

# **RESUME DU COURS HYDRAULIQUE ET PNEUMATIQUE**

## **FILIERE : ELECTROMECHANIQUE**

**Semestre : 4 ( Année universitaire : 2019-2020 )**

**UEF 2.2.1**

**Matière 1 : Hydraulique et pneumatique**

**Chargé de cours : Mr. R.ABDELAZIZ**

**Objectifs de l'enseignement :**

Ce cours permet à l'étudiant d'être capable de faire l'étude et l'analyse des systèmes industriels basés sur les concepts hydrauliques et pneumatiques.

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1 :** Introduction à la mécanique des fluides.

**Chapitre 2 :** Statique des fluides

**Chapitre 3 :** Dynamique des fluides incompressibles parfaits

**Chapitre 4 :** Dynamique des fluides incompressibles réels

**Chapitre 5 :** Généralités sur les circuits hydrauliques et pneumatiques

**Chapitre 6 :** Généralités sur les circuits pneumatiques

## CHAPITRE I

### Introduction à la mécanique des fluides

#### La masse volumique des liquides $\rho$

C'est le rapport de la masse du liquide ( $m$ ) à son volume ( $W$ ).

$$\rho = \frac{m}{W}$$

Le liquide est considéré comme homogène si sa masse volumique est égale en tous les points.

Les différents liquides ont les différentes valeurs de la masse volumique.

La masse volumique de l'eau ordinaire pure ne diffère pratiquement pas de celle de l'eau distillée et elle est prise dans les calculs égale à  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

#### La masse volumique des gaz

La masse volumique des gaz varie en fonction de la pression et de la température. On utilise souvent la loi des gaz parfaits pour décrire son évolution:  $P = \rho \cdot R \cdot T$

où

$\rho$  : masse volumique

$T$  : température en Kelvin

$R$  : constante du gaz

#### Le poids spécifique $\gamma$

On appelle poids spécifique d'un liquide homogène le rapport de la force due à la masse (le poids) du liquide à son volume :

$$\gamma = \frac{G}{W}$$

le poids spécifique et la masse volumique sont liés de la façon suivante :

$$\gamma = G / W = m \cdot g / W \Rightarrow \gamma = \rho \cdot g$$

dans ces expressions,  $g$  est l'accélération de la pesanteur.

#### La densité $d$

La densité (ou densité relative) d'un fluide est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un fluide pris comme référence.

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{réf}}}$$

Dans le cas des liquides on prendra l'eau comme fluide de référence. Dans le cas des gaz on prendra l'air comme fluide de référence.

#### La viscosité

Les liquides ont les propriétés de résister aux efforts tangentiels qui tendent à faire déplacer les couches du liquide les unes par rapport aux autres. Cette propriété s'appelle viscosité.

La viscosité se manifeste par le fait qu'au déplacement des couches du liquide voisines naissent des forces de frottement interne entre les couches. Par suite du frottement, la couche la plus rapide entraîne la couche de liquide plus lente et vice versa.

Newton proposa une hypothèse conformément à laquelle la force de frottement interne  $T$  dans un liquide ne dépend pas de la pression mais proportionnelle à la surface de contact des couches, à la vitesse relative du mouvement des couches et de fonction de la nature du liquide.

La véracité de l'hypothèse de Newton fut démontrée par N.Pétrov, qui avait proposé la formule suivante pour la contrainte tangentielle lors d'un écoulement laminaire :

$$\tau = T / S = +\mu \cdot \frac{du}{dy}$$

ou

$\tau$  : la contrainte tangentielle.

$T$  : la force de frottement interne.

$S$  : la surface de contact de deux couches voisines.

$\mu$  : la viscosité dynamique du liquide.

$du$  : la différence de vitesses de deux couches en contact.

$dy$  : la distance entre ces deux couches suivant la normale par rapport au sens de l'écoulement.

$\frac{du}{dy}$  : le gradient de vitesse.

### **I-9. La viscosité cinématique $\nu$**

C'est le rapport de la viscosité dynamique à la masse volumique du liquide :  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

#### **Remarque :**

Un fluide qui possède une certaine viscosité est connu sous le nom de fluide réel. Dans la pratique tous les fluides sont des fluides réels.

Un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de viscosité.

