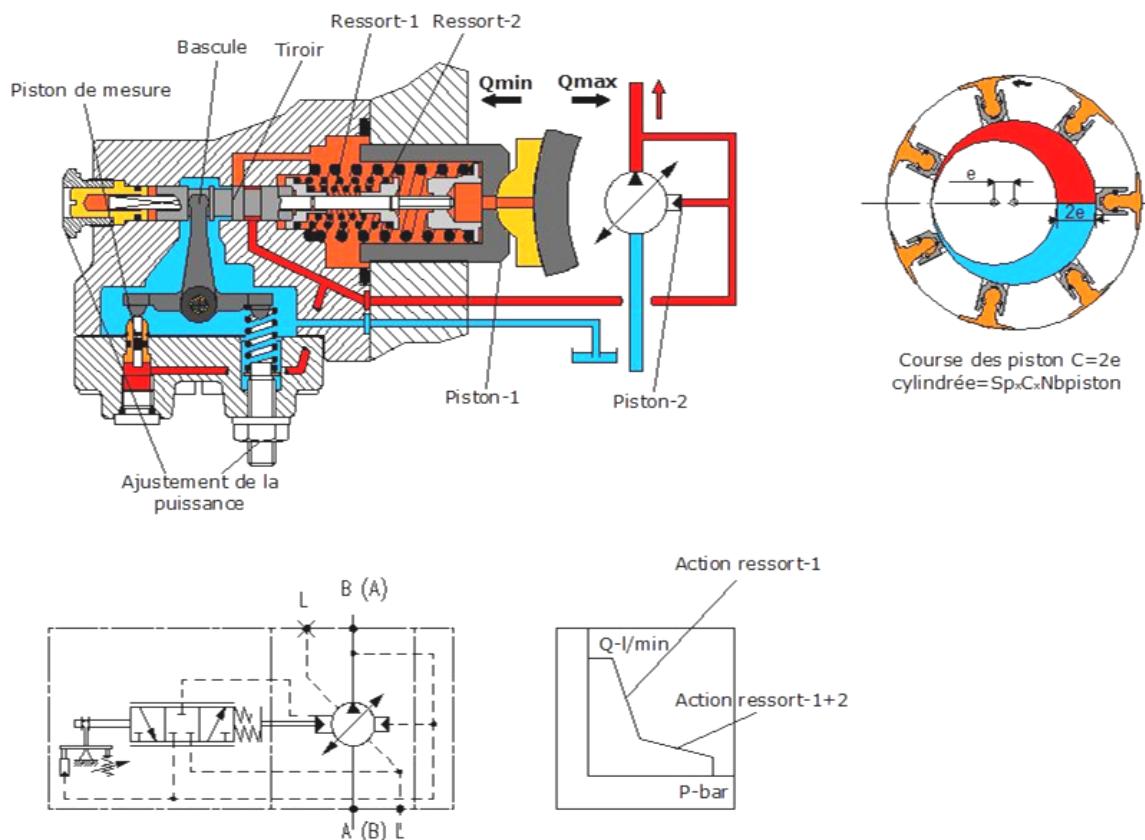
**Régulation de puissance (puissance constante) :**

## Pompe RKP.

Comme énoncé plus haut la puissance hydraulique est le produit de la pression et du débit  $P_w = P \times Q$ . La puissance de pointe ou de coin est définie par le produit des valeurs maximum des deux grandeurs. Il arrive fréquemment que ces deux valeurs maximum ne soient pas nécessaire en même temps. Par exemple sur les presses d'emboutissage, la force maximale (pression) intervient à vitesse réduite (débit) et vice versa.

Il suffit donc dans ces cas, d'installer une puissance d'entraînement bien inférieure à celle de pointe.

Le régulateur de puissance adapte la cylindrée de la pompe par rapport à la pression de refoulement. Il veille à ce que la puissance hydraulique absorbée ne dépasse pas celle installée. Le régulateur de puissance a pour mission de maintenir constant le produit  $P \times Q$ .



## Les pompes hydrauliques.

Le régulateur de puissance est élaboré autour d'un système de bascule qui agit sur le tiroir de commande. La force hydraulique engendrée par la pression de refoulement est équilibrée par l'action des ressorts -1- et -2-.

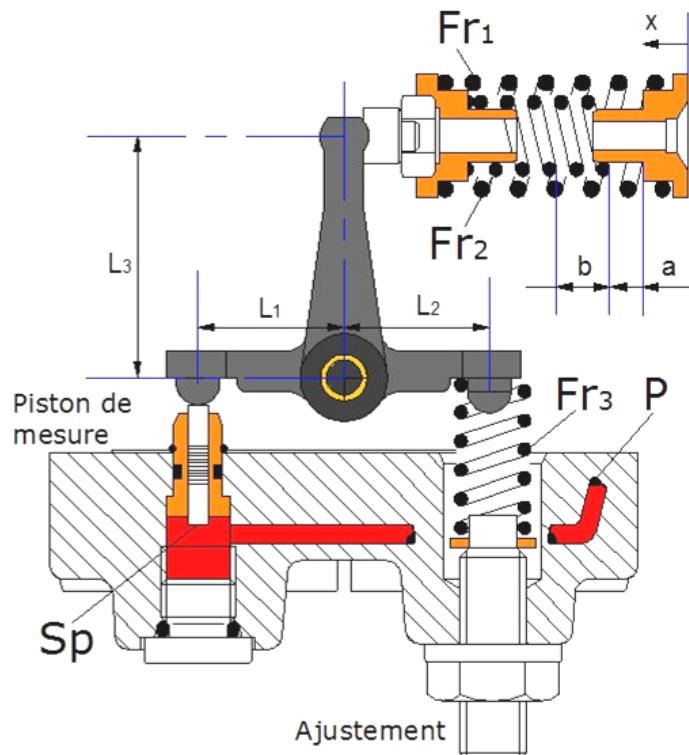
Le piston de mesure est poussé par la pression de refoulement contre l'extrémité gauche de la bascule. A cette action s'oppose celle des ressorts -1- et -2-.

Lorsque la force du piston de mesure supérieure à celle du ressort -1- le tiroir de commande se déplace par l'intermédiaire de la bascule vers la droite. Ce qui a pour effet de purger la chambre du piston -1-. Il se déplace alors vers la gauche entraînant la diminution de la cylindrée et la compression du ressort -1- puis -2-.

L'accroissement de la force des ressorts -1- et -2- équilibre celle du piston de mesure.

L'action des deux ressorts -1- et -2- est décalée afin d'avoir deux droites de pente différente qui encadrent l'hyperbole de puissance constante.

L'ajustement du réglage s'opère sur banc d'essais par les vis d'ajustement. Une modification de la pré-compression des ressorts engendre un glissement parallèle de la courbe caractéristique. Pour modifier la pente des droites il faut changer la raideur des ressorts -1- et -2-.



# Les pompes hydrauliques.

*A l'équilibre on a :*

$$Sp \times P \times L1 = (Fr1 + Fr2) \times L3 + Fr3 \times L2$$

$$Fr1 = K1 \times a \text{ et } Fr2 = K2 \times b$$

Course -a- :  $Fr1 \times L3 + Fr3 \times L2 = Sp \times P \times L1$

$$K1 \times a = Sp \times P \times \frac{L1}{L3} - Fr3 \times \frac{L2}{L3}$$

$$a = \frac{Sp \times P \times \frac{L1}{L3} - Fr3 \times \frac{L2}{L3}}{K1} \quad (1)$$

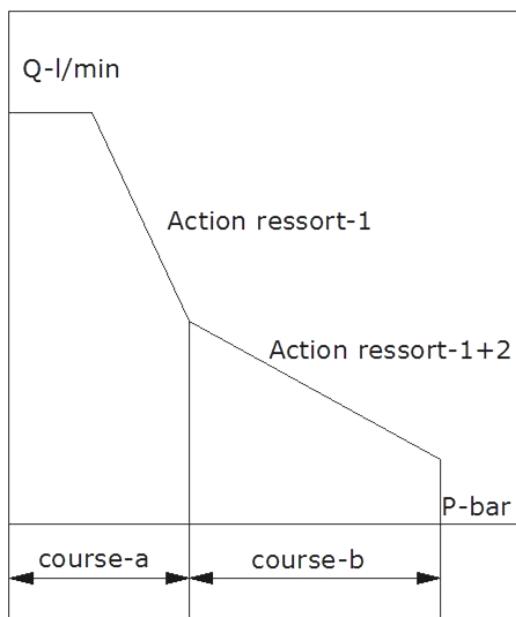
Course -b- :  $(Fr1 + Fr2) \times L3 + Fr3 \times L2 = Sp \times P \times L1$

$$Fr1 + Fr2 = Sp \times P \times \frac{L1}{L3} - Fr3 \times \frac{L2}{L3}$$

$$K1 \times b + K2 \times b = Sp \times P \times \frac{L1}{L3} - Fr3 \times \frac{L2}{L3}$$

$$(K1 + K2) \times b = Sp \times P \times \frac{L1}{L3} - Fr3 \times \frac{L2}{L3}$$

$$b = \frac{Sp \times P \times \frac{L1}{L3} - Fr3 \times \frac{L2}{L3}}{K1 + K2} \quad (2)$$

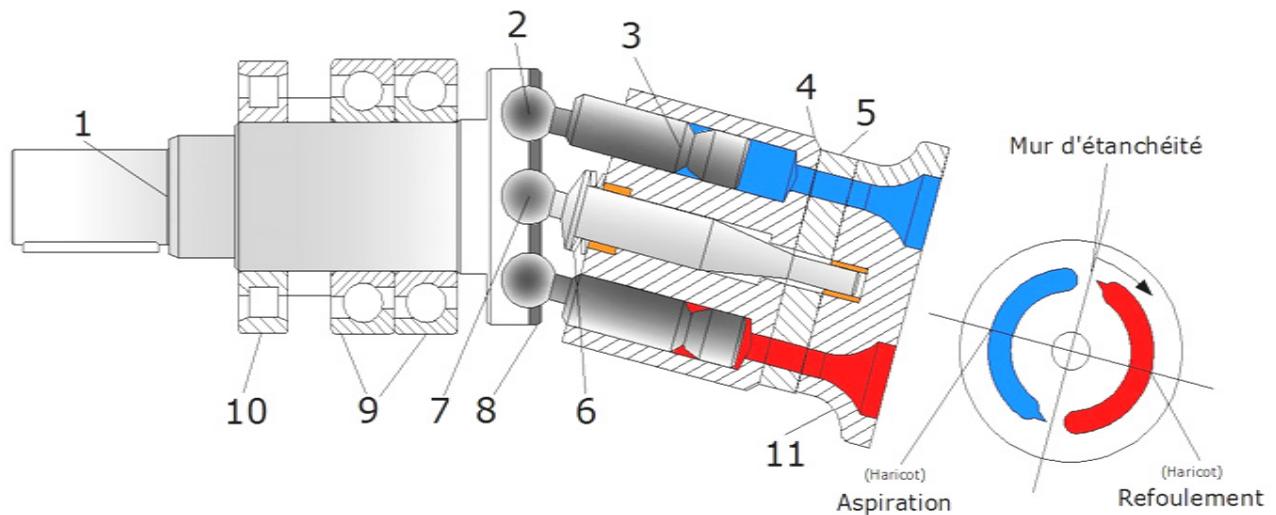


Il s'agit là d'un asservissement de position du tiroir de régulation commandé par la pression du circuit. Pour lequel on a imposé de suivre une certaine loi  $Q$  ( $p$ ) approchant une hyperbole.

Certains constructeurs ont des systèmes à trois ressorts qui encadrent un peu plus la courbe.

# Les pompes hydrauliques.

## Pompe à piston bielle :



1. Arbre d'entraînement.
2. Tête de piston sphérique.
3. Piston.
4. Barillet.
5. Glace de distribution.
6. Ressort de tension de glace.
7. Axe de guidage du barillet.
8. Plaque de retenue.
9. Roulement à contact oblique.
10. Roulement à rouleau.
11. Culasse arrière.

L'arbre d'entrée -1- est guidé en rotation par un jeu de trois roulements dont deux roulements à contact oblique -9- reçoivent principalement les efforts axiaux « F2 » engendrés par la pression de refoulement et un à rouleau -10- pour supporter les efforts radiaux liés au couple d'entraînement « F3 ».

Les têtes de bielles sphériques -2- sont logées à l'intérieur de sept demi-calotte sphérique équidistantes. Recouverte d'une plaque de retenue -8- qui assure la liaison des sept pistons avec l'axe d'entraînement.

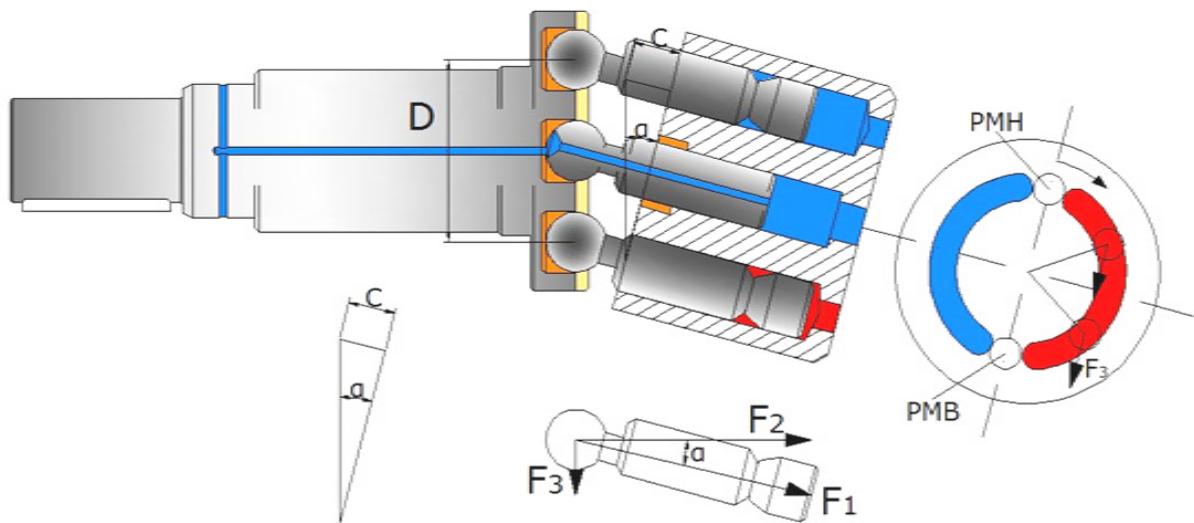
La face arrière du barillet -4- est maintenue en contact sur la glace de distribution -5- et la culasse -11- par l'action des rondelles Belleville -6- lorsque la pompe débite à pression nulle.

# Les pompes hydrauliques.

Le bariquet -4- est guidé en rotation par l'axe -7- dont les extrémités sont implanté d'une part au centre de l'axe d'entraînement et d'autre part dans la culasse arrière.

Pour les pompes à cylindrée fixe l'inclinaison de  $25^\circ$  est déterminée par la forme du carter. Pour celles qui sont à débit variable l'angle d'inclinaison varie en pivotant la culasse arrière de  $0$  à  $25^\circ$ .

*Principe de la cylindrée.*



Le piston bielle plaçait au -PMH- (*point mort haut*) est placé sur le mur d'étanchéité entre les deux haricots de la glace de distribution -5-. La rotation vers la droite de l'arbre -1- entraîne l'ensemble de l'équipage mobile formé par les pitons -3- et le bariquet -4-.

Après un demi-tour le piston place au PMB (*point mort bas*) sur le deuxième mur d'étanchéité. Durant cette rotation il a effectué à l'intérieur du bariquet une course qui a pour valeur.

$$C = D \times \sin \alpha$$

Le volume expulsé dans le haricot de refoulement est alors égal :

$$V = S \times L \text{ soit } V = \pi \times \frac{dp^2}{4} \times C \text{ ou } V = \pi \times \frac{dp^2}{4} \times D \times \sin \alpha$$

Sur le second demi-tour le piston -1- se déplace du -PMB- au -PMH- il réalise la phase de remplissage au travers du haricot d'aspiration.

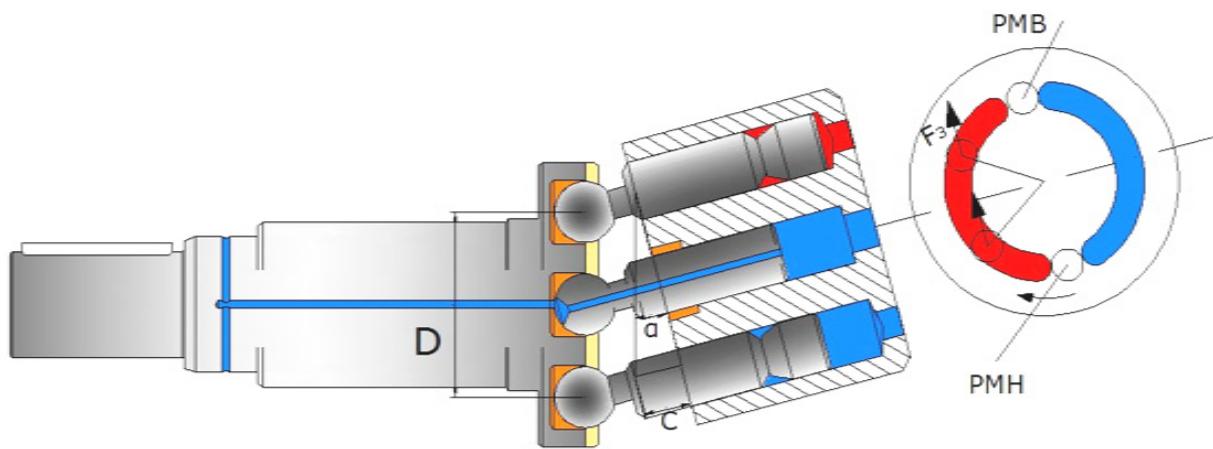
## Les pompes hydrauliques.

On en déduit la cylindrée de la pompe qui prend la valeur la totalité du volume expulsé par les sept pistons pour une rotation complète de l'arbre d'entraînement.

La cylindrée maximale a pour valeur :

$$Cyl = \pi \times \frac{dp^2}{4} \times D \times \sin \alpha Np$$

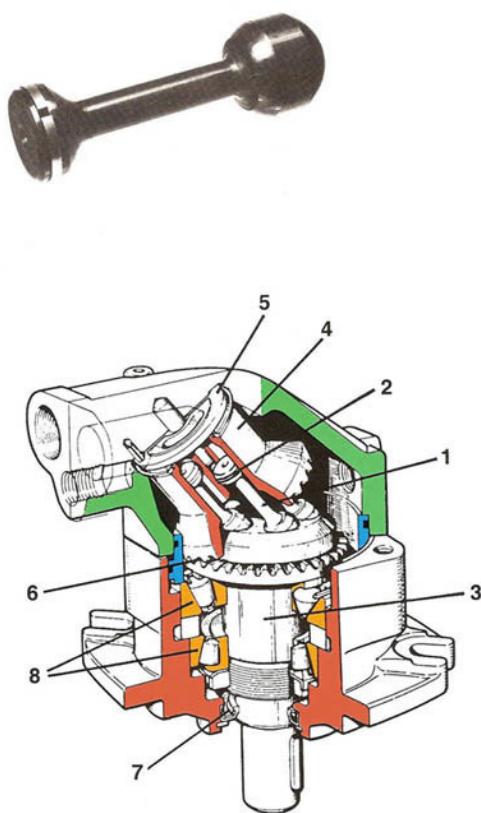
Pour une pompe à débit variable le débit de refoulement varie de 0 au maximum en modifiant la valeur de l'angle  $\alpha$ .



Rien ne nous empêche de faire basculer le bâillet vers le haut, dans ces conditions on inverse le sens du débit 0 à la valeur maximale en modifiant la valeur de l'angle  $-\alpha$ .

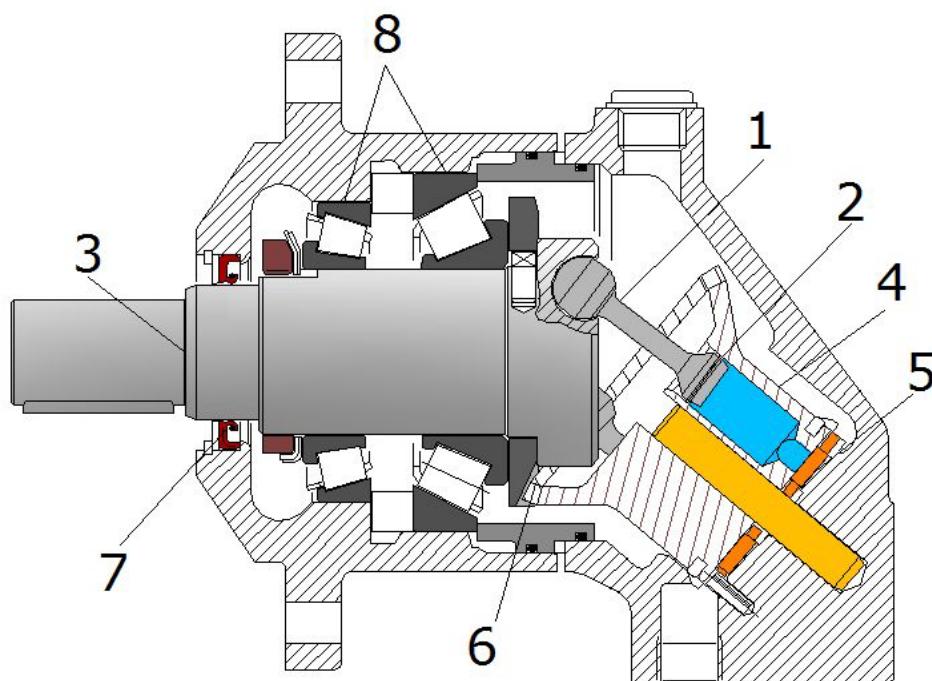
# Les pompes hydrauliques.

## Pompe à pistons axiaux à axe brisé :



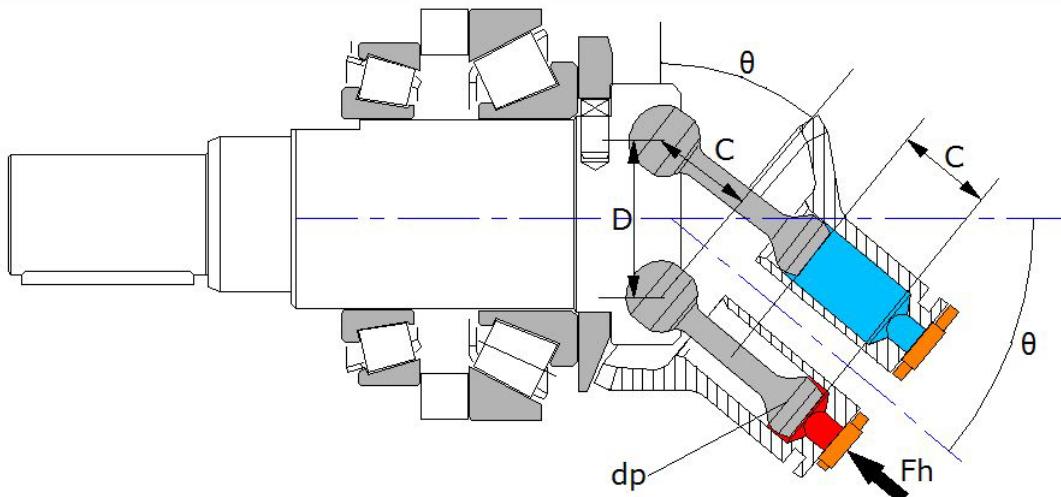
1. Piston sphérique.
2. Segment d'étanchéité.
3. Pignon arbré.
4. Barillet.
5. Glace de distribution.
6. Renvoie conique.
7. Joint à lèvre.
8. Roulements coniques.

Contrairement au pompe à axe brisé traditionnelle. Les pompes à pistons sphériques avec un entraînement par renvoie conique permettent un angle d'inclinaison de 40° ce qui accroît la course des piston dont cylindrée de la pompe. De se fait le rapport poids/puissance s'en trouve amélioré.



# Les pompes hydrauliques.

**Course des pistons :**



$$C = D \times \sin \theta$$

**Cylindrée de la pompe :**

$$Sp = \pi \times \frac{dp^2}{4}$$

$$Cyl = Sp \times C \times Nb$$

**Force sur un piston :**

$$Fh = Sp \times P$$

L'énergie mécanique d'entrainement est transformée en énergie hydraulique. Elle correspond au travail de tous les pistons pour un tour.

**En mécanique le calcul de la puissance à pour expression :**

*mouvement linéaire:  $Wl = F \times L$  – mouvement rotatif  $Wr = C \times \omega$*

$$Wm\acute{e}ca = F \times L \text{ donc } Whyd = Sp \times C \times Nb \times P$$

**Or :**  $Sp \times C \times Nb$  est la cylindrée de la pompe

**La puissance d'entrainement à pour équation :**

$$Pw = P \times Cyl$$

# Les pompes hydrauliques.

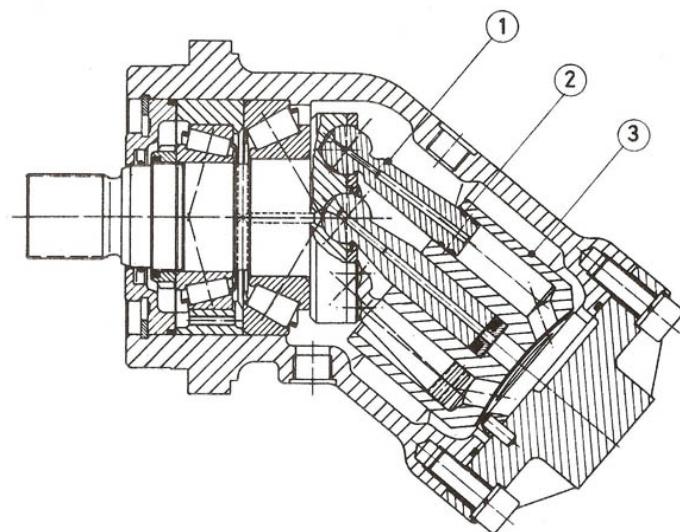
**Le couple d'entrainement prend comme expression :**

$$F \times l = C \times \omega \text{ donc } C = \frac{F \times L}{\omega}$$

$$C = \frac{P \times Cyl}{2\pi}$$

**Pour un  $C$  en  $m/daN$  une  $Cyl$  en  $L/tr$  et une pression en bar on obtient :**

$$C = P \times Cyl \times 1.59$$



Variente de construction d'une pompe à pistons axiaux.