### **I-10. La tension superficielle**

Les particules du liquide se trouvant à sa surface libre en contact avec un milieu gazeux sont soumises à l'action des forces d'attraction. C'est pourquoi toute la surface libre du liquide se trouve en état d'une tension superficielle uniforme qui dépend de la température et en diminuant avec son accroissement.

**Exemple 01 :**

Si le poids de 6 m<sup>3</sup> d'huile de pétrole est G = 47 kN, Calculer son poids volumique, sa masse volumique et sa densité ?

**Solution :**

1- Le poids volumique est :

$$\gamma = \frac{G}{W} = \frac{47 \times 10^3}{6} = 7833.33 \frac{N}{m^3}$$

2- La masse volumique est :

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{7833.33}{9.81} = 798.50 \text{ kg/m}^3$$

3- La densité est :

$$d = \frac{\rho_{huile}}{\rho_{eau}} = \frac{798.50}{1000} = 0.798$$

**Exemple 02 :**

Dans un appareillage piston-cylindre, le volume initial d'air est de 90 litres à une pression de 130 kPa et une température de 26 °C. Si la pression est doublée alors que le volume décroît jusqu'à 56 litres, calculer la température finale et la masse volumique de l'air ? R<sub>Air</sub> = 287 J/kg·K

**Solution :**

$$\rho_1 = \frac{P_1}{R_{air} \cdot T_1} = \frac{130 \times 10^3}{287(26 + 273)} = 1.515 \text{ kg/m}^3$$

Par conséquent, la masse de l'air correspondante est :

$$m = \rho \cdot W = 1.515 \times 0.09 = 0.1364 \text{ kg}$$

Donc :

$$\rho_2 = \frac{P_2}{R_{air} \cdot T_2} = \frac{2 \times 130 \times 10^3}{287 \times T_2}$$

D'où :

$$T_2 = 372 \text{ K ou } 99^\circ\text{C et } \rho_2 = \frac{0.1364}{0.056} = 2.44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

## CHAPITRE II

### STATIQUE DES FLUIDES

#### II-1. Introduction

La statique des fluides est l'étude de l'équilibre du fluide et son interaction avec les corps solides.

On notera que dans ce cas il n'y a pas de manifestation de la viscosité.

#### II-2. Pression en un point

Examinons un corps liquide de volume limité au repos, (*il n'existe pas de forces tangentielles*) et divisons-le en deux parties par un plan. Rejetons une partie et remplaçons son action par la force  $F$  (Fig. II-1).

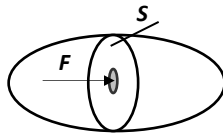


Fig. II-1

La pression moyenne  $p_{moy}$  exercée par la force  $F$  sur une unité de surface  $S$  est définie par l'expression suivante :

$$p_{moy} = \frac{F}{S} \quad (II-1)$$

La limite de ce rapport à la diminution de la surface  $S$  jusqu'à zéro exprime la pression au point donné :

$$p = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{F}{S} \quad (II-2)$$

#### II-3. Equation fondamentale de la statique des fluides

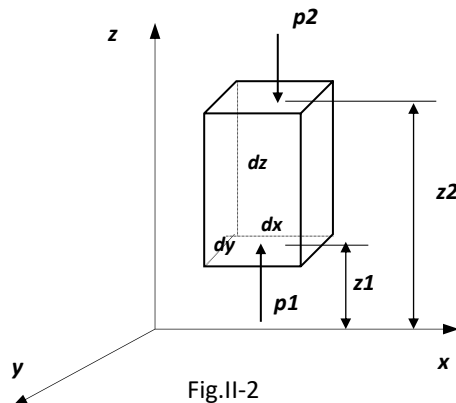


Fig.II-2

En désignant la pression sur la face inférieure de coordonnée  $z_1$  par  $p_1$  et sur la face supérieure de coordonnée  $z_2$  par  $p_2$ , on peut donc écrire que,

$$\frac{1}{\rho} \int_{p_1}^{p_2} dp = -g \int_{z_1}^{z_2} dz$$

ou

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} = \text{const} \quad (\text{II-3})$$

C'est l'équation fondamentale de la statique des liquides.