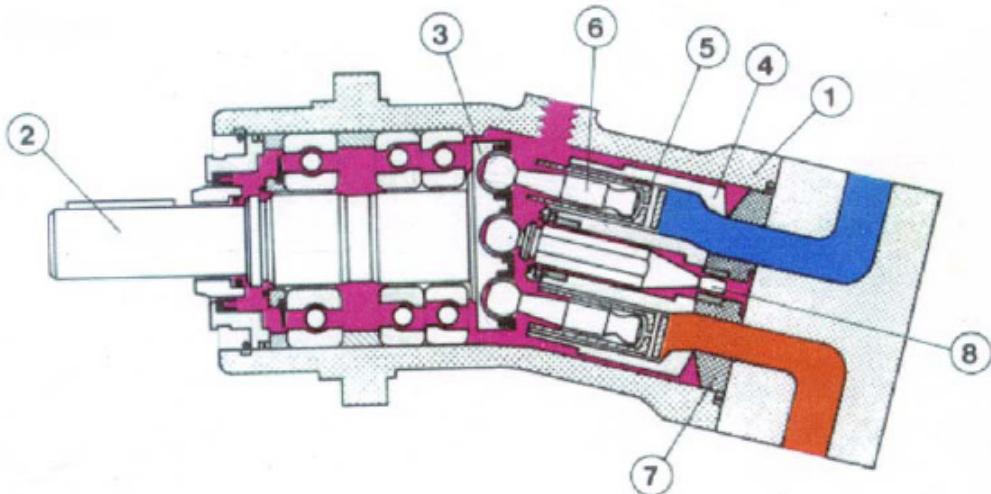
Du type à pistons « Quilles »

Les pistons -1-monobloc assure à la fois la transmission de l'énergie hydrostatique et le couple de rotation du barillet -3-. L'angle d'inclinaison est augmenté de  $25^\circ$  à  $40^\circ$  maximum le rapport poids puissance en est d'autant amélioré.

# Les pompes hydrauliques.

---

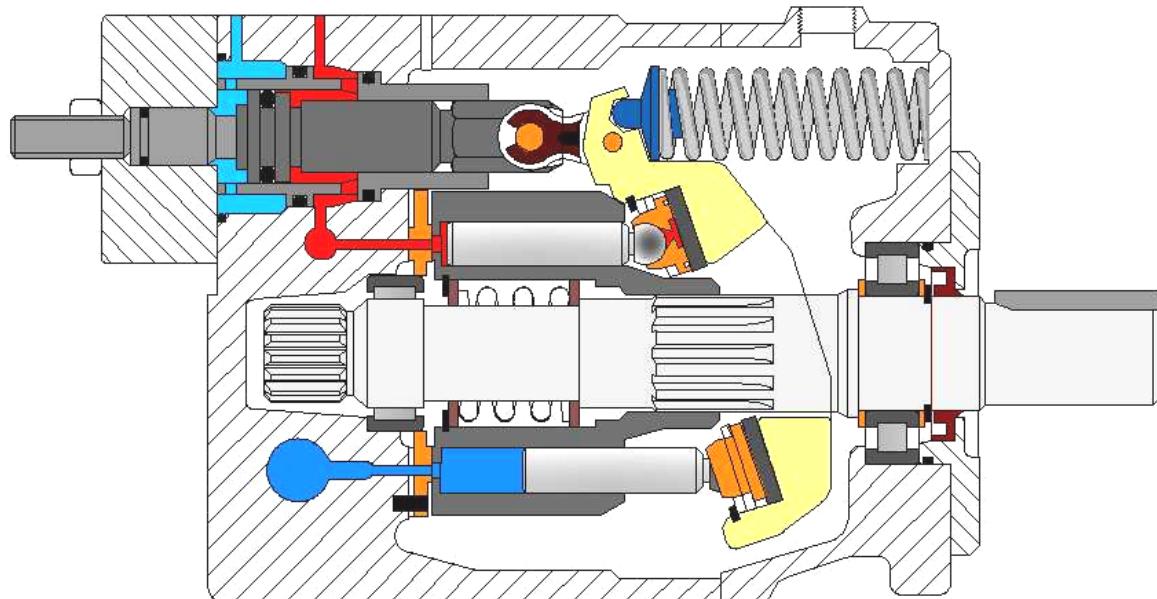
*Origine Rexroth :*



*Pompe à pistons patins axe en ligne :*

Comme le montre la figure ci-dessous l'arbre d'entrée

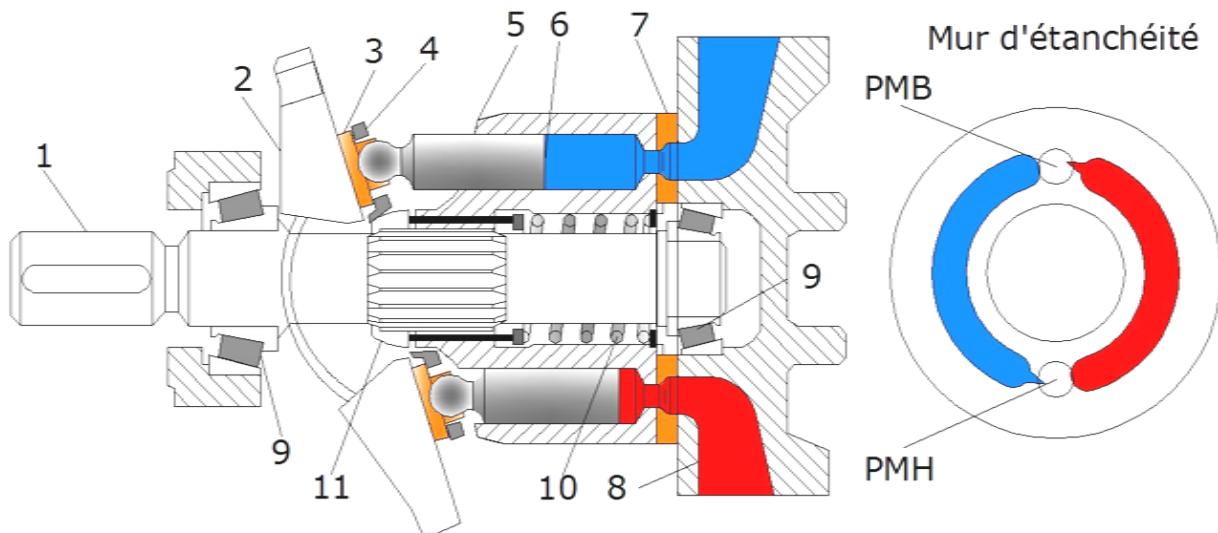
**modèle PV series**



*Origine Parker.* 

# Les pompes hydrauliques.

## Pompes à pitons patins.



1. Arbre d'entrainement.
2. Plateau d'inclinaison.
3. Patin.
4. Plaque de retenue.
5. Barillet.
6. Piston.
7. Glace de distribution.
8. Culasse arrière.
9. Roulements conique.
10. Ressort de tension de glace.
11. Bague rotule.

L'arbre d'entrée -1- est guidé en rotation par deux roulements coniques monté en « O » qui absorbent principalement le couple d'entrainement. Il est solidaire du bariell -5-.

Les patins de glissement -3- en bronze reçoivent la tête sphérique des pistons -6-

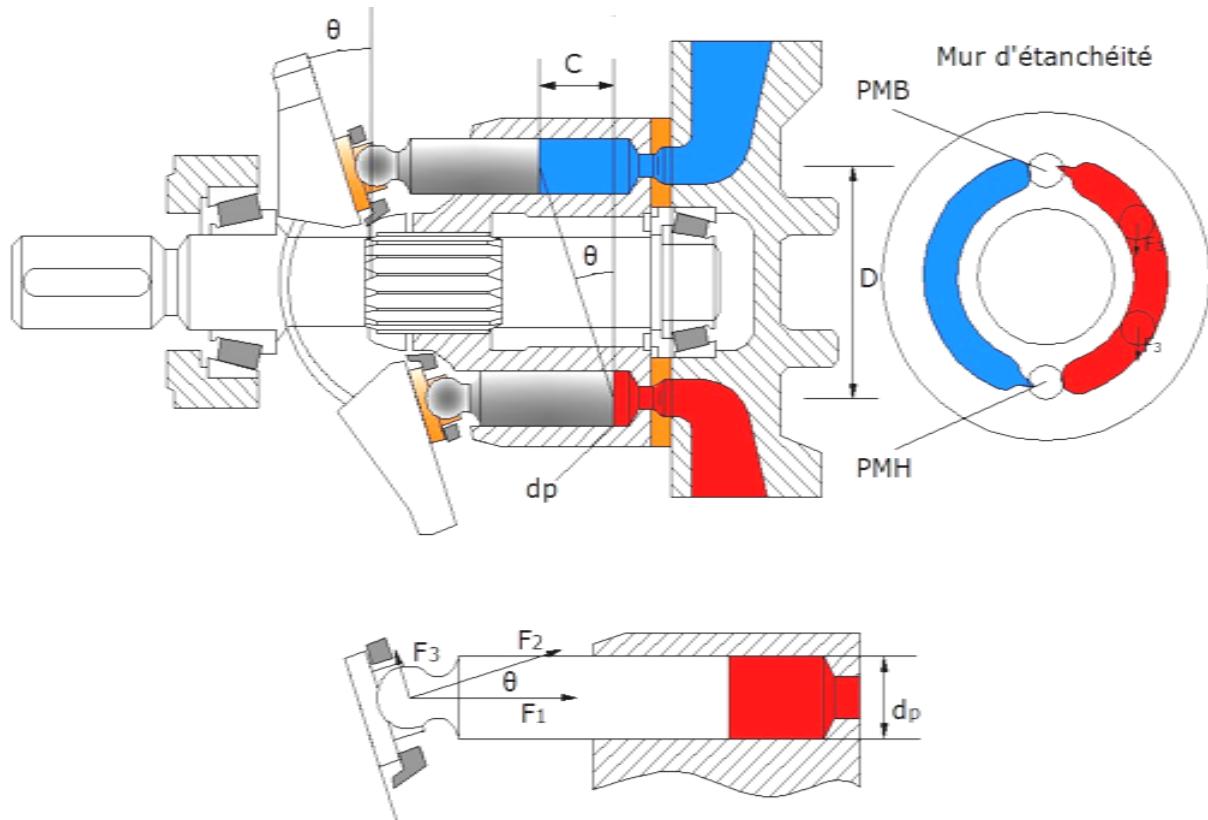
Les neuf pistons -6- en acier nituré s'ajustent dans le bariell dont les alésages équidistants sont effectués avec précision.

Le ressort de tension -10- assure un double emploie :

1. Garentir une force de contact du bariell -5- contre la culasse arrière -8- lorsque la pression de refoulement est nulle.

## Les pompes hydrauliques.

2. Mainten la liaison entre les patins -3- et le plateau d'inclinaison par l'intermédiaire de la bague à rotule -11-.



### Principe de la cylindrée.

Pratiquement identique au système pistons bielles.

Le piston patin bielle plaçait au -PMH- (*point mort haut*) est placé sur le mur d'étanchéité entre les deux haricots de la glace de distribution -7-. La rotation vers la droite de l'arbre -1- entraîne l'ensemble de l'équipage mobile formé par les pitons -6- et le bariquet -5-.

Après un demi-tour le piston place au PMB (*point mort bas*) sur le deuxième mur d'étanchéité. Durant cette rotation il a effectué à l'intérieur du bariquet une course qui a pour valeur.

$$C = D \times \tan \theta$$

Le volume expulsé dans le haricot de refoulement est alors égal :

$$V = S \times L \text{ soit } V = \pi \times \frac{dp^2}{4} \times C \text{ ou } V = \pi \times \frac{dp^2}{4} \times D \times \tan \theta$$

## Les pompes hydrauliques.

Sur le second demi-tour le piston -6- se déplace du -PMB- au -PMH- il réalise la phase de remplissage au travers du haricot d'aspiration.

On en déduit la cylindrée de la pompe, elle prend la valeur la totalité du volume expulsé par les neuf pistons pour une rotation complète de l'arbre d'entraînement.

La cylindrée maximale a pour valeur :

$$Cyl = \pi \times \frac{dp^2}{4} \times D \times \tan \theta \times Np$$

Pour une pompe à débit variable le débit de refoulement varie de 0 au maximum en modifiant la valeur de l'angle  $\theta$ .

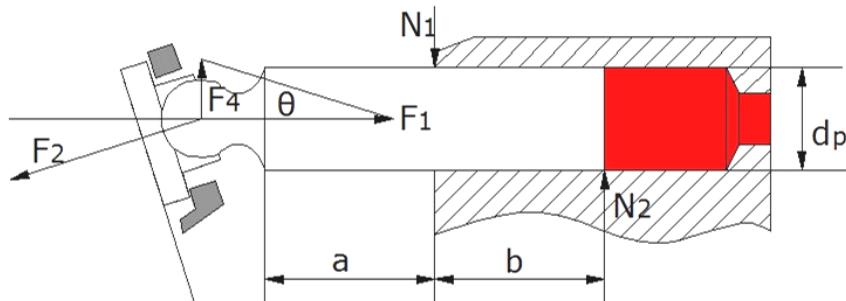
La pression de refoulement crée un couple résistant sur l'arbre d'entraînement et génère les forces élémentaires -F2- et -F3-.

La force -F2- est absorbée par le patin équilibré.

$$F2 = F1 \times \cos \theta$$

La force -F4- donne naissance à un couple parasite repris par l'encastrement des pistons dans le barillet. L'ensemble piston patin travaille en flexion.

$$F4 = F1 \times \tan \theta$$



$$N1 = F4 \times \frac{a + b}{b} \text{ soit } F4 = \frac{a + b}{b} \times P \times Sp \times \sin \theta$$

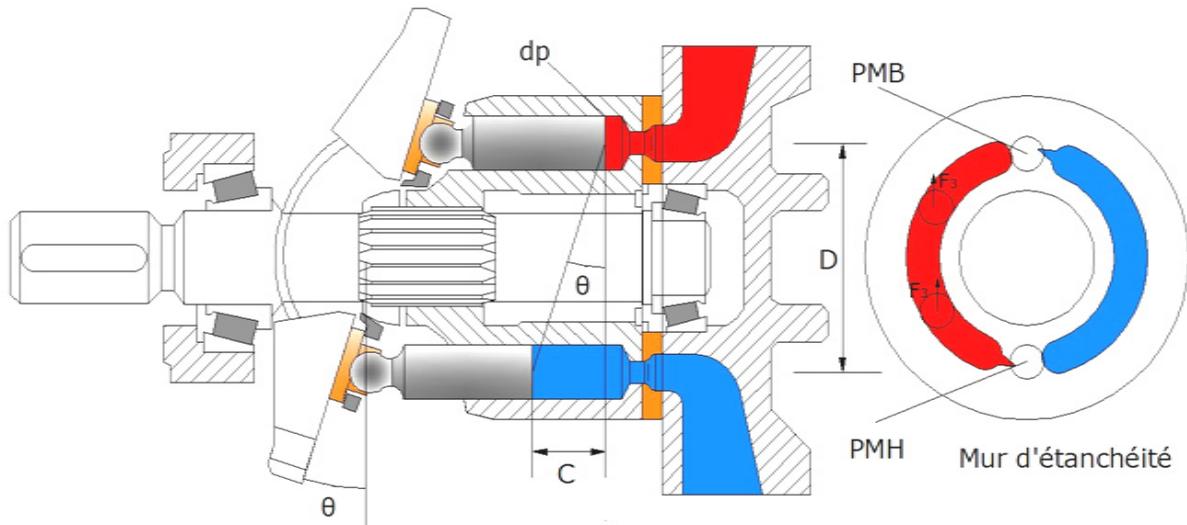
$$N2 = F4 \times \frac{a}{b} \text{ soit } F4 = \frac{a}{b} \times P \times Sp \times \tan \theta$$

L'apparition des deux forces -N1- et -N2- tendent à ovaliser les logements des pistons dans le barillet.

# Les pompes hydrauliques.

Afin limiter les forces -N1- et -N2- la cote -a- sera réduite au minimum lorsque le piston se trouve en fin de refoulement.

Et l'angle maximum d'inclinaison -θ- sera limité à 18° voir 15° pour certain constructeur.



Rien ne nous empêche de faire basculer le plateau d'inclinaison -2- en sens inverse, dans ces conditions le sens du débit est inversé de 0 à la valeur maximale en modifiant la valeur de l'angle -α.

L'analyse comparative des deux systèmes laisse apparaître :

*Système piston bielle.*

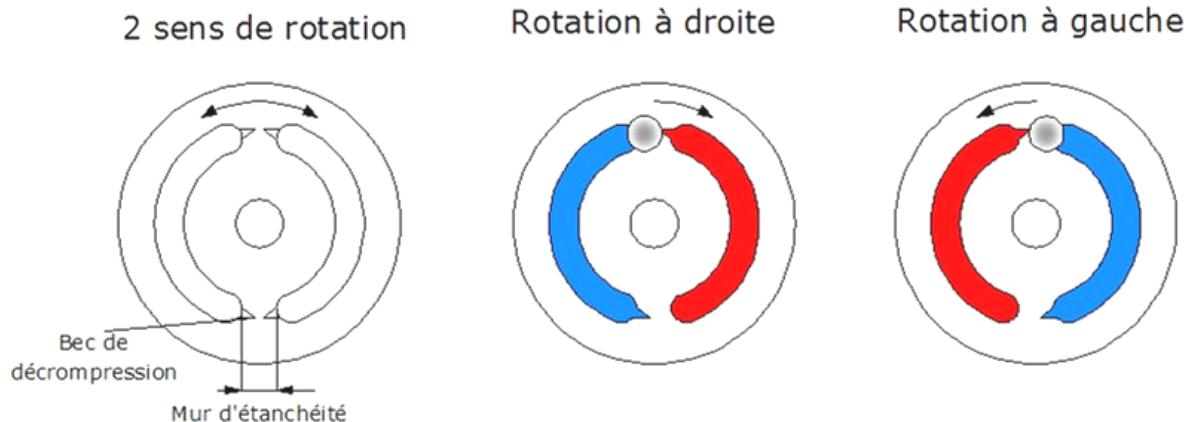
Les poussées axiale -F2- et radiale -F3- sont supportée par un jeu de roulements.

*Système piston patin.*

De part sa construction plus simple. La poussée axiale -F2- est transmise au plateau d'inclinaison par l'intermédiaire des patins, la radiale -F3- est reprise par l'encastrement des pistons dans le bâillet. La masse des pistons doit être réduite au maximum car la force d'accélération  $F_Y = mY$  des pistons en dépend ainsi que la vitesse et de rotation. Si la force du ressort n'est pas suffisante il est parfois nécessaire de pressuriser (pression de *gavage*) l'orifice d'aspiration afin de garantir le contact des pistons patins contre le plateau d'inclinaison.

# Les pompes hydrauliques.

---



Les glaces de distribution des pompes possèdent 2 becs de décompression disposés en début de refoulement et d'aspiration.

Ils atténuent les bruits de fonctionnement en limitant la compression et la décompression brutale du fluide lorsque les pistons passent de la zone d'aspiration à celle de refoulement et inversement après avoir franchi le mur d'étanchéité.

Pour changer le sens de rotation d'une pompe il faut remplacer sa glace de distribution.

Les glaces des moteurs hydraulique sont dotées de quatre becs de décompression de part et d'autre du mur d'étanchéité afin de permettre la rotation dans les deux sens.

# Les pompes hydrauliques.

---

## *Dispositif de manœuvre.*

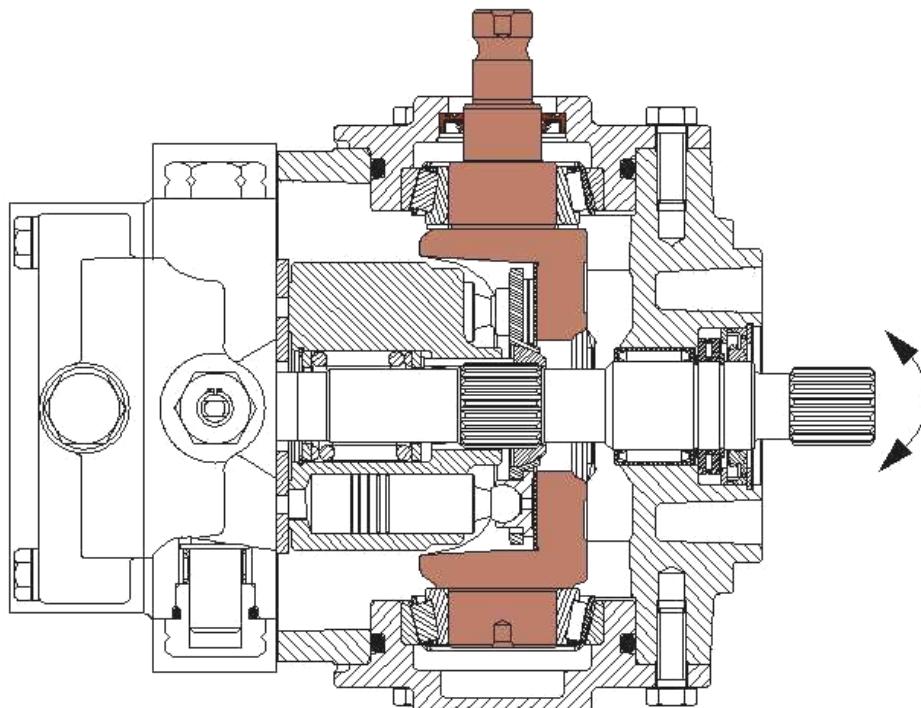
### *Système manuel :*

Certainement le plus simple mais pas le plus répandu. Cette solution est rarement utilisée pour les raisons suivantes :

La commande doit se faire à proximité de la pompe, part un jeu de biellette difficile à mettre en œuvre.

L'effort de commande est important.

La précision est imparfaite.



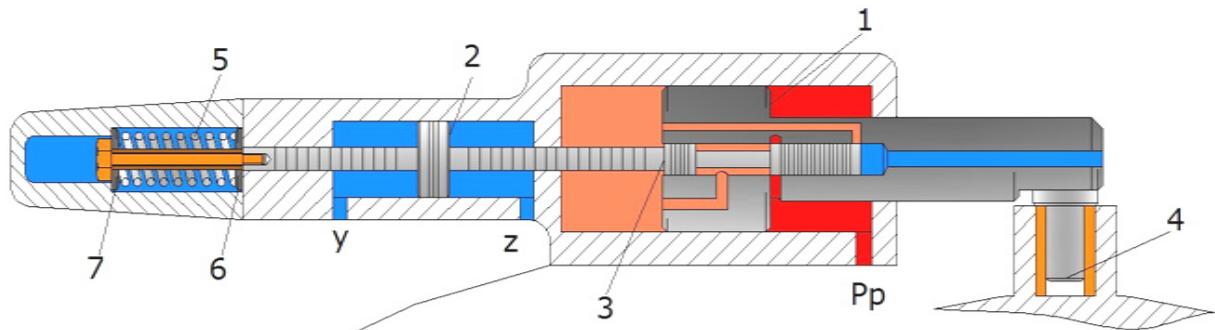
# Les pompes hydrauliques.

## **Système de commande à piston poursuit modulée par pression.**

Ils sont fréquemment utilisés pour la commande des pompes à cylindrée variable.

Le mécanisme se compose d'un étage amplificateur formé par le piston différentiel -1- et le tiroir -3- de commande qui manœuvre l'étrier -4- de réglage de la cylindrée de pompe.

Et d'une partie commande assistée par pression pilote formé par le piston pilote -2- lié au tiroir de commande -3-. Du ressort de mesure -5- équipé de ses deux rondelles de poussée.



*Composants du système :*

1. Vérin de manœuvre différentiel.
2. Vérin pilotage.
3. Tiroir de commande.
4. Doigt de liaison.
5. Ressort de mesure.
6. Coupelle de poussée gauche.
7. Coupelle de poussée droite.

*Position initiale :*

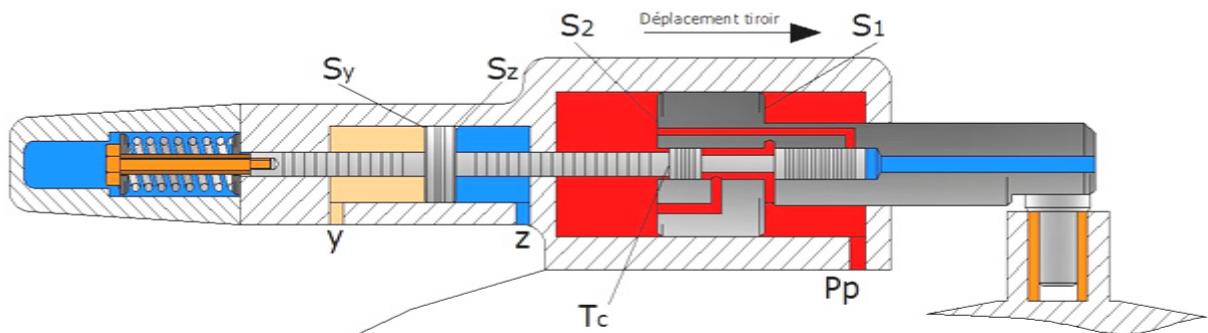
La pression de refoulement agit sur la face -S1- du piston de manœuvre -1-. Le volume d'huile de la chambre -S2- se trouve emprisonné par le tiroir de commande -3- à arêtes vives recouvrement nul qui obture le passage vers le carter. Le piston de manœuvre est immobilisé.

# Les pompes hydrauliques.

## Affichage :

La pression pilote admît en -y- engendre une force hydraulique opposée à celle du ressort de mesure -5- qui déplace le piston -2- vers la droite. Il entraîne dans sa course le tiroir de commande -3- et permet l'alimentation de la chambre -S2-.

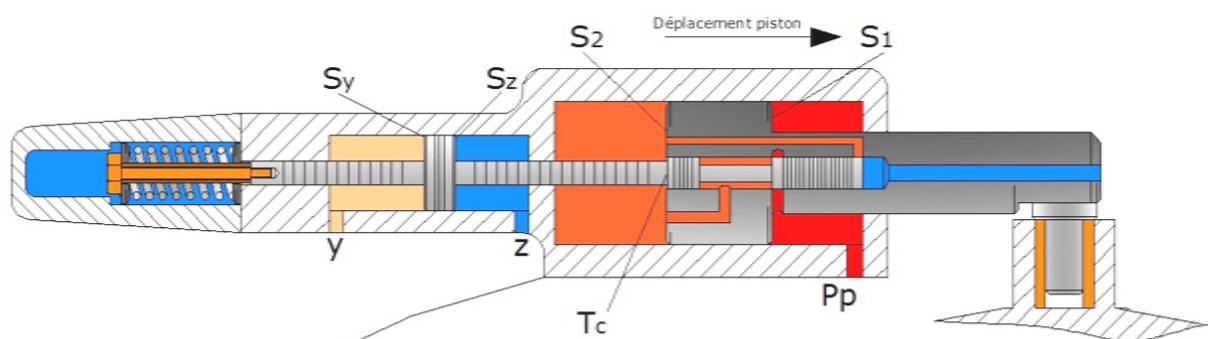
Affichage



## Position :

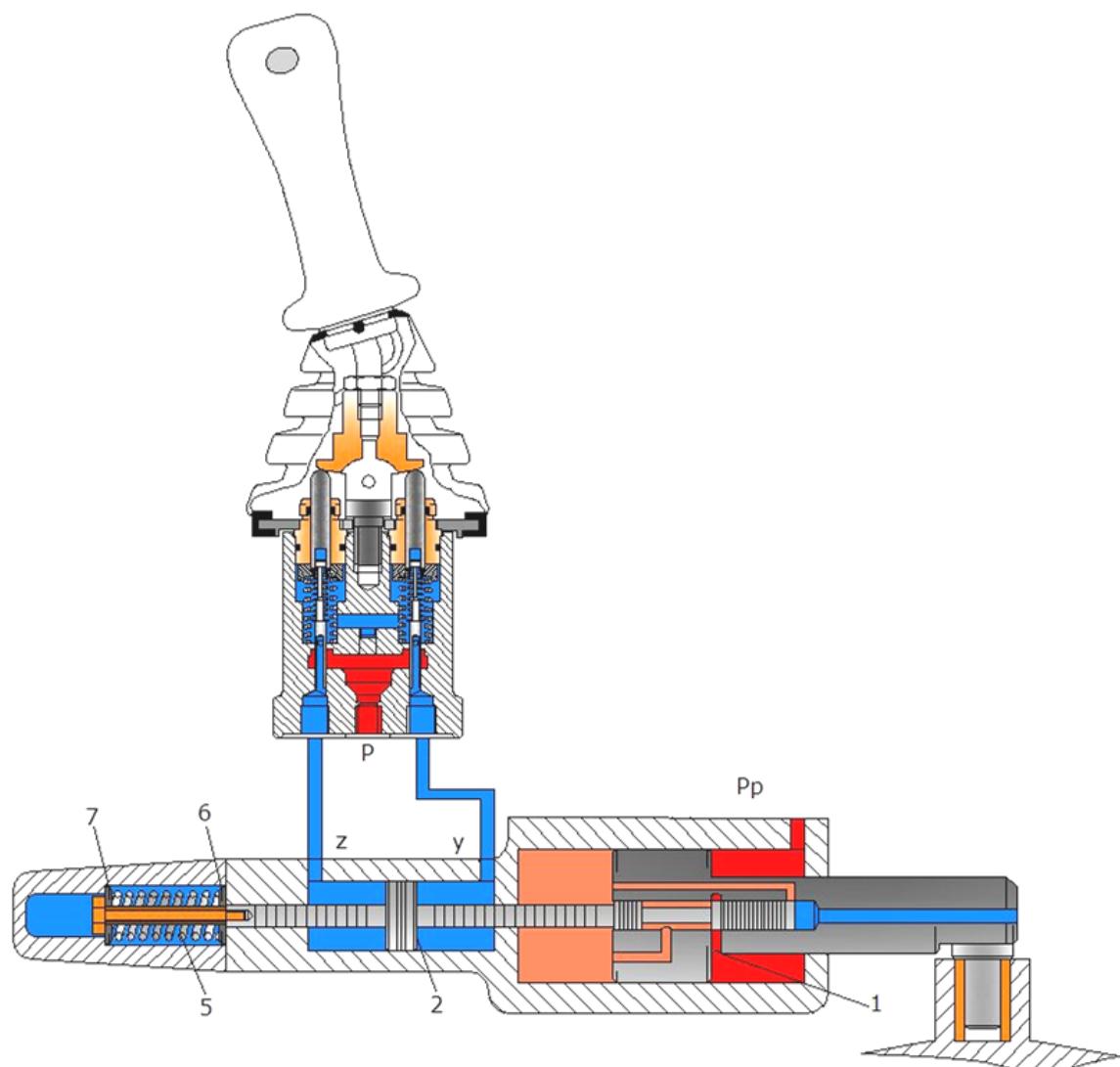
La force ainsi générée par la section -S2- déplace le piston amplificateur -1- jusqu'au moment où les arrêtes du tiroir de commande -3- recouvre les orifices d'admission d'huile de la section -S2-.

Position



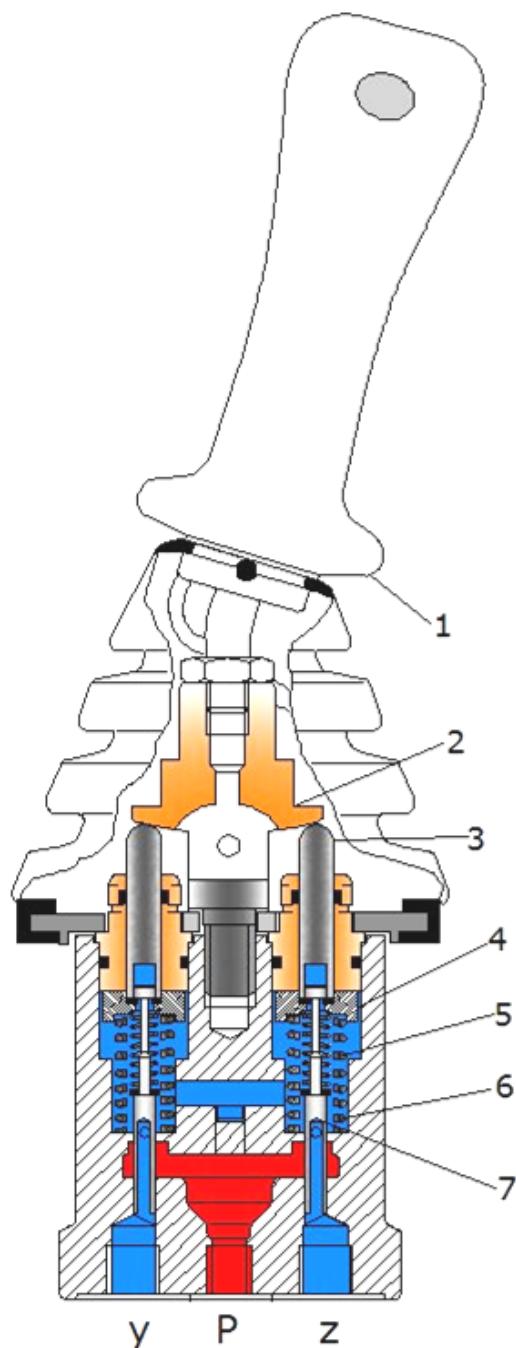
La valeur de la pression pilote mesurée à la force du ressort -5- définit la course du piston amplificateur -1- donc la cylindrée de la pompe. L'alimentation de l'orifice pilote -z- déplace le piston pilote -2- et le tiroir de commande -3- vers la gauche. L'huile emprisonnée dans la chambre -S2- est alors purgée au carter. A ce moment là le piston de manœuvre -1- rentre et inverse le sens d'écoulement du débit de la pompe.

## Les pompes hydrauliques.



# Les pompes hydrauliques.

## Manipulateur de commande.



Il se compose :

1. Levier de commande.
2. Bascule.
3. Poussoir.
4. Rondelle d'appuie.
5. Ressort de rappel.
6. Ressort de tarage.
7. Tiroir de réglage.

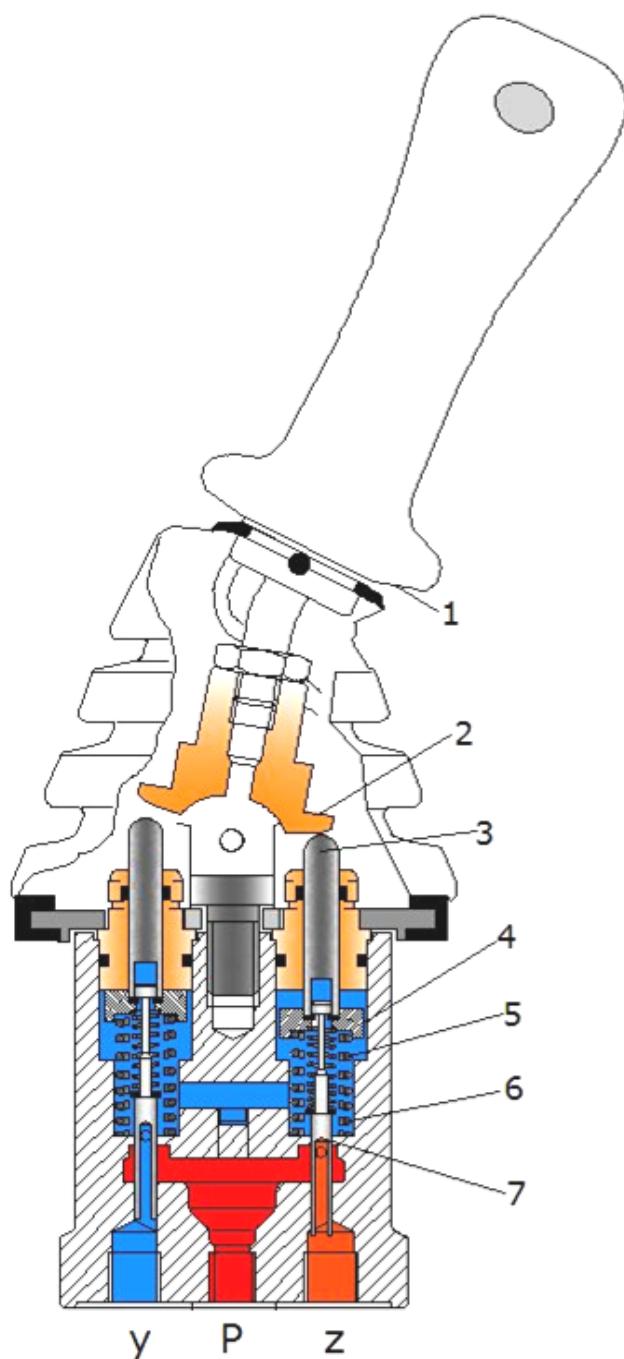
Le fonctionnement de chaque élément est celui d'un réducteur de pression à 3 voies, dont le tarage de la pression de sortie de chaque voie est proportionnel à l'inclinaison du levier.

*Position initiale :*

Le levier de manœuvre est immobilisé en position repos par les ressorts de rappel -5- et de tarage -6- ils maintiennent les poussoirs -3- plaqué contre leur butées par l'intermédiaire des rondelles d'appuie -4-. Les tiroirs de réglage -7- ainsi positionnés (*vers le haut*) purgent au réservoir les orifices -y- et -z- au moyen des perçages centraux et radiaux.

# Les pompes hydrauliques.

---



## *Affichage :*

La rotation du levier -1- provoque en cascade :

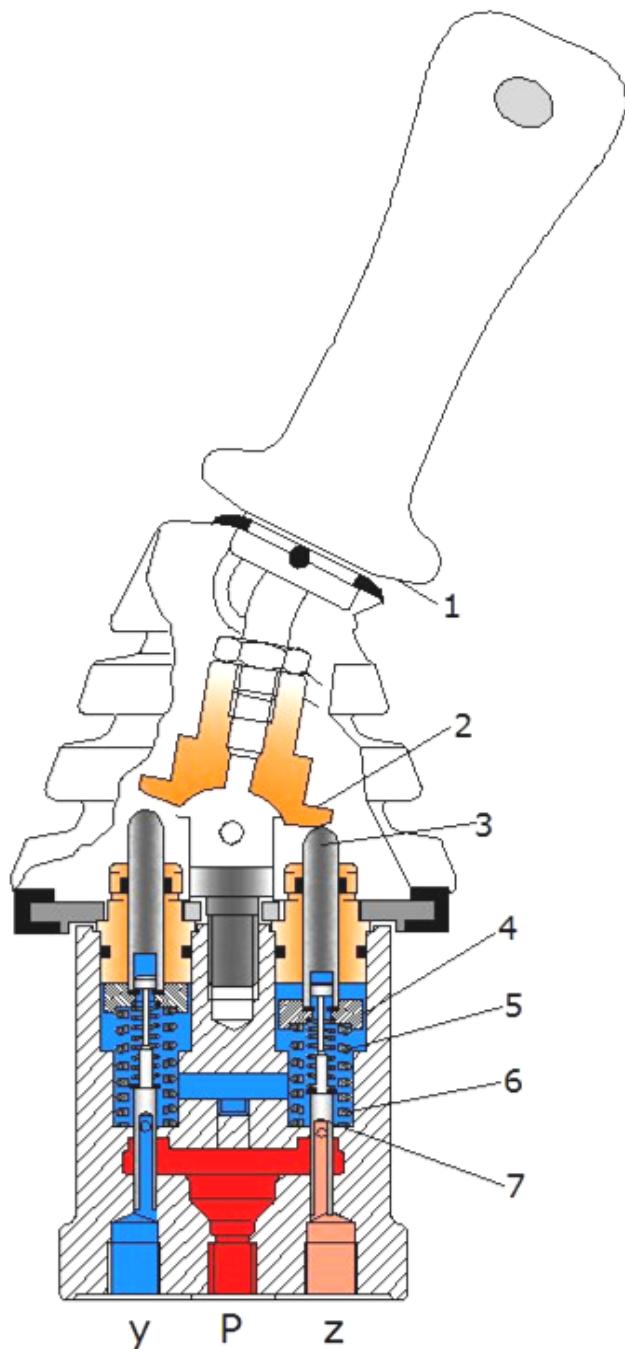
Le pivotement de la bascule -2-, le déplacement vers le bas du poussoir -3-, du tiroir de tarage -7-, de la rondelle d'appuie -4-, et pour finir la compression du ressorts de rappel -5- et du ressort de tarage -6-.

Le déplacement vers le bas du tiroir de tarage -7-. Déclenche la circulation de l'huile pilote au travers des perçages du tiroir, de l'orifice -P- vers l'orifice de sortie -z-.

# Les pompes hydrauliques.

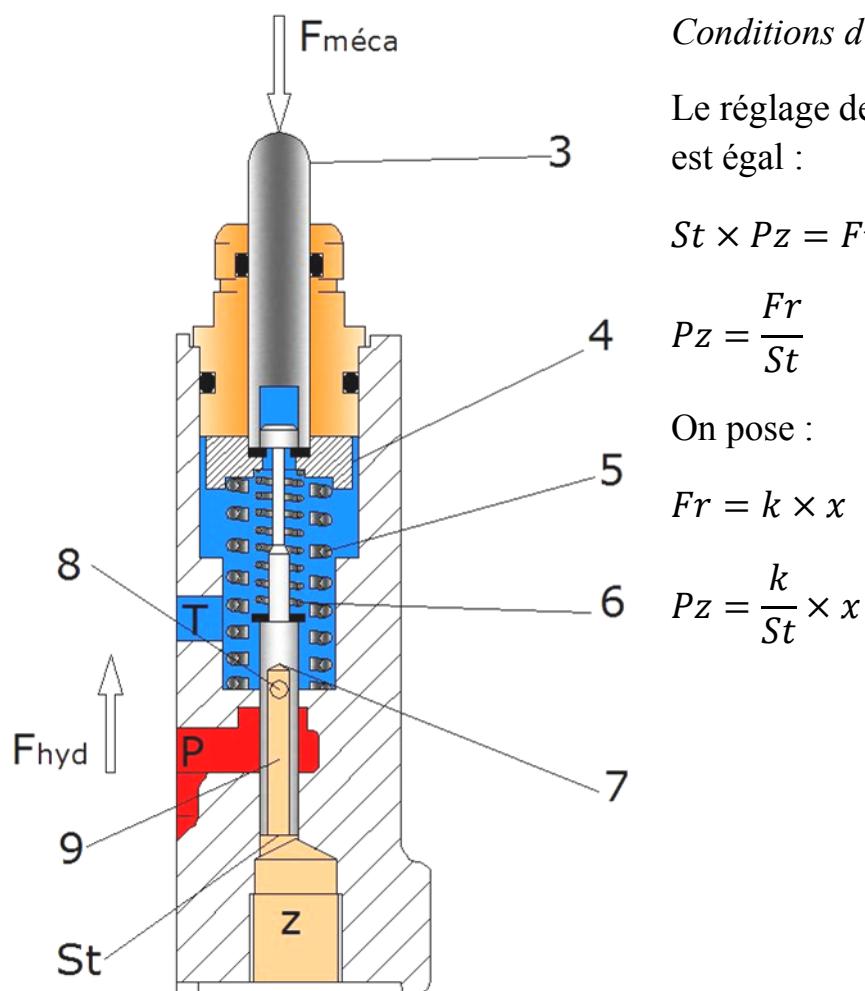
---

*Position :*



La pression de sortie agit sur la face inférieure du tiroir de réglage -7- la force hydraulique ainsi générée s'oppose à l'action du ressort de tarage -6-. Lorsque la pression de sortie atteint la valeur établie par la force du ressort le tiroir se ferme évitant tout dépassement de la pression réglée par l'inclinaison du levier de commande.

# Les pompes hydrauliques.



Conditions d'équilibre :

Le réglage de la pression de sortie est égal :

$$St \times P_Z = Fr$$

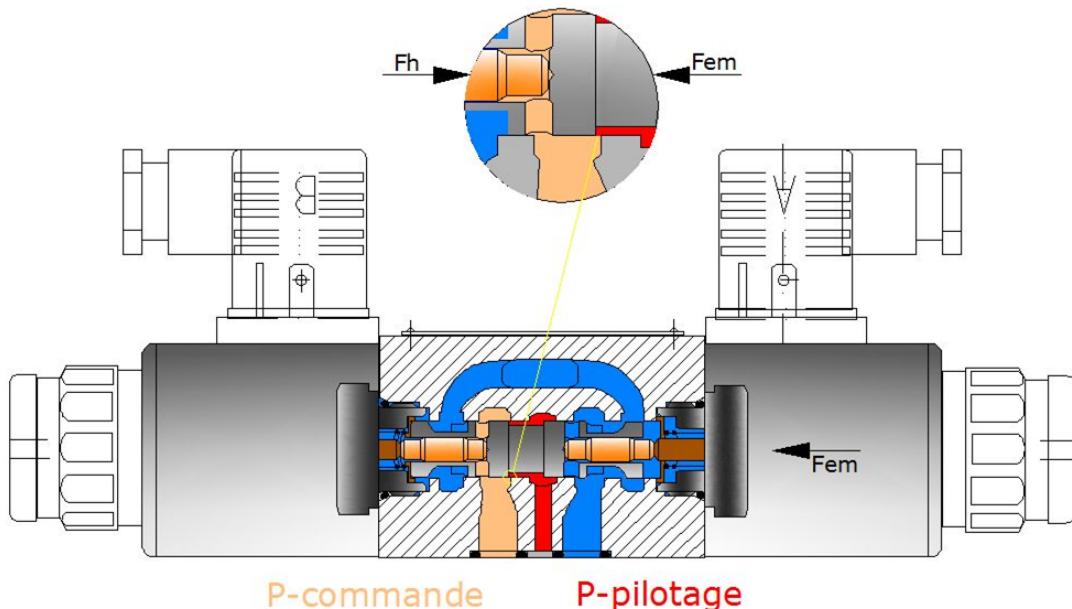
$$P_Z = \frac{Fr}{St}$$

On pose :

$$Fr = k \times x$$

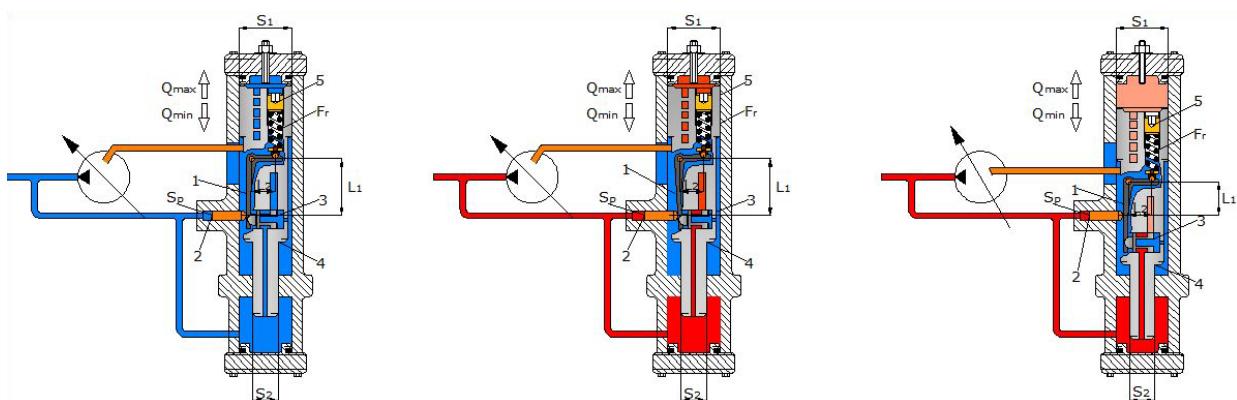
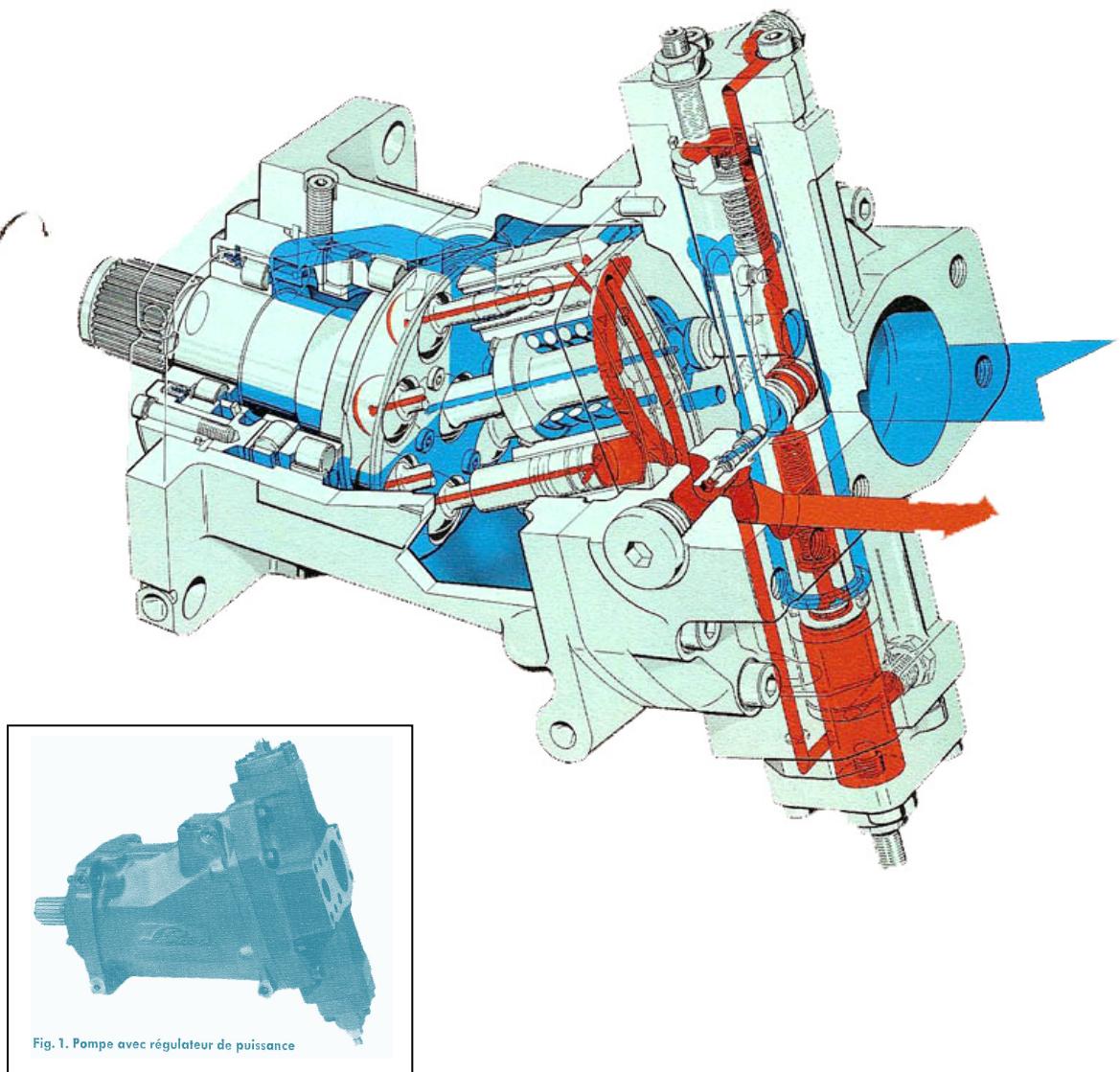
$$P_Z = \frac{k}{St} \times x$$

La commande



# Les pompes hydrauliques.

Pompe Linde : 



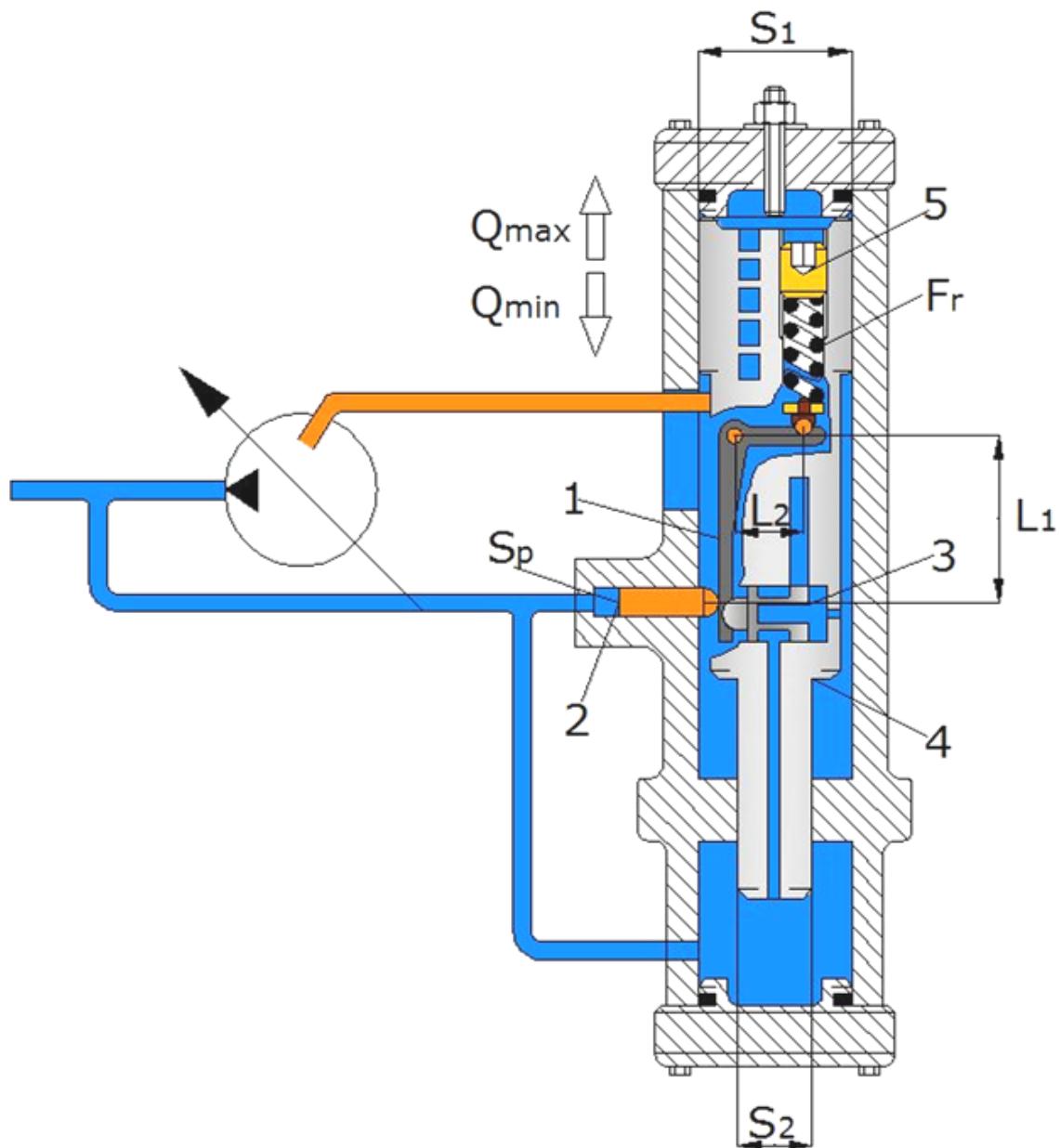
Système de régulation à puissance constante.