## II-4. Différents type de pression

### II-4-1. La pression absolue ( $p$ )

Dans un point du liquide au repos la pression absolue est déterminée par la formule suivante :

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{II-4})$$

ou :

$p_0$  : c'est une pression extérieure est souvent égale à la pression atmosphérique  $p_{atm}$  qui est généralement prise dans les calculs technique égale à 101325  $pa$ .

$h$  : la profondeur d'immersion du point considéré.

### II-4-2. La pression manométrique ( $p_m$ )

Elle est définie comme la différence entre la pression absolue et atmosphérique :  $p_m = p - p_{atm}$

ou

$$p_m = p_0 + \rho \cdot g \cdot h - p_{atm} \quad (\text{II-5})$$

Si  $p_0 = p_{atm}$ , la pression manométrique est déterminée à l'aide de l'expression suivante :

$$p_m = \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{II-6})$$

### II-4-3. La pression du vide ( $p_v$ )

Si la pression hydrostatique absolue est inférieure à la pression atmosphérique, le manque de la pression absolue par rapport à celle atmosphérique est appelé pression du vide :

$$p_m = p_{atm} - p \quad (\text{II-7})$$

## II-5. Appareils de mesure de la pression

Il existe différents sortes d'instruments mesurant la pression ou la différence de pression tel que :

**Le manomètre :** c'est un tube transparent en forme de U qui contient généralement deux liquides différents et qui mesure la différence de pression absolue et atmosphérique (*surpression par rapport à la pression atmosphérique*) au moyen d'un liquide

(Fig. II-3 ).

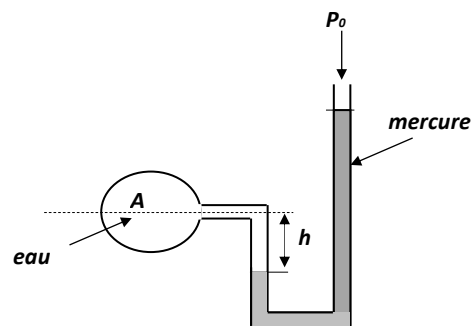


Fig.II-3

**Le vacuomètre :** qui mesure la différence de pression atmosphérique et absolue (*manque de pression jusqu'à celle atmosphérique*).

**Le piézomètre :** c'est un tube mince transparent de diamètre intérieur de 10 à 15mm branché sur un récipient qui contient un liquide (Fig. II-4).

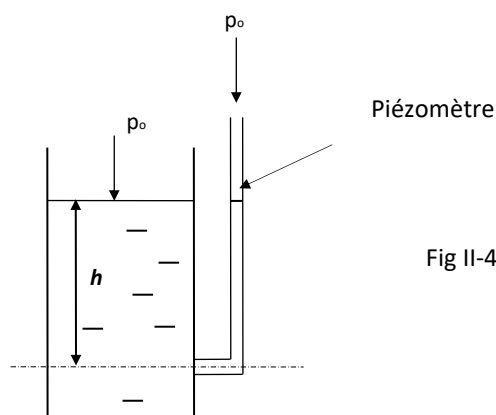


Fig II-4

## II-6. Théorème de Pascal

Dans un fluide incompressible en équilibre, toute augmentation de pression produite en un point se transmet intégralement à tous les points du fluide.

Pour expliquer le principe de Pascal, prenant par exemple une presse hydraulique (Fig.II.5).

L'application d'une force  $F_1$  sur le piston 1 engendre une force  $F_2$  sur le piston 2.

A l'équilibre on a :

$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Rightarrow F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1} \quad (\text{II-8})$$

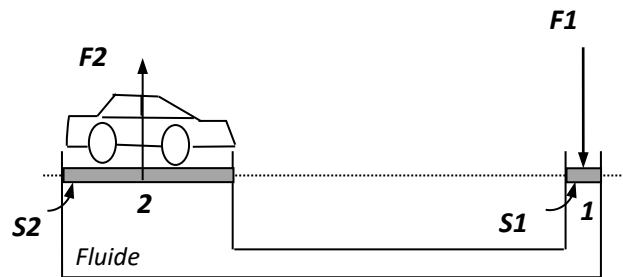


Fig.II.5

Ce principe est très important puisqu'il est à la base du fonctionnement des vérins hydrauliques des ascenseurs et des presses.