# Les pompes hydrauliques.

## **Position repos :**

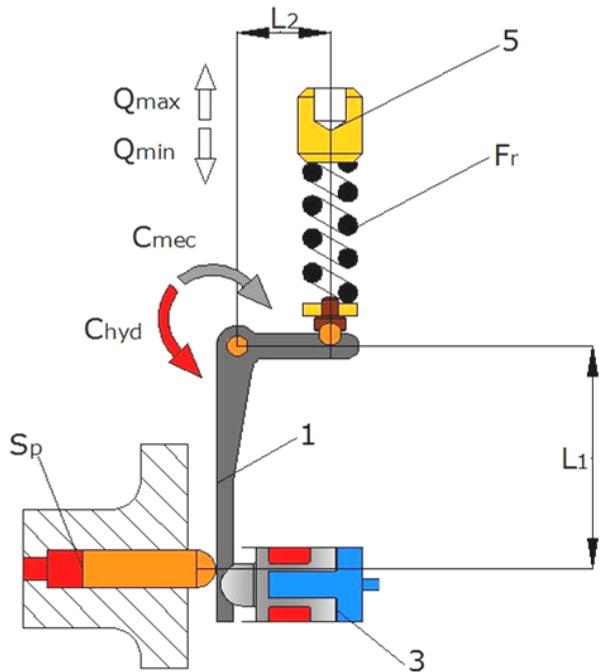
Avec la pompe Linde le système devient réellement un asservissement de puissance. Le système effectue bien une comparaison entre la consigne et la puissance délivrée en sortie représentée par le produit  $P \times Q$ .

Le mécanisme de mesure s'articule autour du levier de commande -1- (bascule) solidaire du piston de réglage du bâillet. Sur lequel s'opposent deux couples.



# Les pompes hydrauliques.

## Bascule de mesure :



L'équilibre de la bascule -1- est obtenu lorsque le couple mécanique -Cmec- est égal au couple hydraulique -Chyd-.

$$C_{mec} = L_2 \times Fr \text{ et } Chyd = Sp \times P \times L_1$$

$$L_2 \times Fr = Sp \times P \times L_1$$

Si l'on admet que le débit Q de la pompe est sensiblement proportionnel à la course du piston de réglage. On peut écrire que la mesure de la puissance est l'image du couple hydraulique -Chyd-. Et qui est ensuite comparé au couple de consigne mécanique -Cmec- fourni par la tension du ressort -Fr-.

L'écart consigne/mesure se traduit par la rotation de la bascule et provoque le déplacement du tiroir pilote -3- chargé d'alimenter la chambre -S1- du piston de manœuvre. Il s'en suit une réduction du débit et le la longueur -L1-.

**Exemple :** Condition de départ  $1 \times Sp \times L_1 = Fr \times L_2$

après modification de la pression de refoulement  $P'1 \times Sp \times L'1 = Fr \times L_2$

$$P_1 \times L_1 = P'1 \times L'1$$

Or, L1 est proportionnel au débit -Q- de la pompe :

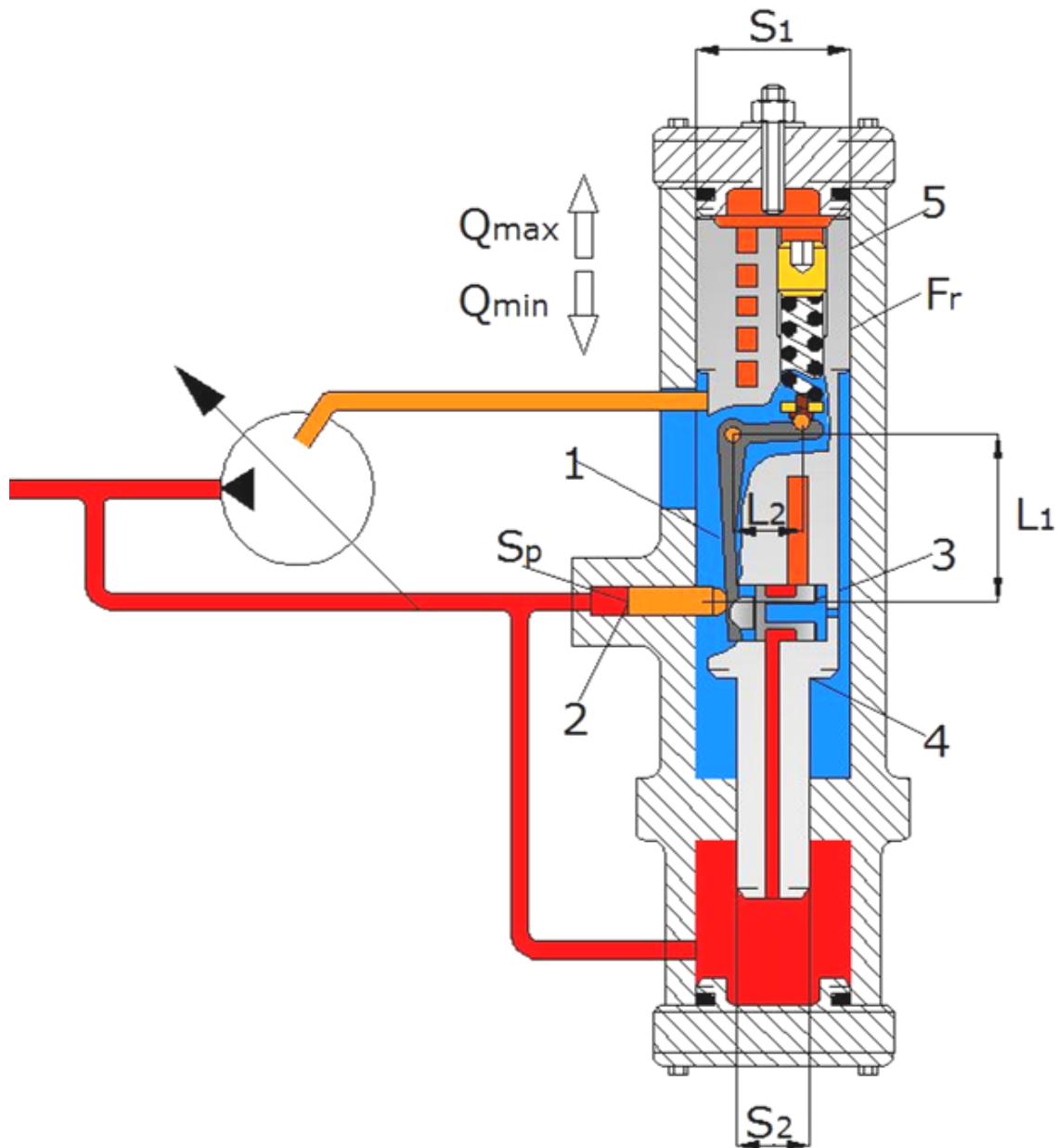
$$P_1 \times Q_1 = P'1 \times Q'1$$

On bien la même puissance dans les deux cas.

# Les pompes hydrauliques.

---

*Affichage :*

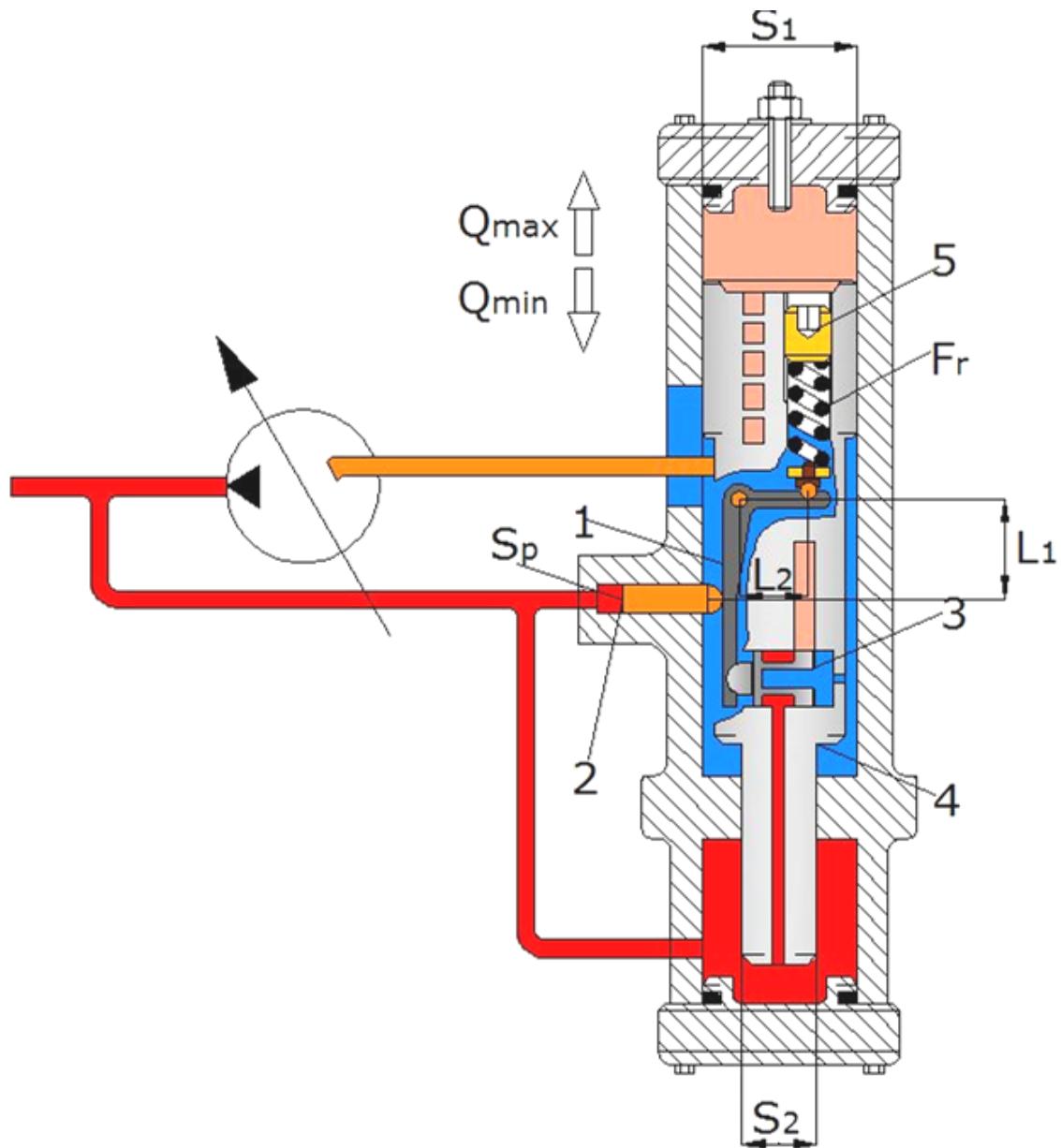


Lorsque la pression de refoulement augmente la force du piston -Sp- croît et provoquant la rotation de la bascule et le déplacement du tiroir pilote -3-. La chambre -S1- du piston de réglage est alimenté.

# Les pompes hydrauliques.

---

**Position :**



L'alimentation de la chambre -S1- provoque le déplacement du piston de réglage vers le bas. La cylindrée et la longueur -L1- s'en trouve diminuée. Afin qu'un nouvel équilibre des couples hydraulique - $C_{hyd}$ - et mécanique - $C_{mec}$ - soit établit.

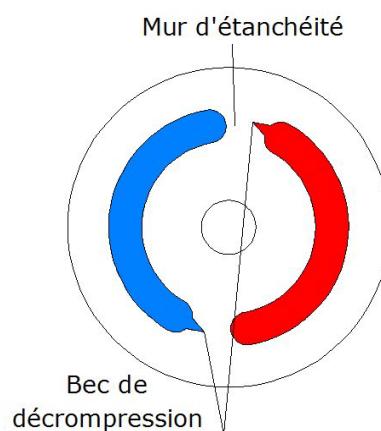
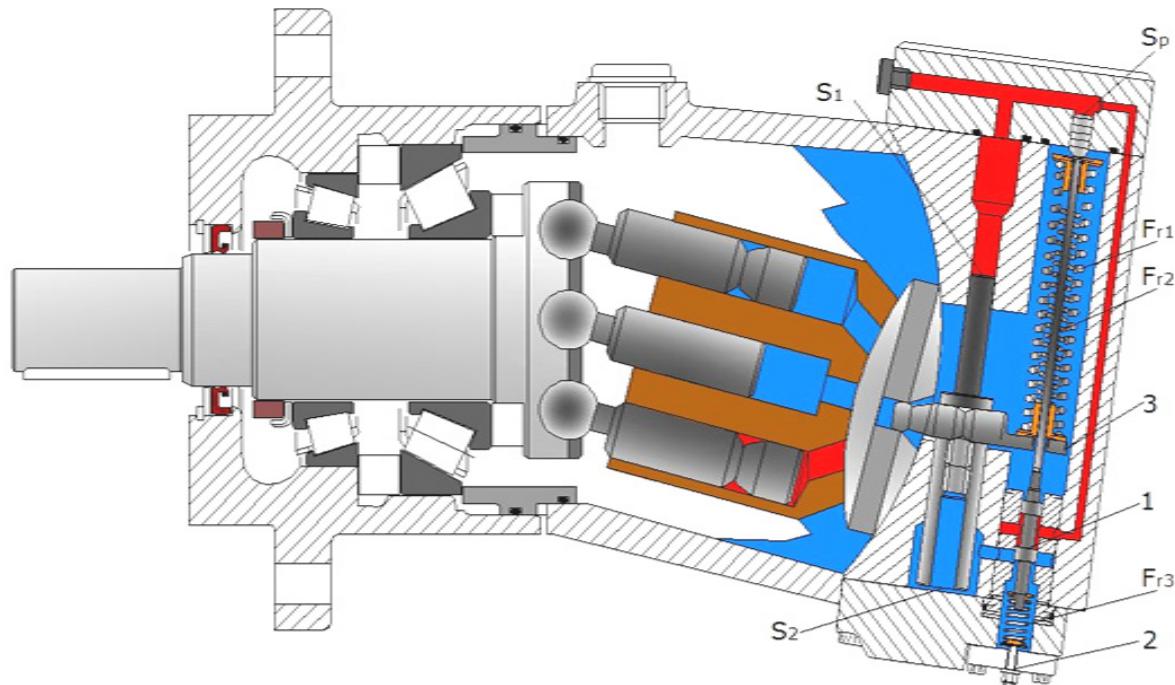
# Les pompes hydrauliques.

## *Principe de régulation Type Hydromatik « A7V0 ».*

On retrouve ici le système à 2 ressorts -Fr1- et -Fr2- similaire au système Bosch.

L'action des deux ressorts -Fr1- et -Fr2- est décalée afin d'avoir deux droites de pente différente qui encadrent l'hyperbole de puissance constante.

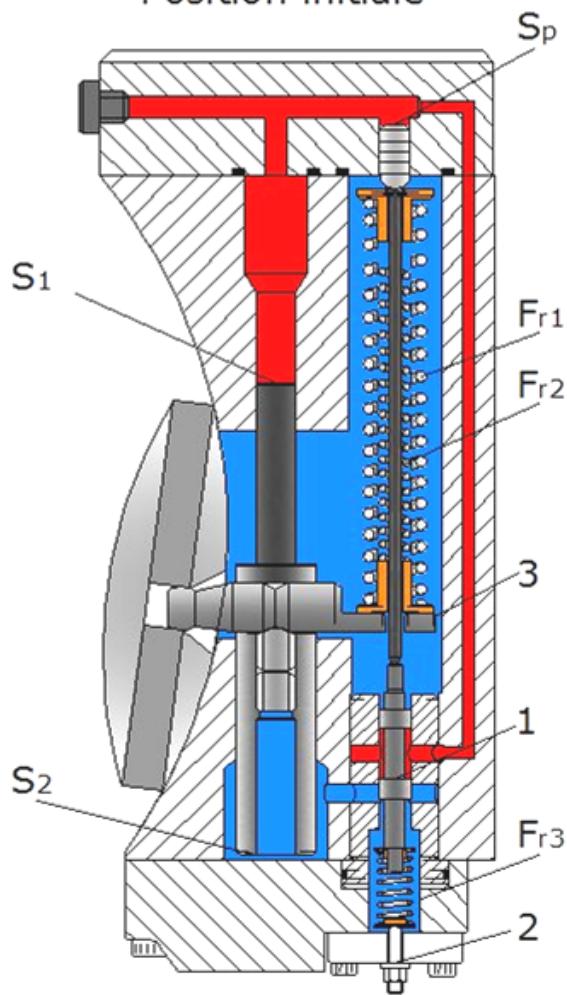
Système de régulation à puissance constante



Le régulateur est assisté par la pression de refoulement qui agit sur le piston de manœuvre à sections différentes  $S_2 = 2S_1$  par l'intermédiaire d'un tiroir de commande -1-.

# Les pompes hydrauliques.

## Position initiale



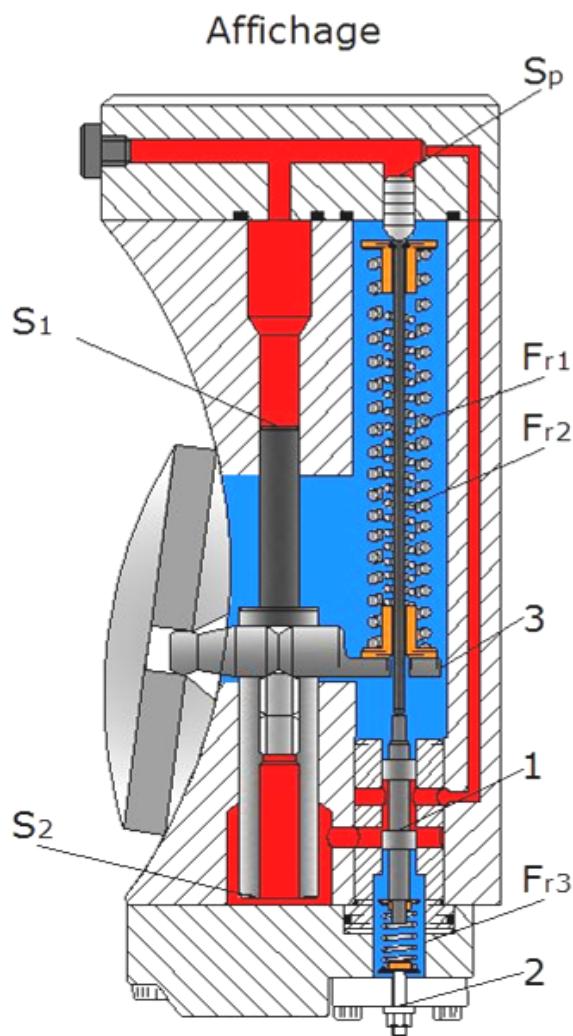
## Position initiale :

Tant que la force engendrée par la pression de refoulement qui agit sur le piston de mesure -Sp- reste inférieure à celle exercée par le ressort -Fr1-.

La chambre S2 du piston de manœuvre communique avec le réservoir.

La cylindrée maximale de la pompe est maintenue par l'action de la pression sur la section -S1- du piston du régulateur.

# Les pompes hydrauliques.



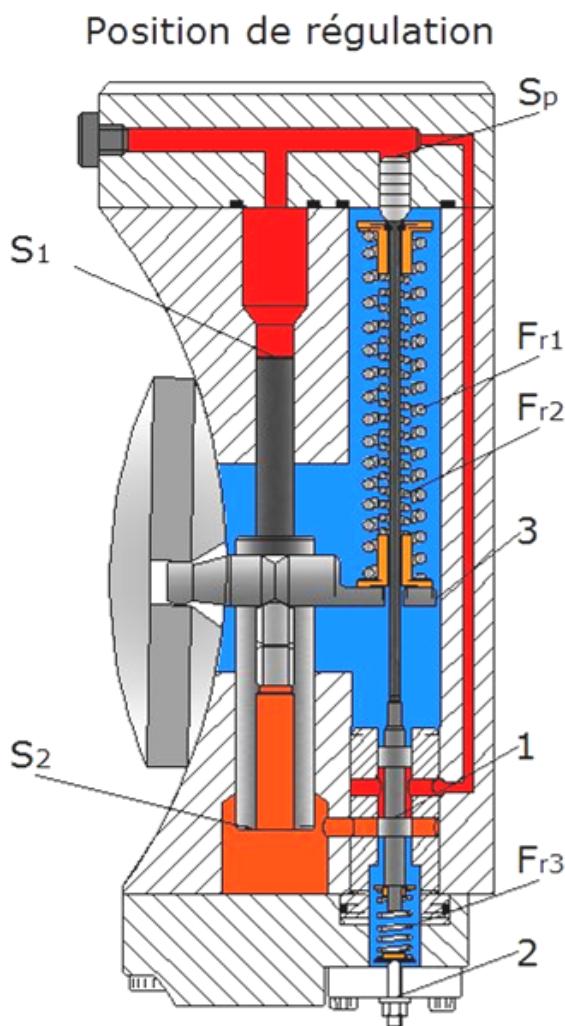
## Affichage :

Lorsque la force hydraulique agissant sur le piston de mesure - $S_p$ - dépasse la force mécanique du ressort - $F_{r1}$ -.

Le tiroir de mesure - $S_p$ - se déplace vers le bas et, appuie sur le tiroir de commande -1- par l'intermédiaire de la tige de poussée.

Le déplacement du tiroir de commande -1- vers le bas déclenche l'admission d'huile de pilotage dans la chambre - $S_2$ - du piston manœuvre.

# Les pompes hydrauliques.



## Mise en position :

Le rapport des sections S<sub>2</sub>/S<sub>1</sub> étant égal à 2 la force hydraulique exercée par la section -S<sub>2</sub>- est deux fois plus importante que celle exercée par la section -S<sub>1</sub>-.

Le piston de manœuvre se déplace vers le haut, entraînant la réduction de la cylindrée de la pompe et simultanément par l'intermédiaire de l'étrier -3- la compression du ressort -Fr<sub>1</sub>- contre le piston de mesure -Sp-.

Au moment où la force mécanique du ressort -Fr- est égale à la force hydraulique du piston de mesure. La tige de poussée libère le tiroir de commande -1- qui recentre sur les arêtes de distribution.

Le système est en équilibre.

Toute modification de la pression de refoulement engendre la modification de la cylindrée ; afin de conserver la relation  $P = P \times Q = Ct$ .

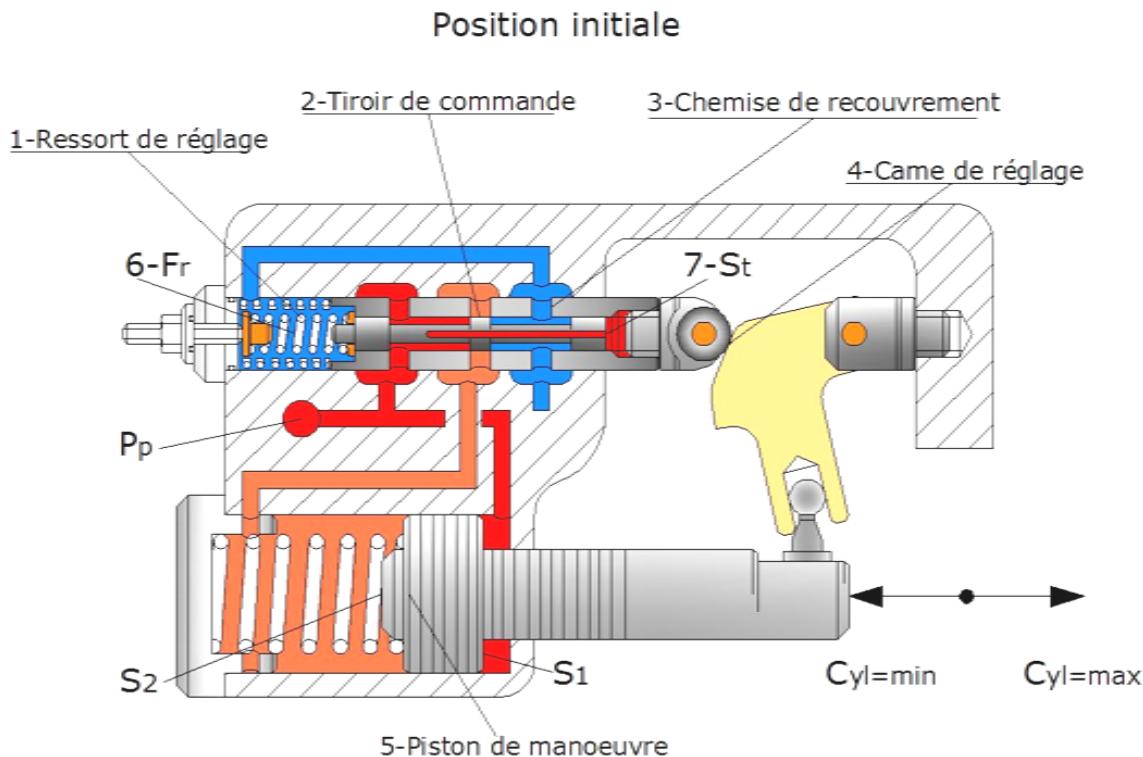
Le réglage de la tension du ressort -Fr<sub>3</sub>- par la vis de réglage -2- décale la courbe de puissance sur l'axe de pression.

# Les pompes hydrauliques.

## *Servo-commande asservie par came :*

*Principe (Rexroth/Hydromatik).*

Il s'agit d'un système qui assure une bonne précision en approchant au plus près l'hyperbole de puissance constante.



Il est constitué principalement d'un vérin différentiel de manœuvre relié à la fois au bâillet de la pompe et à la came de réglage (*recopie de position*), d'un tiroir de commande dont les arêtes sont à recouvrement nul, qui coulisse à l'intérieur d'une chemise de recouvrement, d'un ressort de mesure réglable -Fr-.

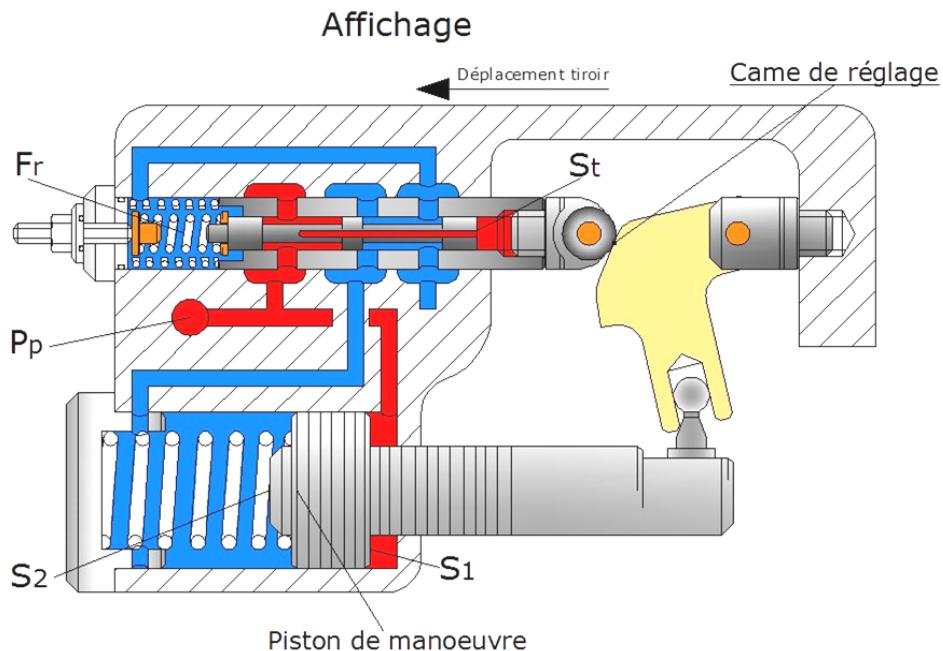
### *Position initiale :*

La pression de refoulement -Pp- alimente la section -S1- du vérin de manœuvre et le dispositif de distribution formé par le tiroir de commande, la chemise de recouvrement, et le ressort de mesure. La pression de sortie est dirigée sur la section -St- du tiroir de commande par un canal central. La force hydraulique étant inférieure à celle du ressort -Fr- le tiroir de commande obture l'orifice d'alimentation de la chambre -S2- du vérin de manœuvre et bloque ainsi tout mouvement du vérin de manœuvre.

# Les pompes hydrauliques.

## Affichage :

Lorsque la pression qui agit sur la face -St- du tiroir de commande engendre une force hydraulique supérieure à celle du ressort de mesure -Fr- le tiroir de commande se déplace vers la gauche.

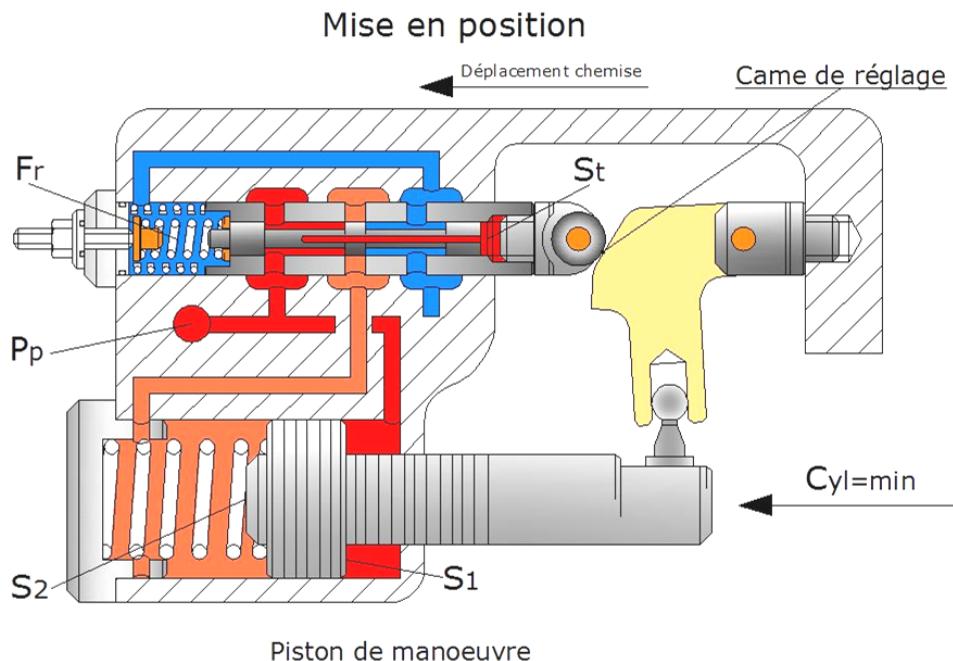


A cet instant les arêtes du tiroir de commande découvrent l'orifice d'alimentation de la chambre -S2- du vérin de manœuvre et s'en trouve purgé au carter. La pression maintenue dans la chambre -S1- provoque le déplacement du vérin de manœuvre vers la gauche. Dans sa course il entraîne le bâillet et la came de réglage.

# Les pompes hydrauliques.

## ***Mise en position :***

Le pivotement de la came de réglage a pour effet de déplacer la chemise de recouvrement dans le même sens que celui du tiroir de commande.



Ce déplacement durera jusqu'au moment où les arêtes du tiroir de commande recouvriront l'orifice d'alimentation de la chambre -S2- du vérin de manœuvre.

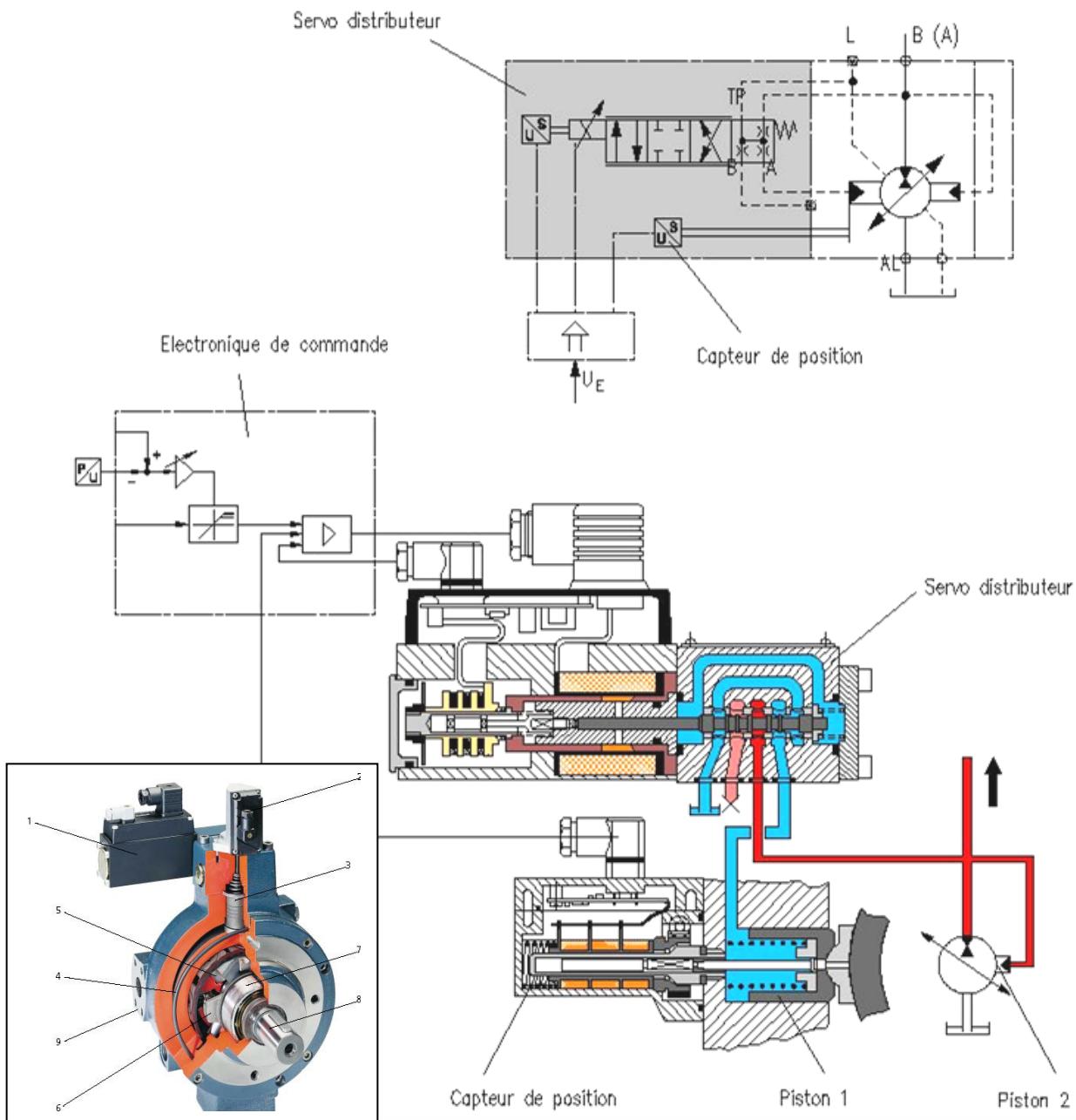
Le vérin de manœuvre s'en trouve immobilisé réglant le débit sur la courbe de puissance constante.

L'analyse du mécanisme fait apparaître un asservissement de position entre le déplacement du tiroir de commande -2-, lié à la pression du circuit.

Et la boucle de retour de la chemise de recouvrement -3- lié au profil de la came de réglage.

Il est donc possible de réaliser d'autre profil de came pour réaliser des fonctions différentes.

# Les pompes hydrauliques.



## 1. Généralités

La pompe à piston radial et à pilotage électrohydraulique (RKP-EHV) peut-être intégrée directement dans les systèmes de régulation, ce qui, en raison des hautes exigences demandées à la dynamique et à la précision de répétition, n'était réalisable jusqu'ici qu'avec l'utilisation de servovalves et de vannes de régulation. Ce système permet de réaliser dans de nombreux cas des machines et des agrégats hydrauliques.

- de meilleure qualité
- plus économiques en énergie
- moins onéreux.

## 2. Programme

Sept tailles de construction différentes entre 19 et 140 cm<sup>3</sup>/tr (circuit ouvert)

Disposition multiple : le montage axial de pompes à piston radial ou à roues dentées permet l' entraînement de plusieurs pompes sur un arbre.

## 3. Fonctionnement

La RKP à pilotage électro-hydraulique est, comparée à une RKP à pilotage purement hydromécanique, équipée

# Les pompes hydrauliques.

---

de trois composants supplémentaires :

- Un système de mesure de la position (11)
  - Une vanne de régulation (hautement dynamique) (12)
  - Un amplificateur électronique Ce qui permet de réaliser les fonctions suivantes :
- Commande du débit : L'excentricité de la bague de commande est proportionnelle au débit de la pompe lorsque la vitesse d'entraînement est constante. Le jeu d'ensemble de système de mesure de la position, amplificateur électronique et vanne de régulation permettent la régulation précise de la position de la couronne de levage et donc la commande du débit souhaité.
  - Régulation électronique de la pression : Lorsque la pression a atteint sa valeur de consigne, le courant volumique de la pompe est alors diminué juste assez pour maintenir la pression existante.

Compensation de l'huile de fuite : Grâce à une commutation électrique installée dans le système électronique d'amplification, vous pouvez compenser de façon notable les pertes volumétriques de la pompe qui dépendent de la pression.

## Régulation :

L'excentricité de l'anneau de réglage est directement mesurée sur le piston de réglage par un capteur électronique de déplacement, étanche à la pression. Un amplificateur électronique compare le signal du capteur du déplacement avec le signal de consigne donné. En fonction de l'écart, il agit sur la vanne de régulation en sorte d'ajuster la couronne de levage. Le mode de fonctionnement est comparable à celui d'une vanne proportionnelle ou de régulation à deux paliers. Le type de construction de la soupape pilote est identique. Toutefois, à la place de la vanne pilote principale, c'est la couronne de levage qui entre ici en action. Cette couronne de levage est déplacée par deux pistons disposés face à face dans le carter de la pompe. L'adaptation en continu de la course du piston de pompe, et donc la modification du débit, sont obtenues par la commande de la vanne de système. Pour les systèmes à régulation hydromécanique du débit, la puissance de perte est proportionnelle au débit volumique ( $PV \sim dp^*Q$ ), cette perte due au système disparaît.

## 4. Les avantages par rapport à la solution avec le régulateur mécanique de pression – débit.

Des temps de réglage plus courts lors d'une basse pression de système, particulièrement dans le cas d'une alimentation externe en pression du système de réglage.

Linéarité de la ligne caractéristique de pression jusqu'aux basses valeurs de réglage de la pression, ce qui permet d'obtenir une grande haute précision des valeurs de pression réglées, et ce, même dans des plages de basse pression.

Un meilleur degré d'action du système. Pour les systèmes à régulation hydromécanique du débit, la puissance de perte est proportionnelle au débit volumique ( $PV \sim dp^*Q$ ), cette perte due au système disparaît.

## Amplificateur électronique

Le modèle de base (0811 405 090) contient un circuit de contrôle du positionnement pour la couronne de levage de la pompe, et un circuit de régulation sous-jacent pour la vanne de régulation. Le débit de la pompe est réglé proportionnellement à la tension d'entrée de 0...10 V.

Les modèles p/Q (0 811 405 159 et 0 811 405 160) permettent en outre une régulation électronique de la pression. Un détecteur de pression, comprenant un amplificateur, mesure la pression du système. Les résultats sont comparés dans le circuit de contrôle de la pression sur la carte d'amplification avec la pression de consigne. Le volume débité par la pompe est diminué en fonction de l'écart de régulation existant. La carte d'amplification contient des options d'adaptation des paramètres de régulation au système existant. La plage de tension de consigne du régulateur de pression se situe également entre 0 et 10 V. Les entrées des valeurs de consigne pour pression et débit volumique dont dispose effectivement le consommateur est pratiquement indépendant de la pression lorsque la vitesse de rotation est constante.

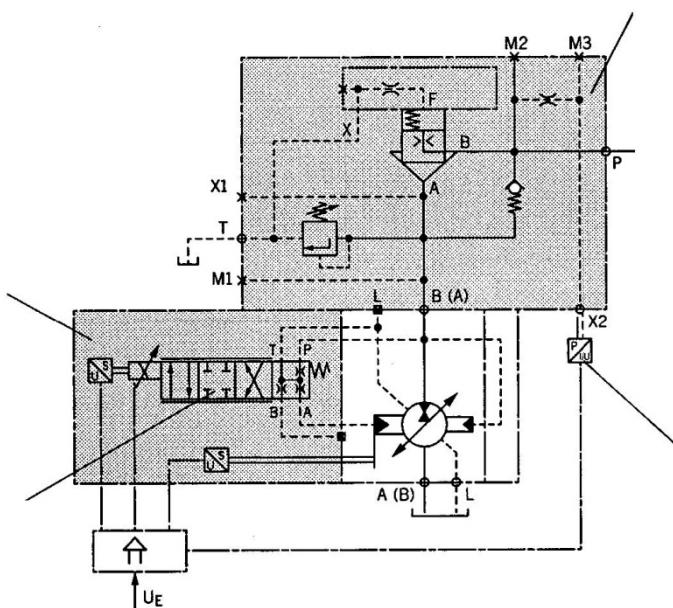
Le servo-distributeur est alimenté en huile de commande à partir de la conduite de refoulement de la pompe. Pour le réglage du débit de la pompe, seul l'orifice d'alimentation et d'écoulement du piston de réglage ayant le plus grand diamètre est influencé. Le petit piston de réglage situé à l'opposé est toujours relié avec la conduite de refoulement de la pompe. Ce pilotage est utilisé lorsque la pression minimale du système n'est pas inférieure à 16 bar. En cas de pressions plus basses, il faut prévoir une alimentation en pression externe (page 11) ou une alimentation en pression interne avec bloc de valves de précontrainte (page 10 et 38 ff.). Pour les pompes à

# Les pompes hydrauliques.

pilotage par alimentation en pression interne, il faut utiliser, en cas de régulation de la pression et du débit, l'amplificateur de valve (pQT) à fonction de balayage 0 811 405 160, voir pages 52.

En cas de pression du système basse, une élévation de la pression de commande devient nécessaire afin de conserver une dynamique suffisante. Cela est assuré par une valve de pression supplémentaire (valve de précontrainte) qui s'ouvre seulement à 16 bar. Grâce à ce système, une régulation de la pression est donc également possible pour des pressions inférieures à 16 bar. Au-dessus de la pression d'ouverture de la valve de précontrainte, on est sûr de ne pas avoir de pertes d'énergie en cas de pression plus élevée du système. La valve de précontrainte est intégrée dans un petit bloc qui est monté sur le raccord de pression de la pompe. Outre la valve de précontrainte, ce bloc comprend une valve de sécurité pour le système, un clapet anti retour pour la baisse de la pression et la possibilité d'une régulation de la pression en dessous de  $p = 16$  bar, ainsi qu'une possibilité de raccordement d'un capteur de pression. Pour les pompes à pilotage par alimentation en pression interne, il faut utiliser, en cas de régulation de la pression et du débit, l'amplificateur de valve (pQT) à fonction de balayage 0 811 405 160, voir pages 52.

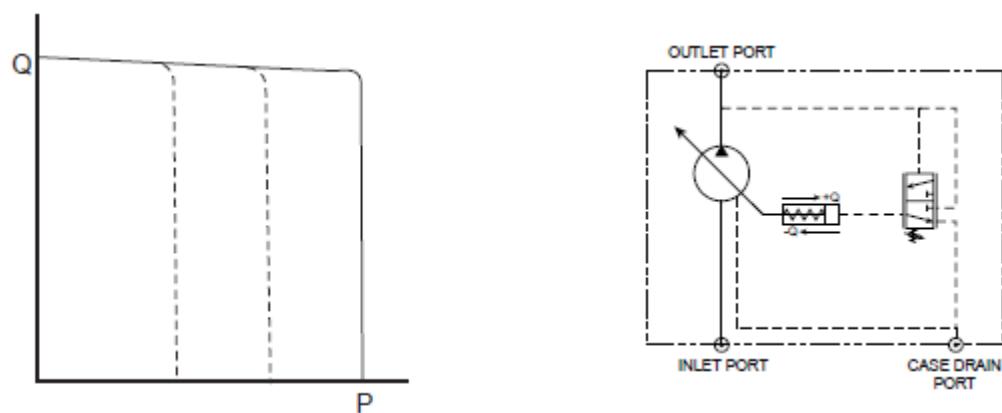
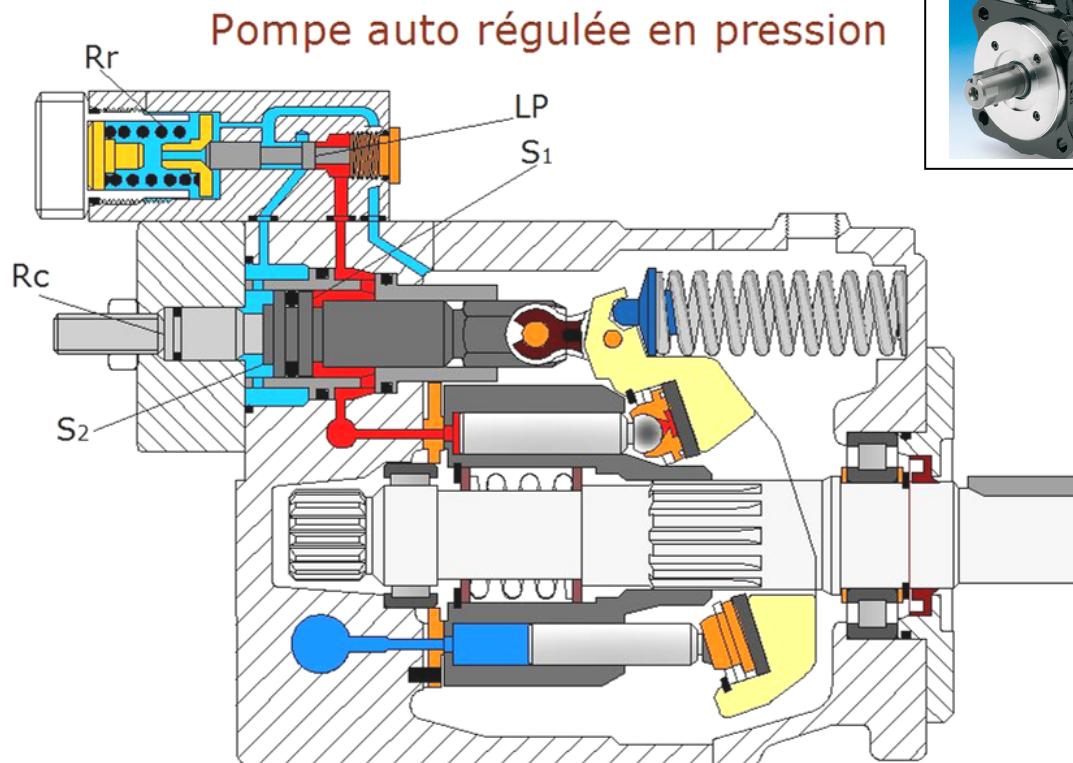
La représentation ci-dessus montre une autre variante de circuit. Dans ce cas de figure, une petite pompe supplémentaire à débit constant destinée à l'alimentation en huile de commande est posée sur la pompe à pistons radiaux. Dans le cas d'une pression de service basse ou d'un débit nul, elle assure l'alimentation en huile du dispositif de réglage électrohydraulique. La conception du circuit d'huile de commande externe dépend des exigences dynamiques respectives. En règle générale, une alimentation en basse pression suffit. En cas de pression élevée, l'huile de commande est retirée du système principal. Cette version est recommandée lorsqu'un circuit hydraulique supplémentaire destiné à l'alimentation de fonctions auxiliaires ou un circuit de refroidissement ou de filtration est de toute façon prévue. Cylindrée de la pompe à débit constant destinée à l'alimentation en pression de commande : RKP 19 jusqu'à  $45 \text{ cm}^3/\text{t}$ :  $V = 4 \text{ cm}^3/\text{t}$  (valeur indicative) RKP 63 jusqu'à  $100 \text{ cm}^3/\text{t}$ :  $V = 8 \text{ cm}^3/\text{t}$  (valeur indicative) RKP 140  $\text{cm}^3/\text{t}$ :  $V = 11 \text{ cm}^3/\text{t}$  (valeur indicative). Pour les pompes à pilotage par alimentation en pression externe, il faut utiliser, en cas de régulation de la pression et du débit, l'amplificateur de valve (pQL) à fonction de balayage 0 811.



Document d'origine **MOOG**.

# Les pompes hydrauliques.

*Pompe à débit variable à maintien de pression :* 



La pompe est équipée d'une valve de séquence -1- alimenté par la pression de refoulement.