## II-7. Forces de pressions sur les parois

### II-7-1. Paroi plane horizontale

Considérons une paroi de largeur unitaire et de surface  $S$  immergée horizontalement à une profondeur  $h$  (Fig.II-6).

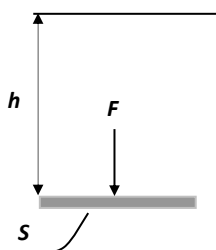


Fig.II.6



La force de la pression hydrostatique sur la paroi horizontale  $S$  est la suivante :

$$F = p.S = (p_0 + \rho.g.h).S \quad (\text{II-9})$$

Dans la pratique l'intérêt est porté à la force de pression manométrique du liquide, et dans la majorité des cas la pression extérieure est égale à la pression atmosphérique  $p_0 = p_{atm}$  donc la formule de calcul de la force de pression est donnée par la forme simplifiée suivante :

$$F = \rho.g.h.S \quad (\text{II-10})$$

C'est-à-dire la force de pression sur une paroi horizontale correspond au poids de la colonne de liquide de hauteur  $h$ .

### Exemple :

On veut soulever une voiture de poids  $G = 20000 \text{ N}$  à l'aide d'un cric hydraulique qui contient de l'huile ( $\rho_{\text{huile}} = 870 \text{ kg/m}^3$ ). Le grand piston a une surface  $A_2 = 0.04 \text{ m}^2$  et le petit piston  $A_1 = 0.0001 \text{ m}^2$ .

Si on néglige le poids des deux pistons,

1-Déterminer la force  $F_1$  nécessaire pour maintenir le poids de la voiture lorsque les deux pistons se trouvent sur le même niveau? figure.1

2- Calculer la force  $F_1$  lorsque la voiture est soulevée de deux mètres de hauteur ? figure.2

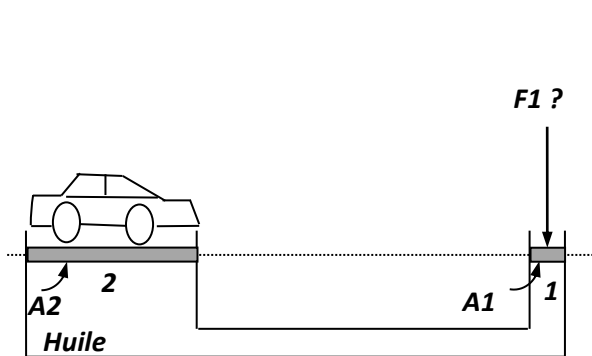


Figure 1

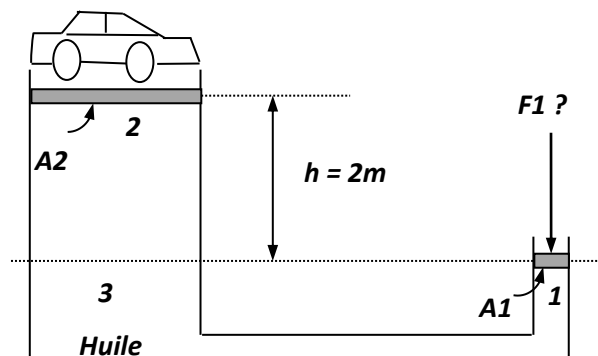


Figure 2

### Solution

- 1- Lorsque les deux pistons se trouvent sur le même niveau :

On a :

$$P1 = P2 \Rightarrow \frac{F1}{A1} = \frac{F2}{A2}$$

$$\Rightarrow F1 = F2 \cdot \left( \frac{A1}{A2} \right) = 20000 \cdot \left( \frac{0.0001}{0.04} \right) = 50 \text{ N}$$

- 2- Lorsque la voiture est soulevée de 2 m de hauteur :

On a :  $P1 = P3 = P2 + \rho_h \cdot g \cdot h$

Et

$$P1 = \frac{F1}{A1} \text{ et } P2 = \frac{F2}{A2}$$

$$\Rightarrow \frac{F1}{A1} = \frac{F2}{A2} + \rho_h \cdot g \cdot h$$

$$\Rightarrow F1 = F2 \cdot \left( \frac{A1}{A2} \right) + \rho_h \cdot g \cdot h \cdot A1$$

$$\Rightarrow F1 = 20000 \cdot \left( \frac{0.0001}{0.04} \right) + 870 \cdot 9.81 \cdot 2 \cdot 0.0001 = 51.707 \text{ N}$$

## CHAPITRE III

### Dynamique des fluides incompressibles parfaits

#### III-1. Écoulement permanent et non permanent

Si en chaque point de l'espace l'écoulement (vitesse, pression, masse volumique...etc) est indépendant du temps, il est alors appelé permanent (ou stationnaire). S'il varie avec le temps en un point, l'écoulement est dit non permanent (ou instationnaire).