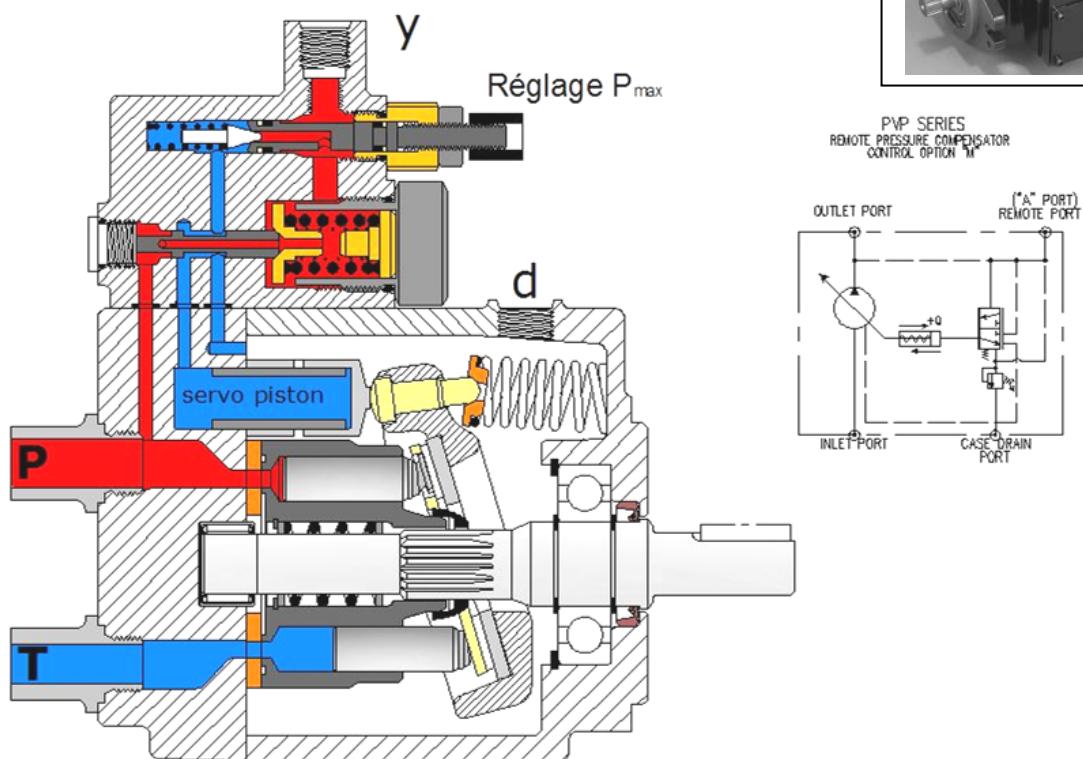
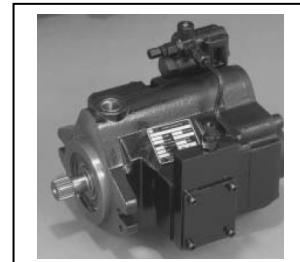
# Les pompes hydrauliques.

## **Fonctionnement à pression constante :**

Lorsque le débit fourni par la pompe est excédentaire à la consommation la pression de refoulement croît. Quand elle engendre sur le tiroir -Lp- une force supérieure à celle du ressort de tarage -Rr- le tiroir de commande se déplace vers la gauche et, déclenche l'alimentation de la section -S2- du vérin différentiel de manœuvre. Ce qui déclenche le pivotement du plateau donc la diminution de la cylindrée jusqu'à équilibrer le débit consommé.

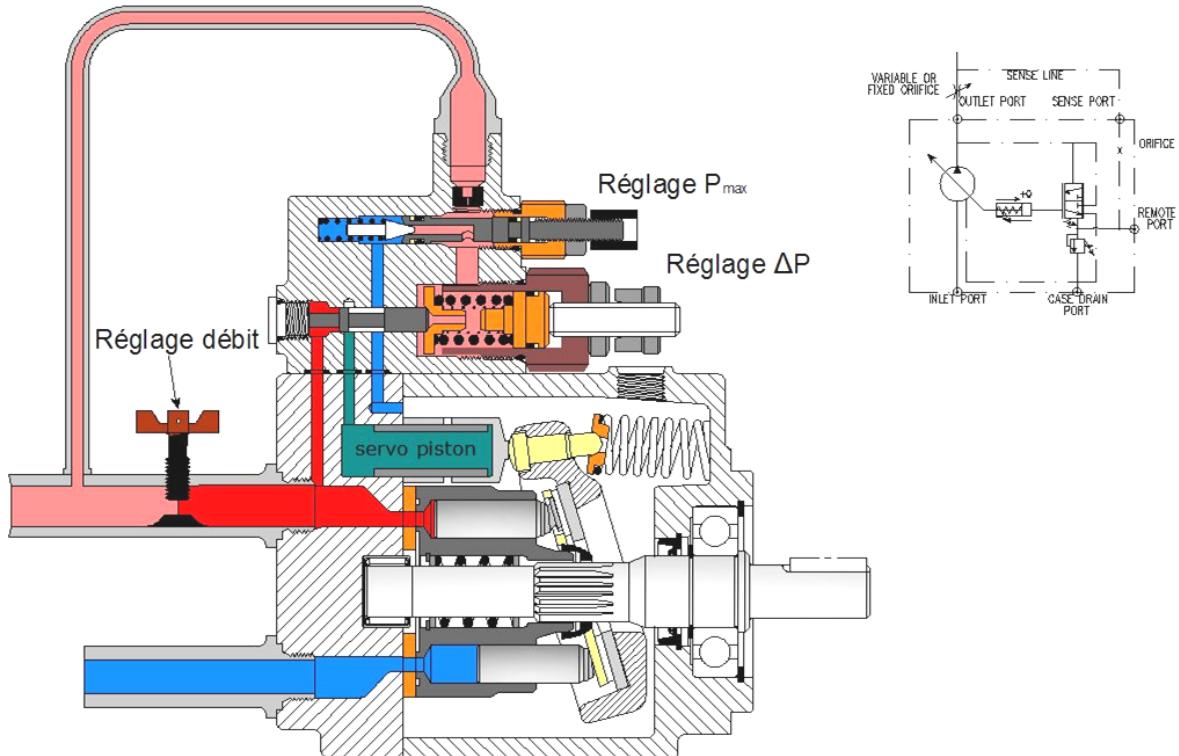
Inversement lorsque le débit

## **Pompe à débit variable à maintien de pression avec pilotage à distance :**



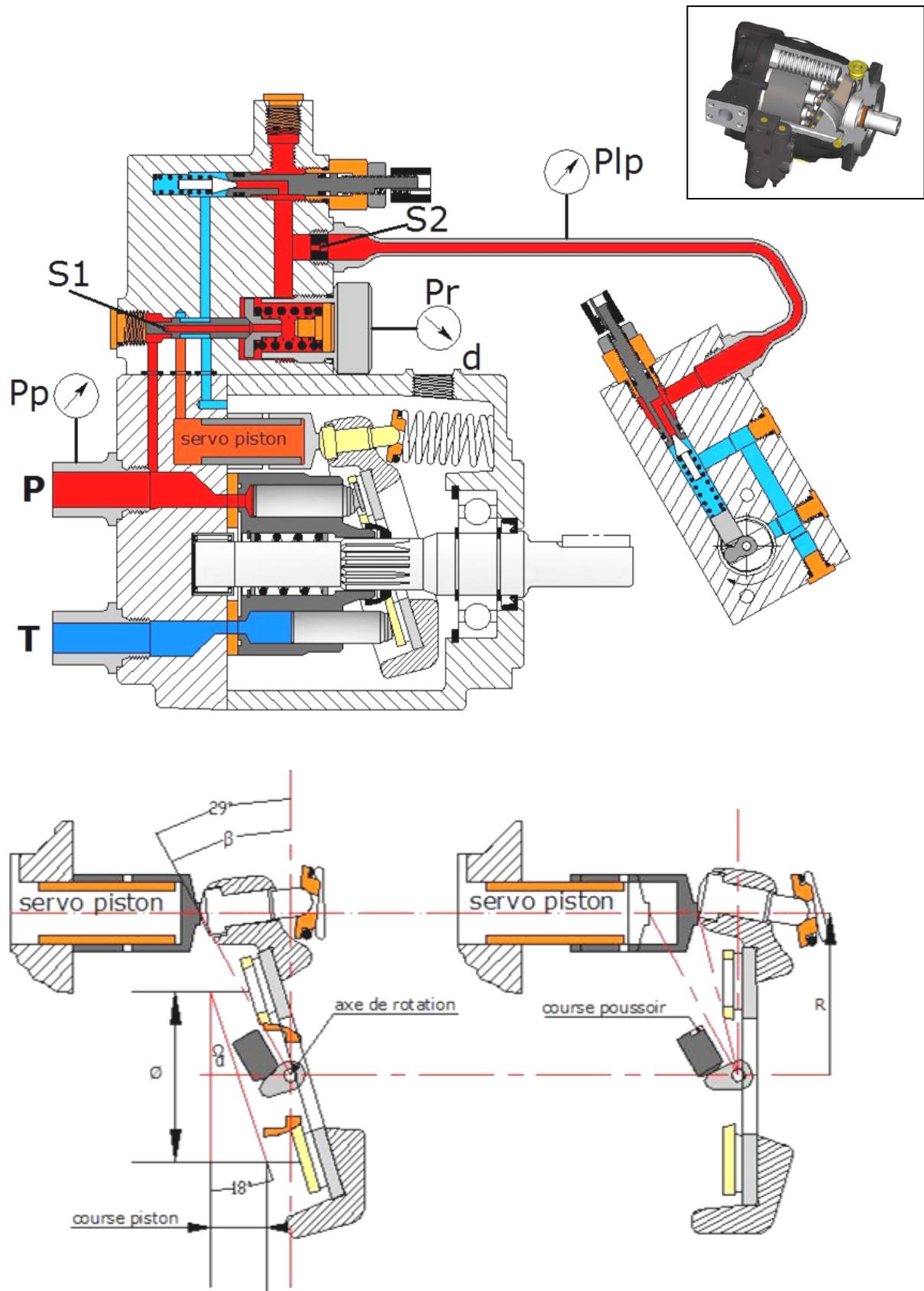
# Les pompes hydrauliques.

**Pompe à débit variable avec régulation Load sensing et pression maximum :**

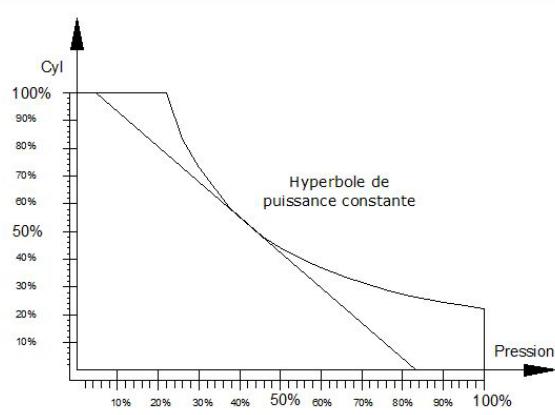
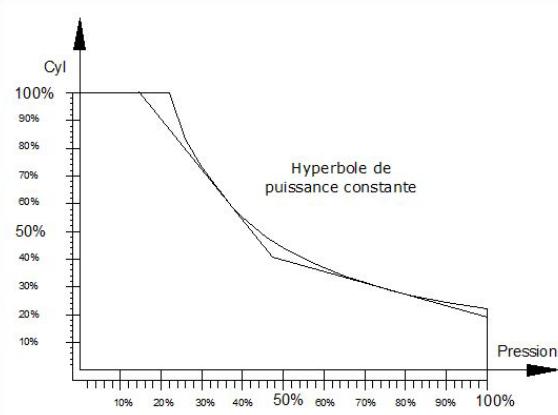
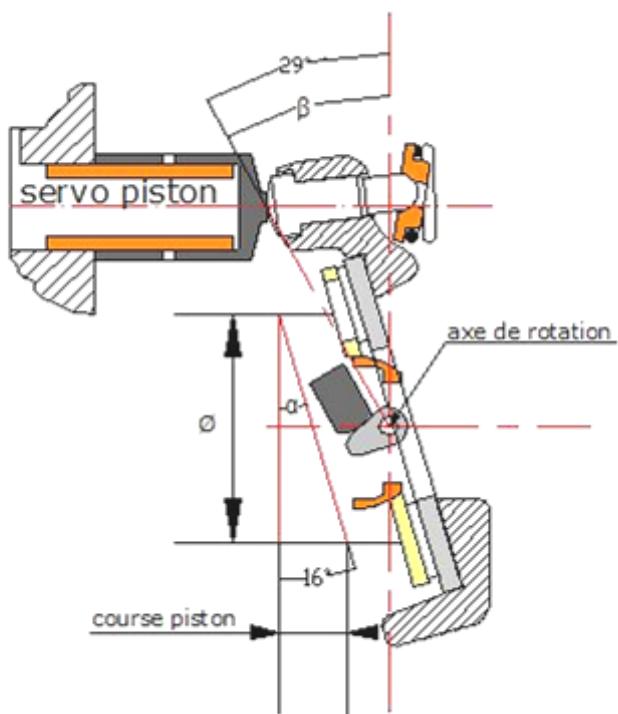
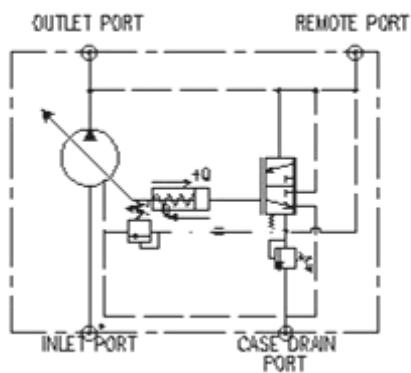


# Les pompes hydrauliques.

*Pompe à débit variable avec régulation à puissance constante et réglage de la pression maximum :*



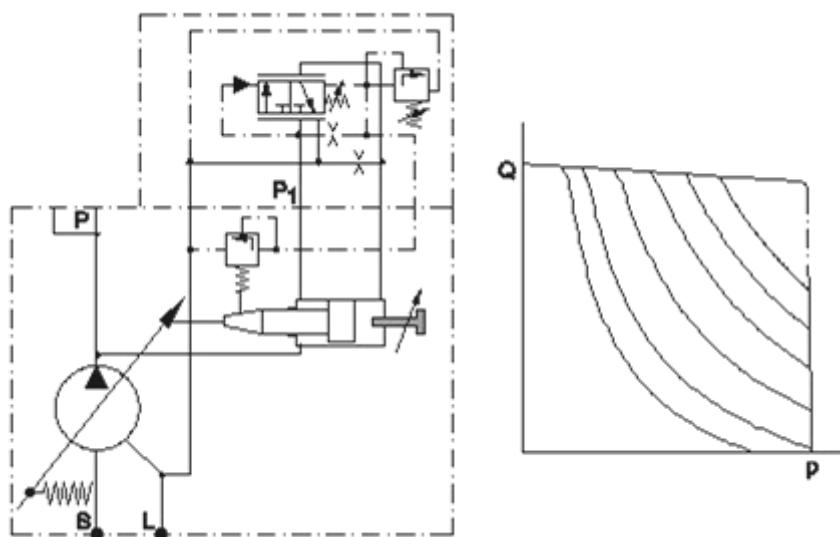
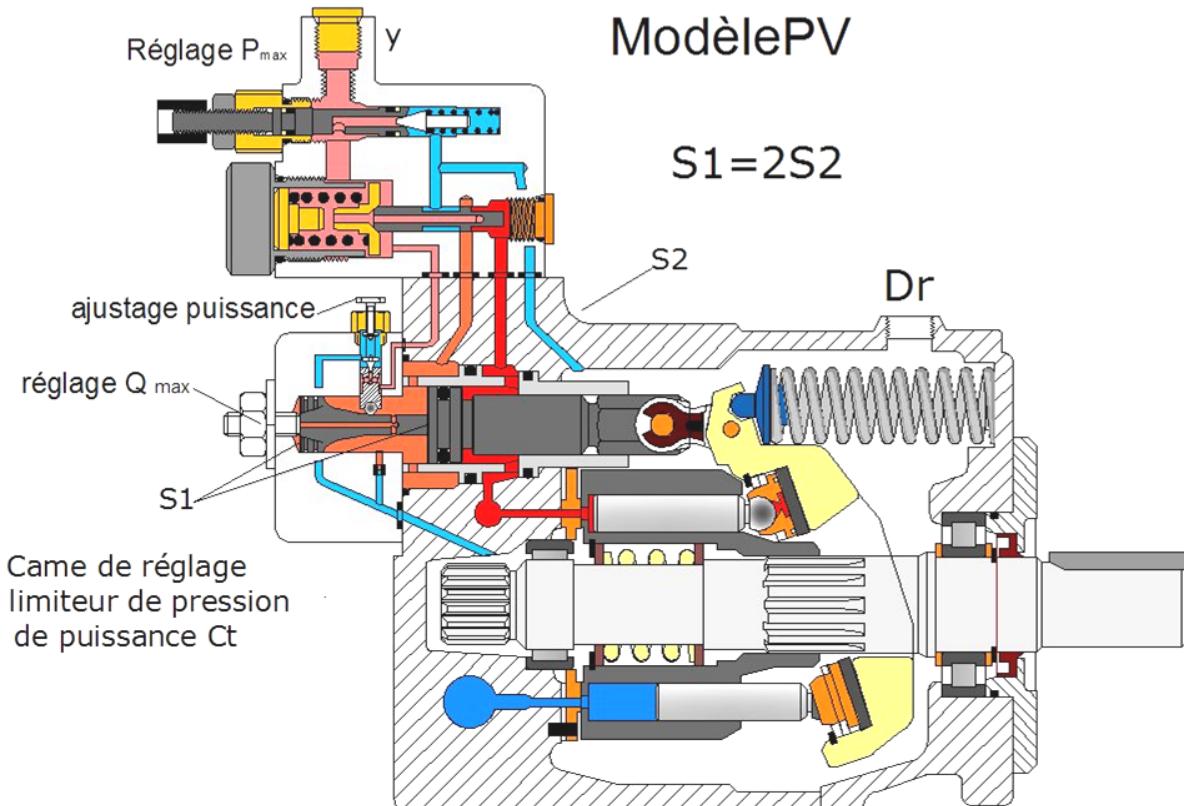
# Les pompes hydrauliques.



# Les pompes hydrauliques.

*Variante de construction d'un système à puissance constante :* 

*Origine Parker.*

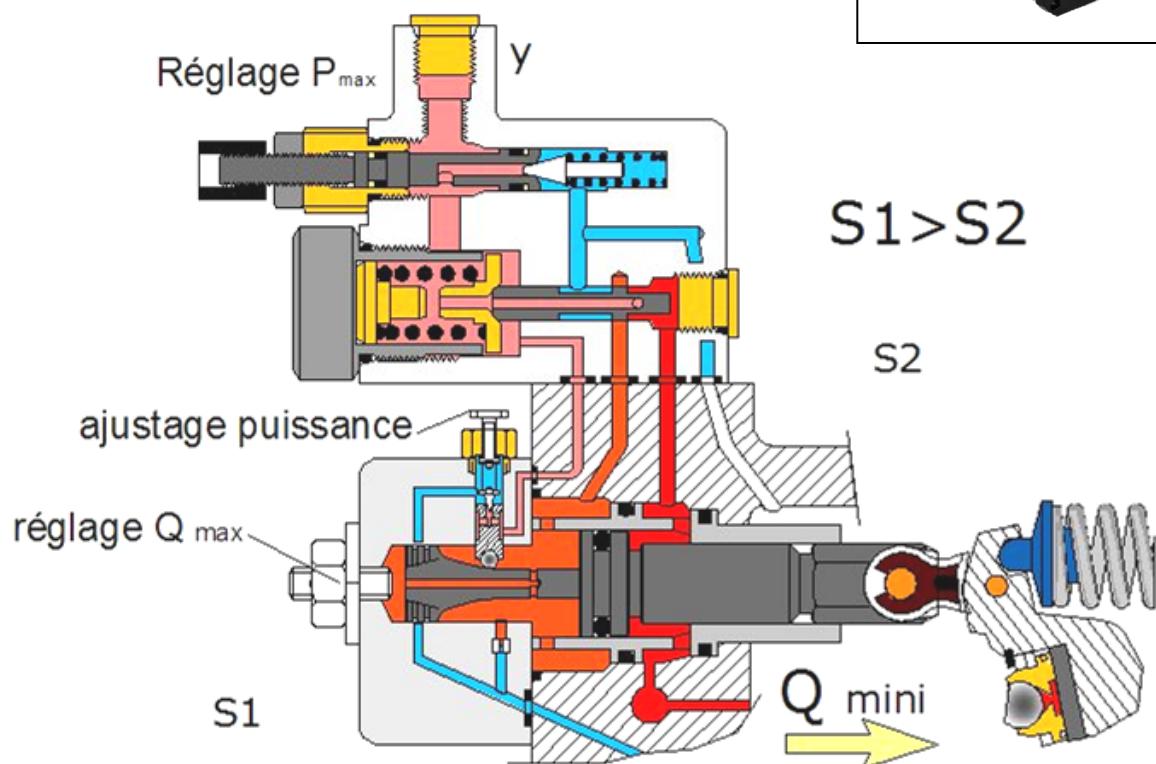


# Les pompes hydrauliques.



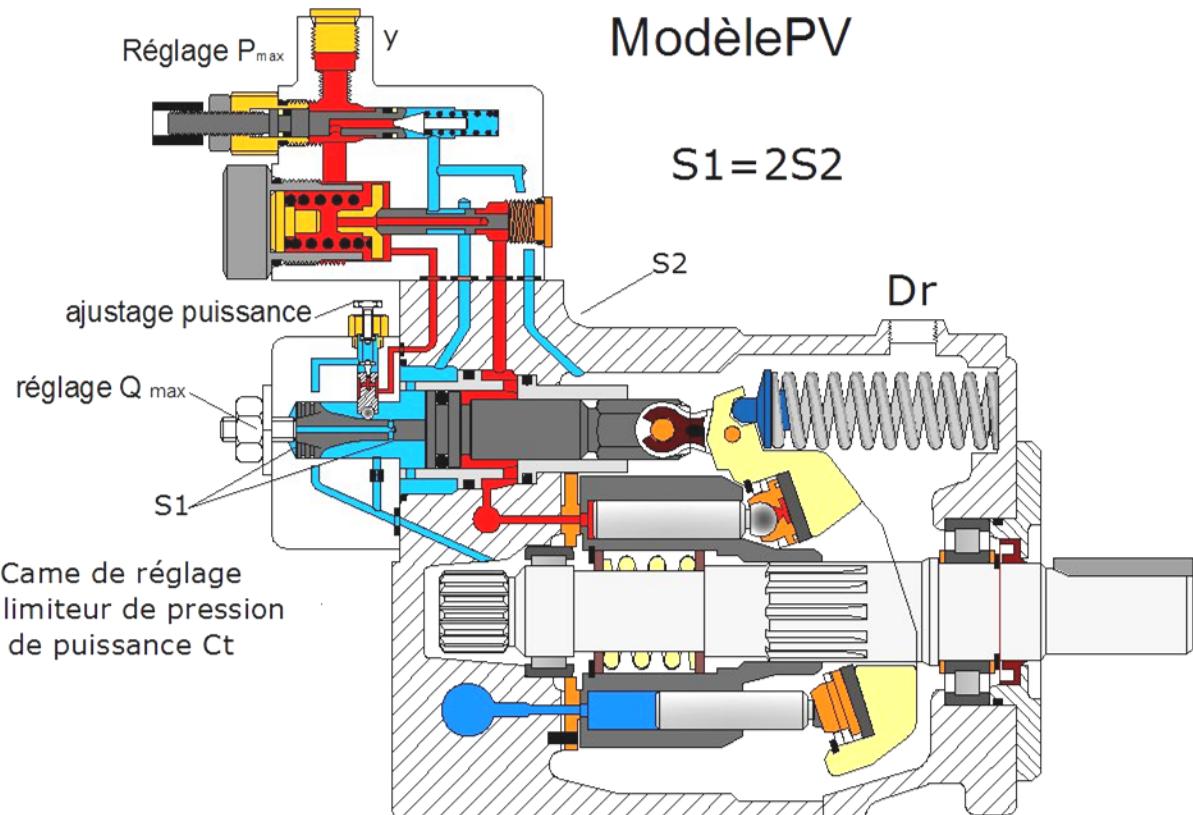
Modèle PV

régulateur puissance constante



# Les pompes hydrauliques.

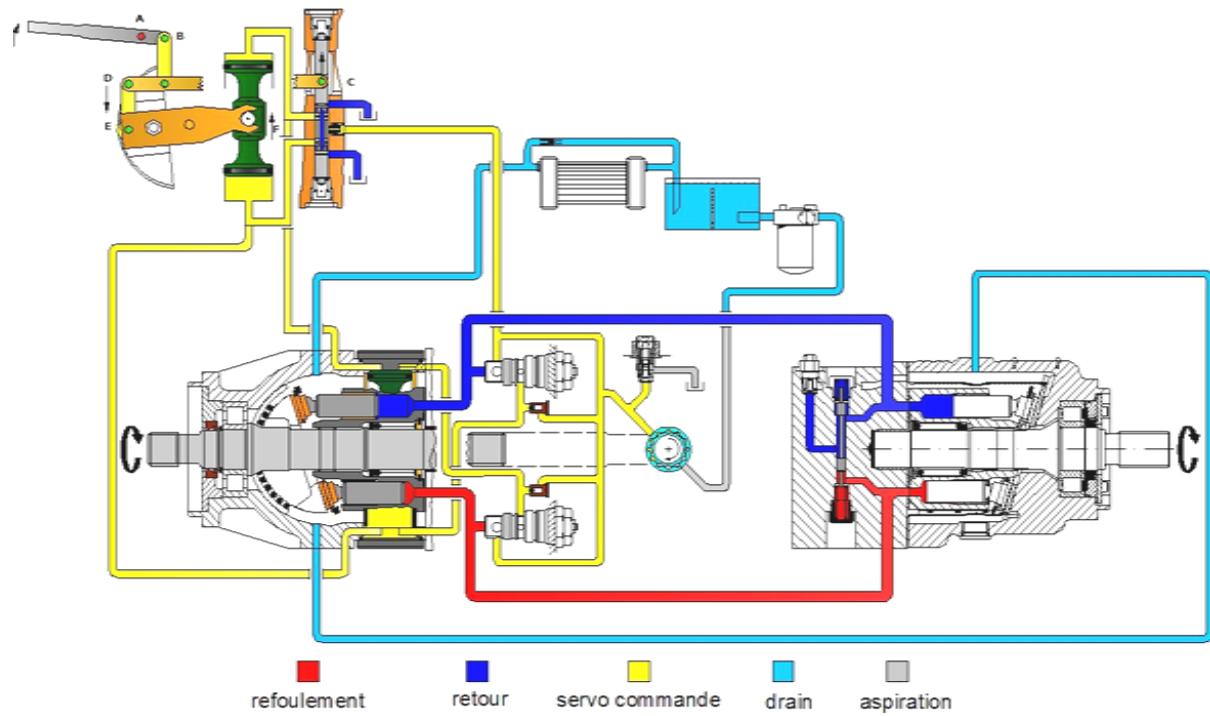
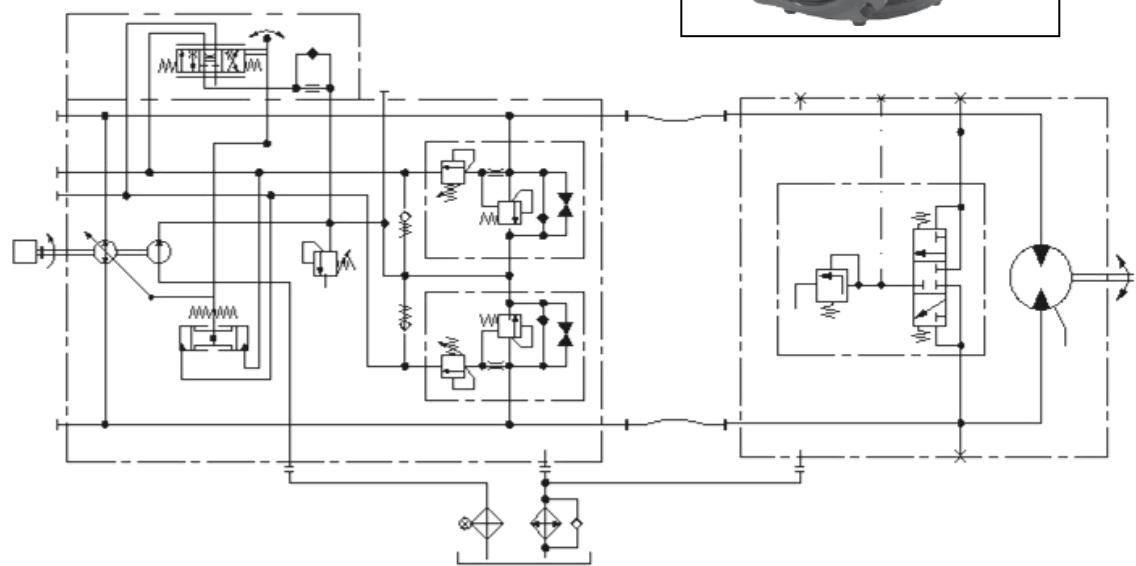
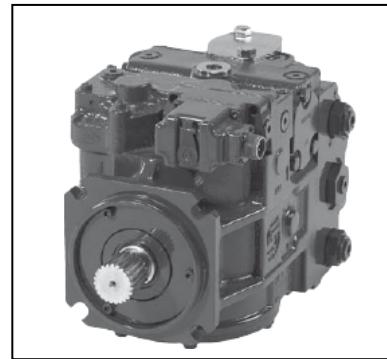
---



# Les pompes hydrauliques.

*Transmission hydrostatique :*

*Origine SAUER série 90.*



refoulement      retour      servo commande      drain      aspiration

# Les pompes hydrauliques.

---

*Commande par levier :*

## Position repos

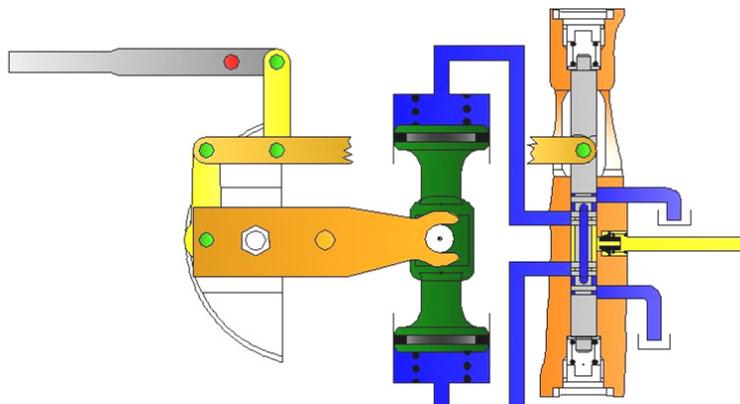


figure a

La pression de pilotage est fournit par la pompe de gavage alimente le centre du tiroir pilote.

Dans ces conditions le plateau d'inclinaison de la pompe est maintenu centré par l'action mécanique des ressorts logés à l'intérieur du vérin de manœuvre (piston amplificateur).

Les deux chambres des pistons amplificateurs sont en communication avec le réservoir par l'intermédiaire d'encoches réalisées sur le bord des arêtes vives du tiroir de pilotage.

## Affichage

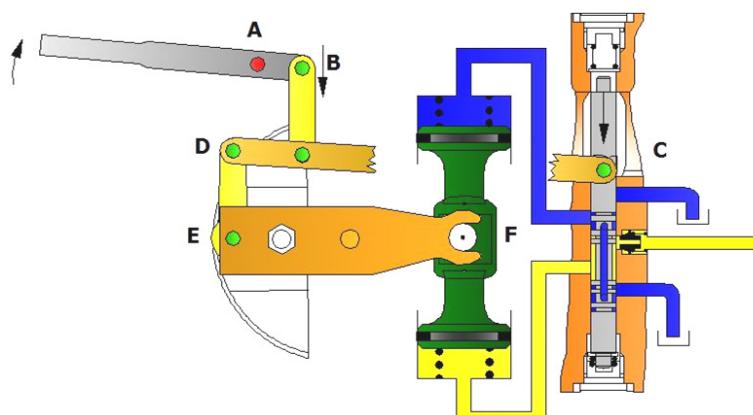
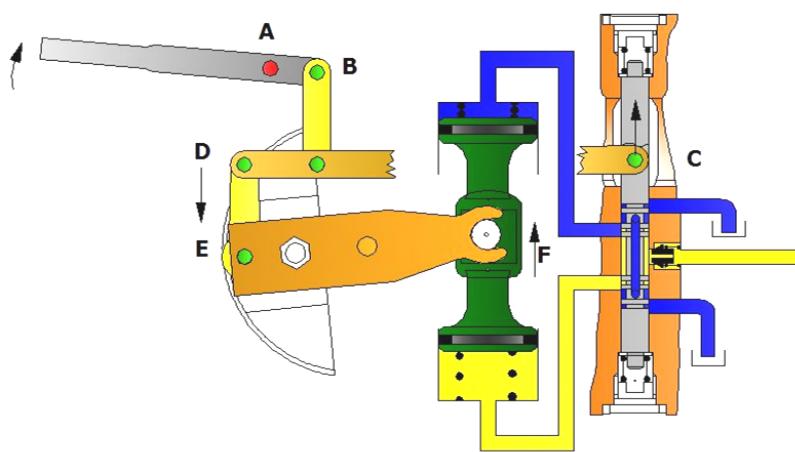


figure b

# Les pompes hydrauliques.

Lorsqu'on actionne le levier de commande vers le haut il s'articule autour du point -A- qui est solidaire du carter de la pompe, le point -B- est donc entraîné vers le bas. Par conséquent le tiroir de pilotage se déplace dans le même sens, puisque les points -B- et -C- sont placé sur la même billette de commande. Le déplacement du tiroir pilote provoque l'alimentation sous pression de la chambre inférieure du piston amplificateur.

## Mise en position

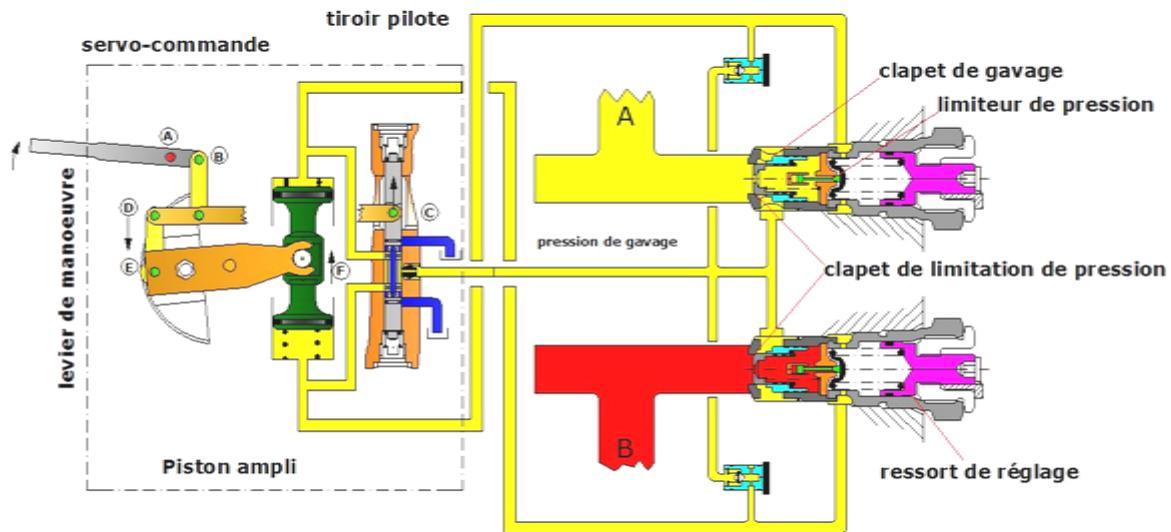


**figure c**

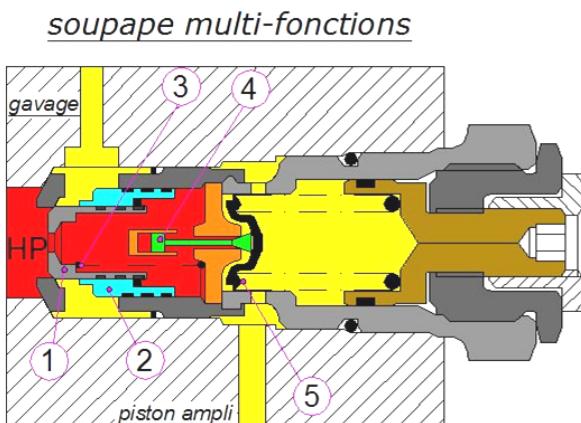
Il se déplace vers le haut. Entraînant en rotation le plateau d'inclinaison et les points d'articulations -D- et -E- vers le bas ce qui a pour effet de ramener par l'intermédiaire de la biellette fixée en -D- dans sa position initiale. Et d'arrêter la course du piston amplificateur.

# Les pompes hydrauliques.

## Contrôle de pression maximum des branches HP :



Lorsque la pression de réglage du maintien de pression donnée par la force du ressort -5- est dépassée le clapet de réglage -4- se soulève de son siège, dès lors un débit d'huile traverse la soupape multi fonction alimentant le piston ampli opposé de la servocommande afin d'accroître la pression à un niveau contrôlé par le clapet -x-. Un équilibrage de pression s'établit de part et d'autre du piston ampli.



Ce qui provoque le renversement du plateau de réglage de la cylindrée afin de maintenir la pression dans le circuit à la valeur de tarrage.

Le fonctionnement du clapet -1- est identique à celui d'un limiteur de pression à action pilotée. Il permet d'écrêter les pointes de pression engendrées par les brusques variations de charge qui peuvent

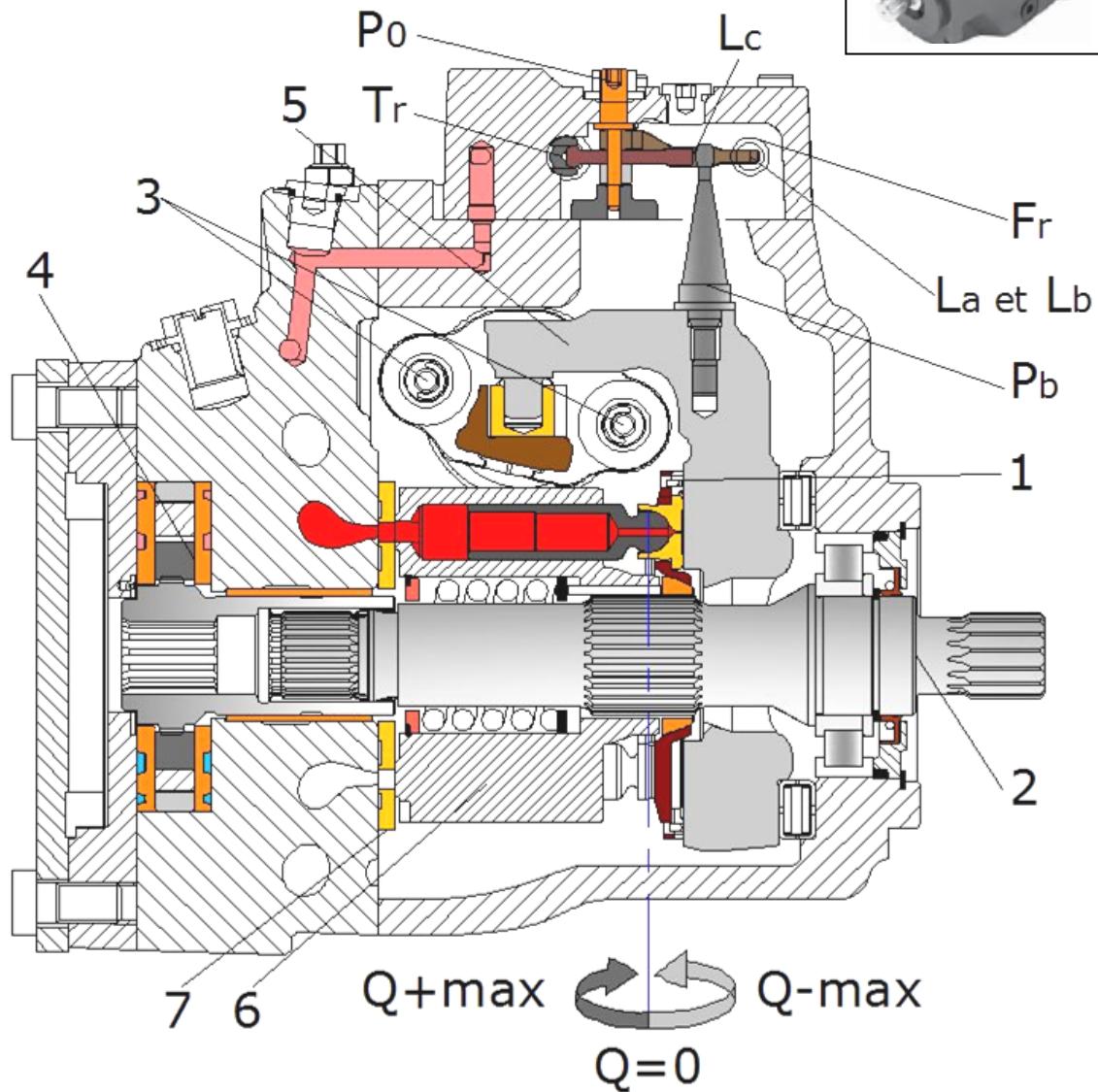
apparaître avant que système de maintien de pression n'intervienne.

Le clapet -2- sert au remplissage (gavage) du circuit lorsque le sens du fluide est inversé et que la branche -HP- devient la branche -BP-.

# Les pompes hydrauliques.

## Pompe hydraulique à débit variable à deux sens de débit :

Origine SAUER/DANFOSS série H1.

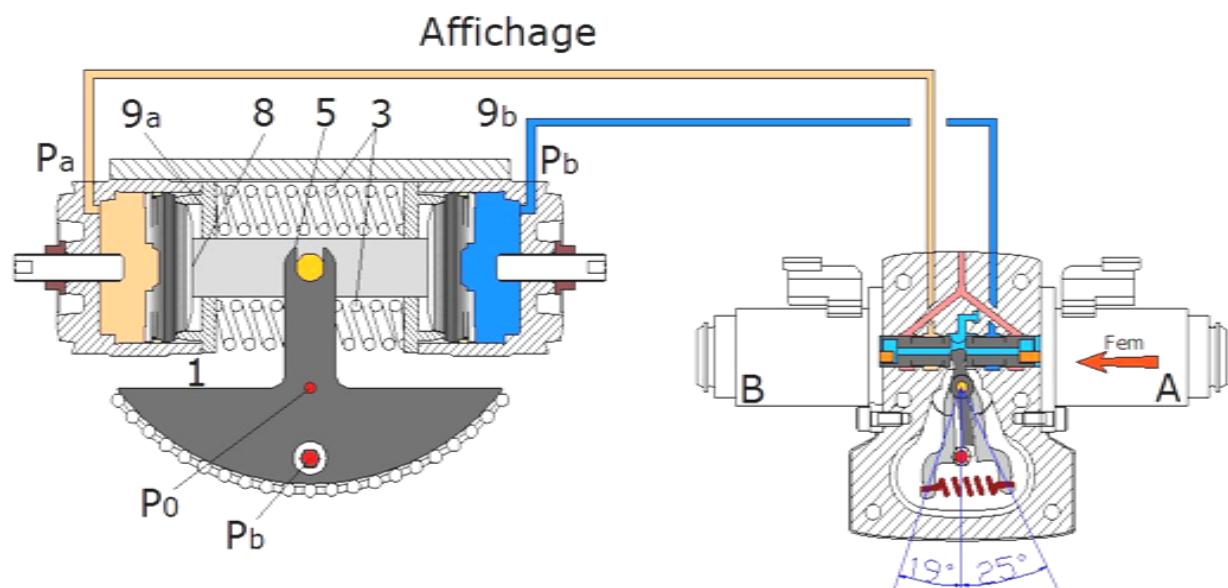
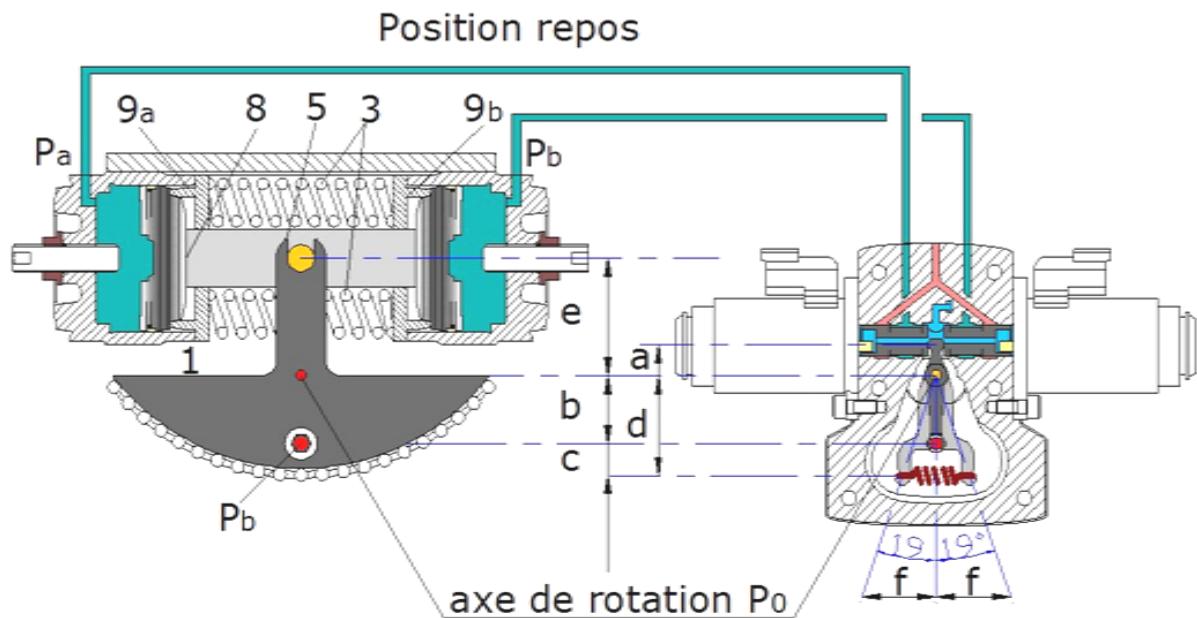


1. Plateau d'inclinaison.
2. Axe d'entraînement.
3. Ressorts de rappel.
4. Pompe de gavage.
5. Biellette de liaison (vérin amplificateur/plateau d'inclinaison).
6. Barillet.
7. Glace de distribution.
8. Vérin amplificateur.
9. Flasque butée.

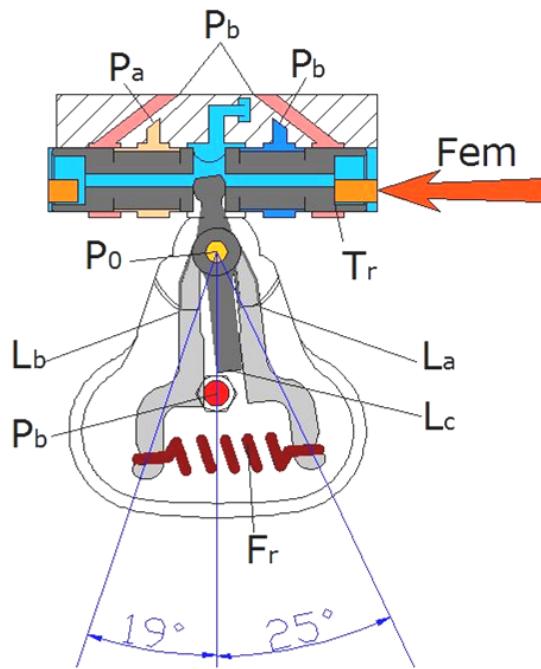
# Les pompes hydrauliques.

## Réglage de la cylindrée par commande proportionnelle :

Système Sauer/Danfoss

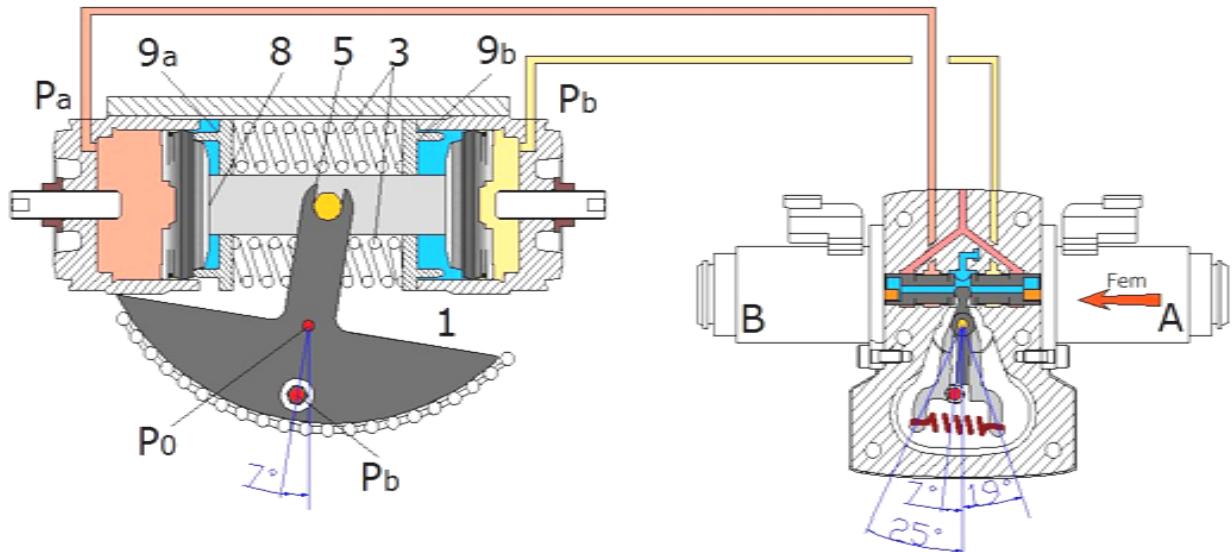


# Les pompes hydrauliques.

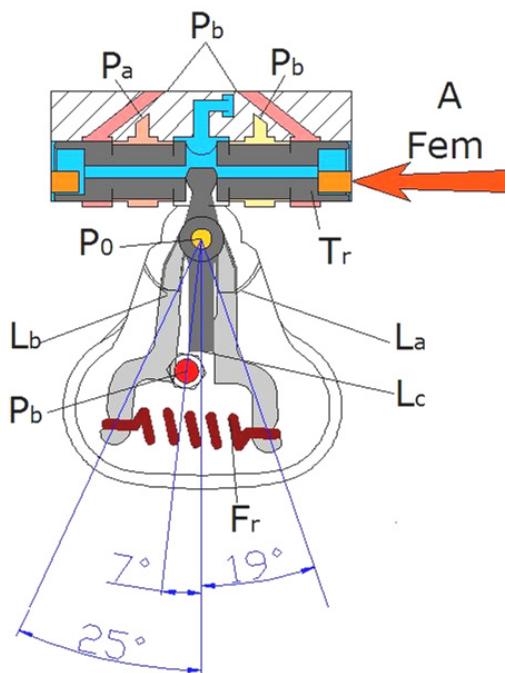


Le courant de commande qui traverse le solénoïde est transformé en force électromagnétique. Elle déplace le tiroir -Tr- vers la gauche provoquant la rotation de la bascule -Lc- dans le sens antihoraire, autour de son axe -P0- et l'alimentation de la chambre -Pa- du vérin amplificateur. La rotation de la bascule -Lc- déplace le levier -La- qui tend le ressort de mesure -Fr-.