#### III-2. Lignes de courant

Ce sont des lignes tangente en chacun de ses points, au vecteur vitesse (Fig.III-2) et qui change d'un instant à l'autre sauf dans le cas d'un écoulement permanent, elles coïncident avec les trajectoires.

Les lignes de courant satisfont les équations différentielles suivantes :

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} \quad (\text{III-1})$$

Si on a lieu à des lignes de courant limitées par un contour fermé c'est un tube de courant.

#### III-3. Equation de continuité

L'équation de continuité c'est une équation fondamentale de la mécanique des fluides, elle exprime le principe de conservation de la masse.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{III-2}) \text{ ou}$$
$$\text{div} \vec{V} = 0$$

multiplions l'équation de continuité par un volume élémentaire  $dW$  et intégrons par rapport au volume on obtient :

$$\int_W \text{div} \vec{V} dW = \oint_S V_p dS = 0 \quad (\text{III-3})$$

Où  $V_p$  est la composante de la vitesse qui est perpendiculaire à la surface du volume.

L'équation (III-10) signifie que les débits entrant et sortant à travers une surface quelconque fermée doivent être égaux.

Par définition, le débit total,  $Q$ , traversant une surface est donné par :

$$\int_S V_p dS = U \cdot S = Q \quad (\text{III-4})$$

avec:

$Q$  : Débit total ou débit volumique en  $m^3/s$

$U$  : Vitesse moyenne en m/s.

$S$  : Section en  $m^2$ .

### III-4. Débit massique

Le débit massique dans une conduite où circule un fluide est calculé par la relation suivante :

$$\dot{m} = \rho \cdot U \cdot S \quad (\text{III-5})$$

avec

$\dot{m}$  : Débit massique en kg/s

$\rho$  : masse volumique du fluide en  $kg/m^3$

$U$  : Vitesse moyenne en m/s.

$S$  : Section en  $m^2$ .

### III-5. Equation de Bernoulli

Dans le cas d'un fluide parfait en mouvement, l'équation de Bernoulli est donnée de la manière suivante :

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} = H = Cte \quad (\text{III-6})$$

Il découle de l'équation de Bernoulli que l'énergie mécanique totale est constante en toute la longueur de l'écoulement.

L'équation de Bernoulli peut être écrite entre les deux section (1-1) et (2-2) (Fig.III-5) de la façon suivante :

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} = H$$

Ou

$z$  : hauteur de position

$\frac{p}{\rho g}$  : hauteur piézométrique

$z + \frac{p}{\rho g}$  : charge hydrostatique

$\frac{V^2}{2g}$  : hauteur due à la vitesse ou pression cinétique.

$H$  : l'énergie mécanique totale.

Tous les termes de l'équation de Bernoulli peuvent être représentés graphiquement (Fig.III-1).

Pour un liquide non visqueux la ligne horizontale qui est tracée avec l'ordonnée  $H$  s'appelle *la ligne de charge* .

La liaison entre les extrémités des tronçons des tronçons  $z + \frac{P}{\rho g}$  donne la ligne piézométrique.