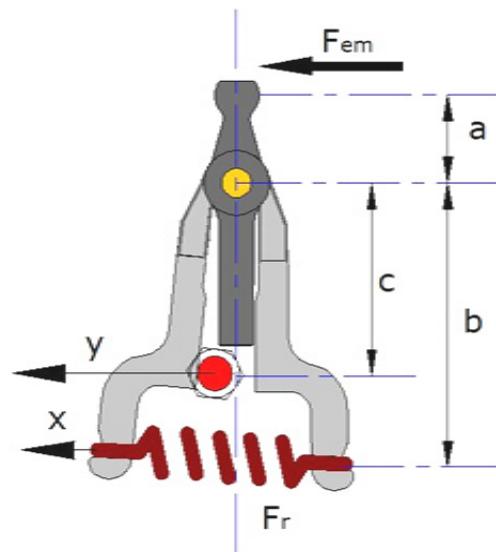
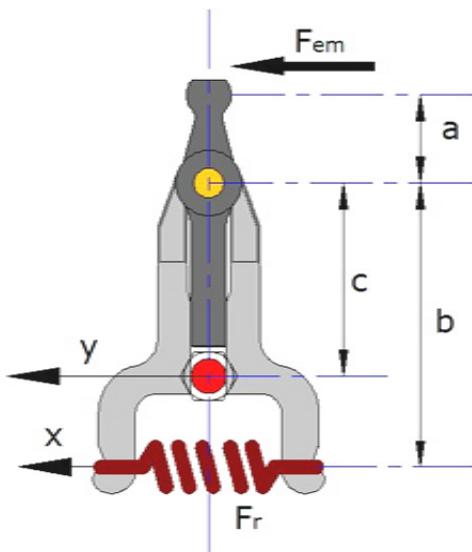
## Mise en position



# Les pompes hydrauliques.



Simultanément le vérin amplificateur -8- se déplace vers la droite entraînant dans sa coulisse le flasque butté -9a- qui comprime les ressorts de rappels -3- et le levier de rétroaction -Pb-. La rotation dans le sens horaire du levier de rétroaction -Pb- a pour effet d'entrainer l'ensemble de la pince et de ramener le tiroir pilote dans sa position initiale recouvrant ainsi les orifices du distributeur.



Le déplacement -y- du plateau est transformé en une tension du ressort de mesure -Fr- qui est opposée à la force de consigne électromagnétique -Fem-. L'écart entre les deux grandeurs provoque le déplacement du tiroir pilote et alimente le vérin amplificateur de façon à retrouver l'équilibre.

*A l'équilibre on a :*

$$Fem \times a = Fr \times b \text{ or } Fr = K \times x \text{ donc } Fem \times a = K \times x \times b$$

$$Fem = K \times x \times \frac{b}{a}$$

# Les pompes hydrauliques.

---

**On pose :**

$$\frac{y}{c} = \frac{x}{b} \text{ d'où } x = b \times \frac{y}{c} \text{ et } y = c \times \frac{x}{b}$$

$$Fem = K \times b \times \frac{y}{c} \times \frac{b}{a} \quad Fem = K \times \frac{y}{c} \times \frac{b^2}{a}$$

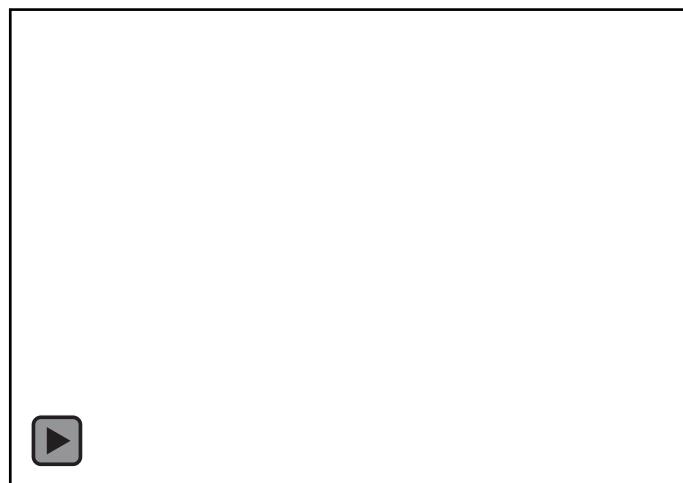
$$y = \frac{Fem}{K} \times \frac{c \times a}{b^2}$$

Si on estime que la cylindrée de la pompe est proportionnelle à la course -y- du levier de rétroaction. On peut dire que le débit de pompe sera proportionnel à la force électromagnétique donc au courant qui circule dans le solénoïde proportionnel.

**Réglage de la cylindrée par commande proportionnelle :**

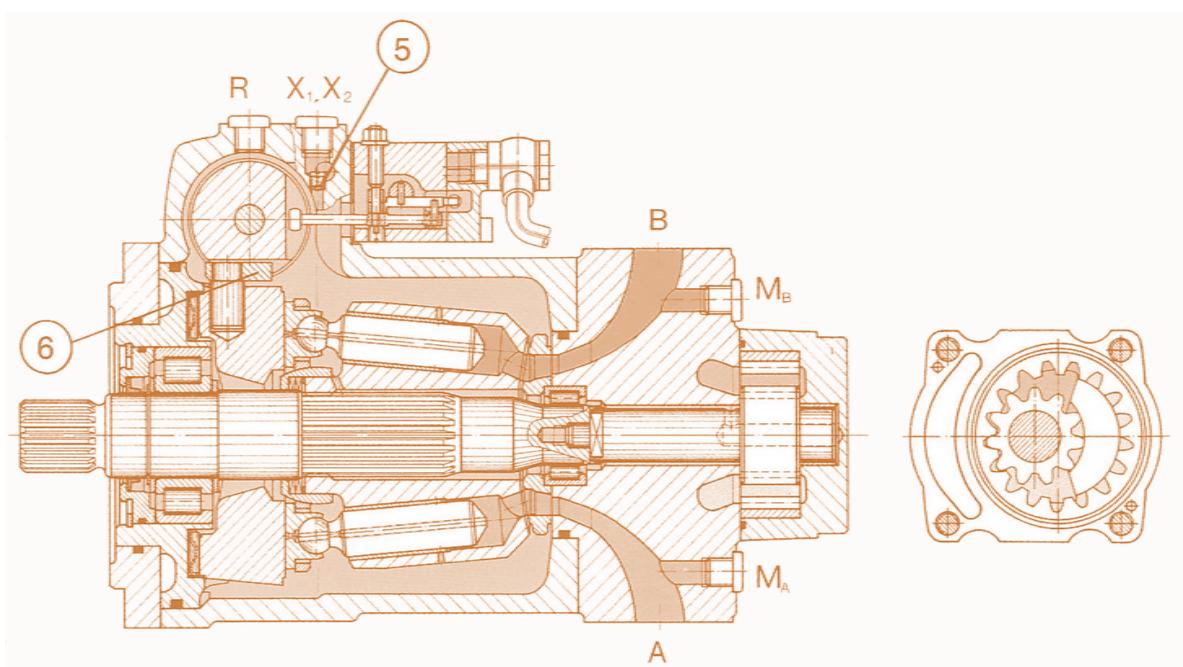
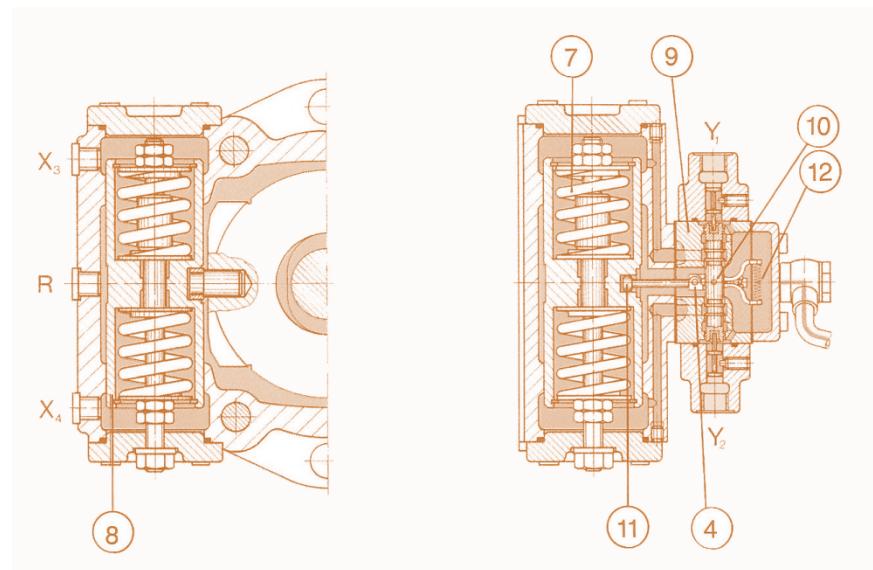
Système *Hydromatik-Rexroth*

Un système similaire de servocommande équipe les pompes hydraulique Rexroth Hydraumatik A4VG du type EP.

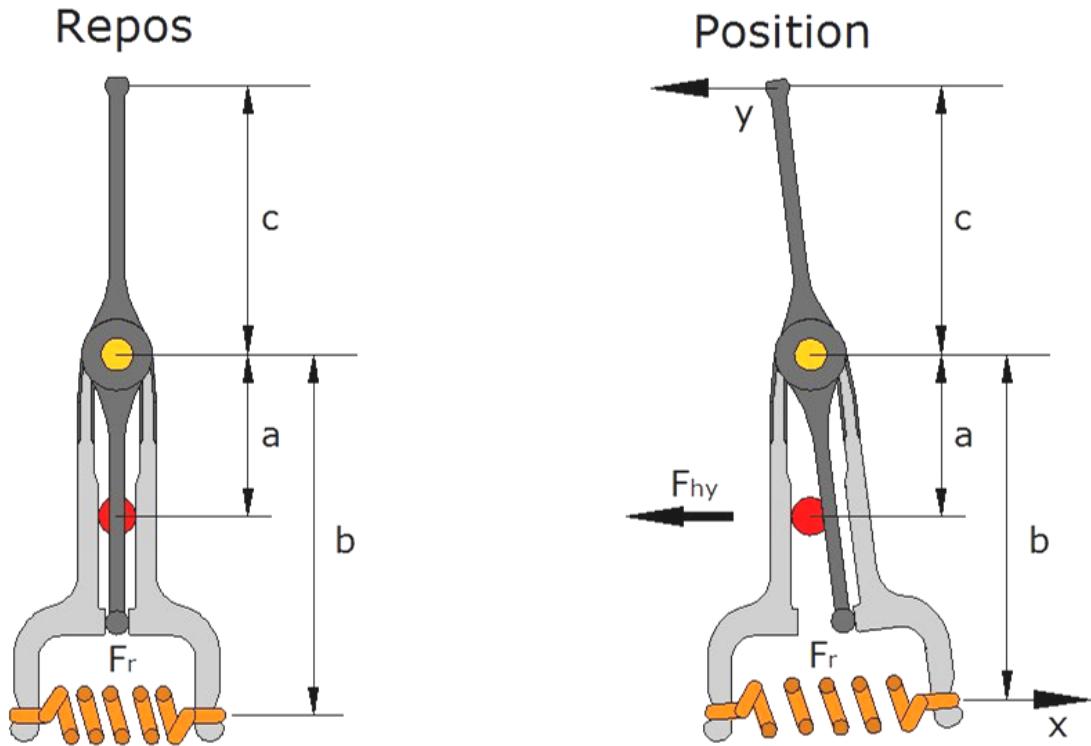


*Document Rexroth.*

# Les pompes hydrauliques.



# Les pompes hydrauliques.



*A l'équilibre on a :*

$$F_{hy} \times a = F_r \times b \text{ or } F_r = K \times x \text{ donc } Fem \times a = K \times x \times b$$

$$Fem = K \times x \times \frac{b}{a}$$

*On pose :*

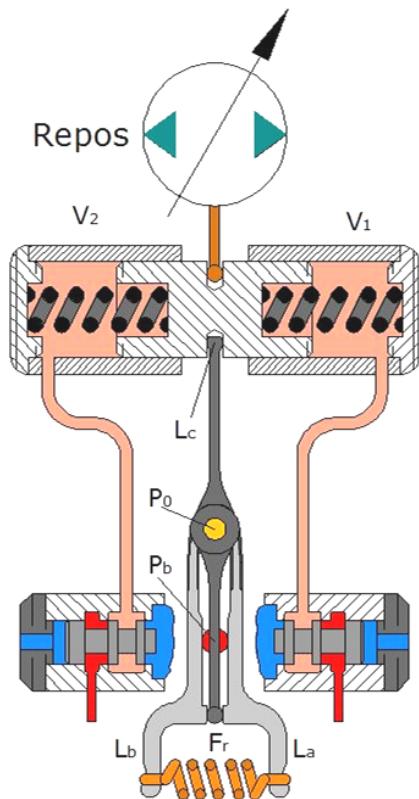
$$\frac{y}{c} = \frac{x}{b} \text{ d'où } x = b \times \frac{y}{c} \text{ et } y = c \times \frac{x}{b}$$

$$Fem = K \times b \times \frac{y}{c} \times \frac{b}{a} \quad Fem = K \times \frac{y}{c} \times \frac{b^2}{a}$$

$$y = \frac{Fem}{K} \times \frac{c \times a}{b^2}$$

Si on estime que la cylindrée de la pompe est proportionnelle à la course -y- du levier de rétroaction. On peut dire que le débit de pompe sera proportionnel à la force électromagnétique donc au courant qui circule dans le solénoïde proportionnel.

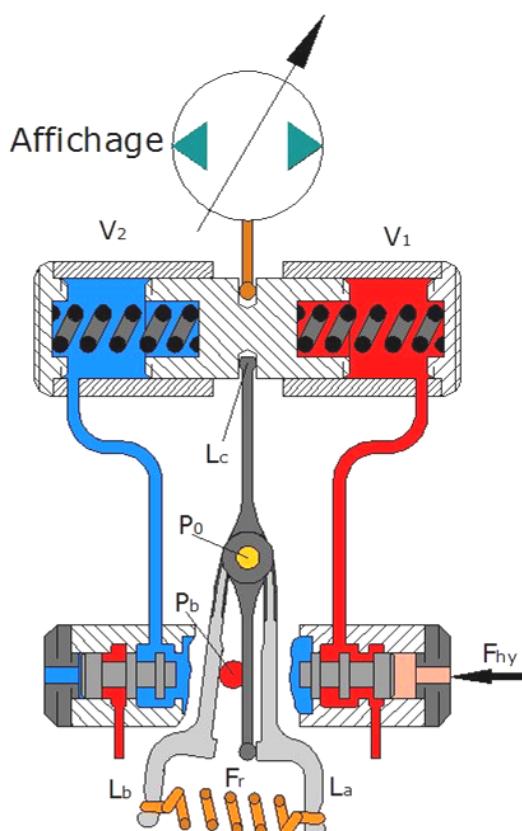
# Les pompes hydrauliques.



L'exemple suivant représente la servocommande d'une pompe Hydromatik-Rexroth il reprend les principes de la pompe précédente.

La variation de débit est obtenue par l'application d'une force sur l'une des extrémité du tiroir pilote. Cette force peut être mécanique, hydraulique, ou électrique.

Le vérin amplificateur entraîne le plateau d'inclinaison. En l'absence de commande pilote il est maintenu en position centrale par l'action des ressorts de rappel. Ainsi que le tiroir de pilotage par l'intermédiaire des leviers  $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ . La pompe se trouve à débit nul.

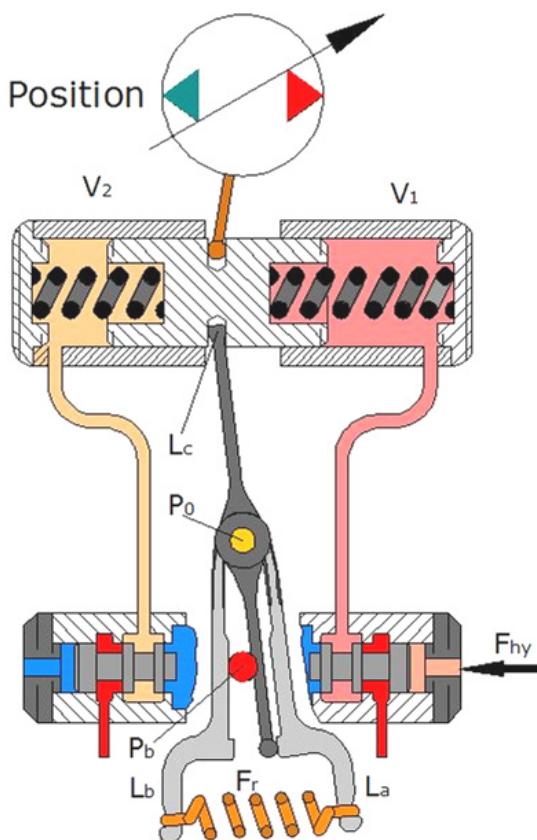


L'application d'une pression de pilotage à l'extrémité droite du tiroir, provoque son mouvement vers la gauche. Il entraîne dans sa course le levier  $-L_b-$  par le doigt  $-P_b-$  qui est solidaire du tiroir pilote.

L'amplitude du déplacement du tiroir pilote est liée à la force  $-F_{hy}-$  qui agit sur l'extrémité du tiroir à la tension initiale de pose et la raideur  $-K-$  du ressort  $-F_r-$ .

Lorsque la pression pilote engendre une force suffisante pour vaincre la tension de pose du ressort  $-F_r-$ . Le tiroir pilote se déplace vers la gauche et découvre les orifices d'alimentations du vérin amplificateur. La chambre  $-V_1-$  reçoit la pression de pilotage et  $-V_2-$  est purgée dans le carter.

# Les pompes hydrauliques.



L'admission d'huile de pilotage dans la chambre -V1- génère le déplacement du vérin amplificateur vers la gauche. Dans sa course il entraîne le levier de rétroaction -Lc-.

La rotation le levier -Lc- provoque celle du levier -La- et élève ainsi la tension du ressort -Fr-.

Cette augmentation de tension transmise par le levier -Lb- sur le doigt -Pb- est à l'origine du recentrage du tiroir pilote. Le mouvement du vérin amplificateur est interrompu.

# Les pompes hydrauliques.

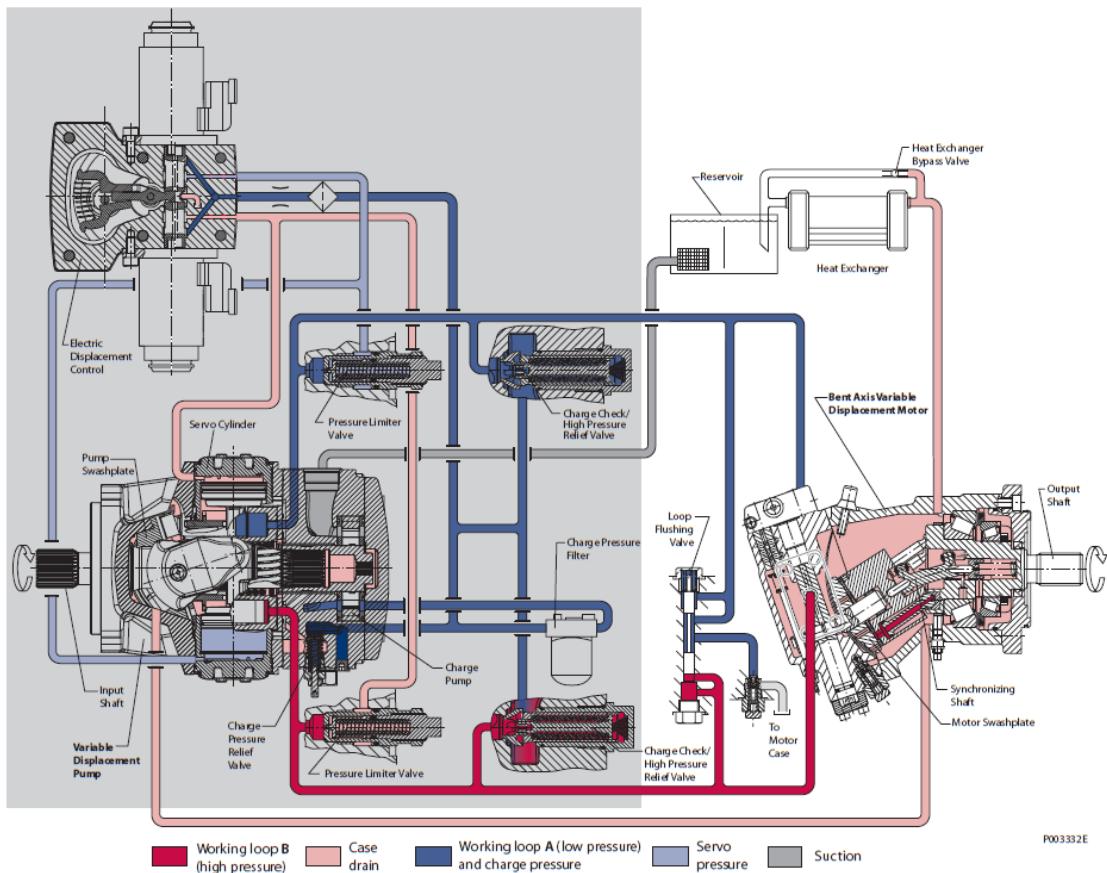


8

11009999 Rev BA • Jun 2007

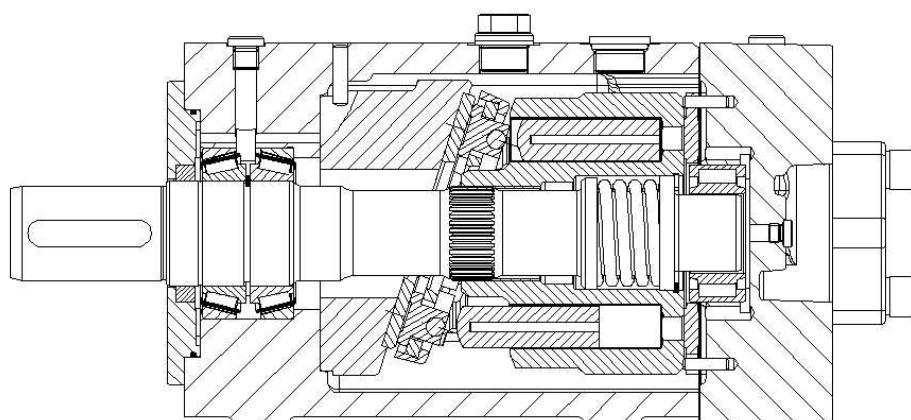
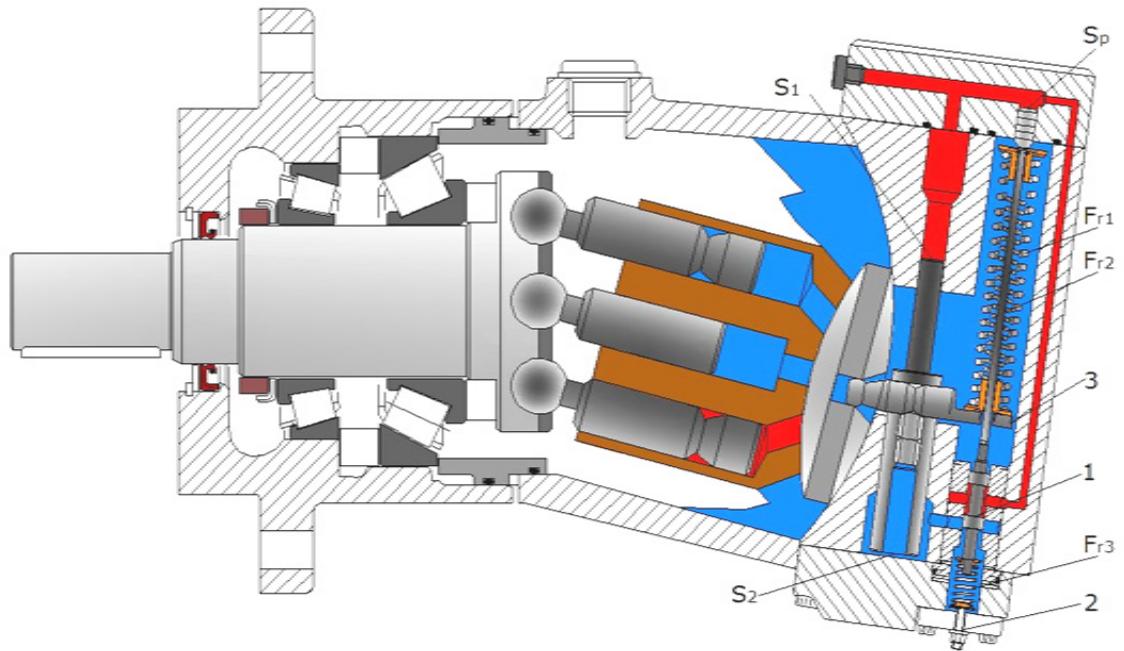
System Diagram

Single Pump



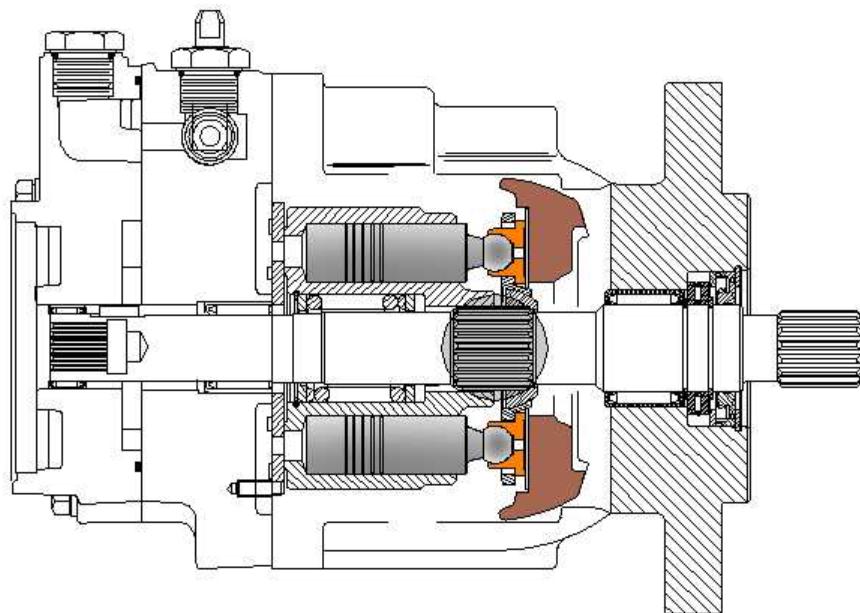
# Les pompes hydrauliques.

## Système de régulation à puissance constante



# Les pompes hydrauliques.

---



*-Rédaction incomplète en cours de modification-*

« Si des erreurs se sont introduites dans le document merci de les signaler ».