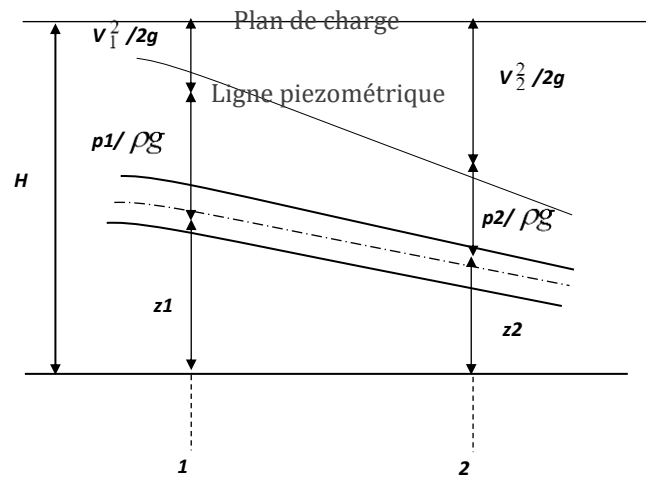


Fig.III-1

### III-6. Tube de Pitot

Si l'on immerge dans un courant liquide un tube (Fig.III-6-a), l'eau monte dans le tube au-dessus de la surface libre d'une hauteur :

$$h = \frac{V^2}{2g}$$

Ce tube s'appelle tube de Pitot.

Pour déterminer les vitesses locales dans le courant on utilise un piézomètre ordinaire indiquant la hauteur piézométrique et un tube de Pitot (Fig.III-2-b).

La différence de niveau  $h$  dans les deux tubes est la hauteur due à la vitesse  $\frac{V^2}{2g}$ .

Les vitesses locales sont déterminées à l'aide du tube de Pitot suivant la formule suivante :

$$V = k\sqrt{2gh}$$

ou  $k$  est un coefficient de correction déterminé pour chaque tube par expérience.

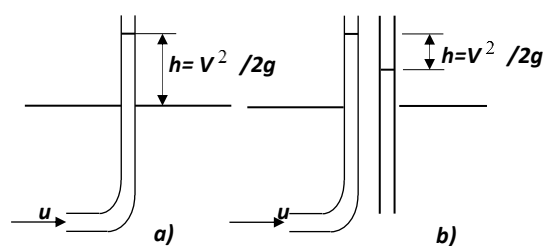


Fig.III-2

### III-7. Tube de venturi

Le tube de venturi a pour but de mesurer le débit à partir de la détermination de la différence de pression.

Ce dispositif consiste à faire passer un écoulement par une contraction pour qu'il y'aura une diminution de pression (Fig.III-3).

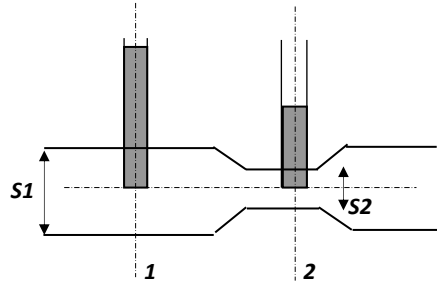


Fig.III-3

L'équation de Bernoulli entre les sections (1-1) et (2-2) pour un fluide parfait est :

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

D'une autre part l'équation de continuité s'écrit :

$$V_1 S_1 = V_2 S_2$$

D'où

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{1-(S_2/S_1)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)}$$

Le débit total,  $Q$  traversant cette conduite est :

$$Q = V_2 S_2 = \frac{1}{\sqrt{1-(S_2/S_1)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)}$$

#### Exemple :

De l'eau circule du point (1) vers le point (2) dans un tube horizontale de diamètre variable,  $D_1=100\text{mm}$ ,  $D_2= 60\text{mm}$

Le débit volumique  $Q =10 \text{ l/s}$ ,  $\rho_{\text{eau}}= 1000 \text{ kg/m}^3$ ,

La pression  $P_1= 60000 \text{ pa}$ .

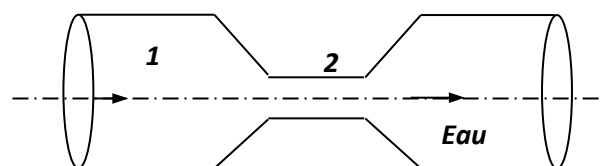
Si le liquide est considéré parfait,

1-Ecrire l'équation de Bernoulli entre les points 1 et 2 ?

2-Calculer les sections  $S_1$  et  $S_2$  ?

3-Calculer les vitesses  $V_1$  et  $V_2$  ?

4-Calculer la pression dans le point 2 ( $P_2$ ) ?



Solution :

1- L'équation de Bernoulli entre les points 1 et 2 :

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\Rightarrow \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

2- les sections S1 et S2

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.1^2}{4} = 0.0785 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.06^2}{4} = 0.0028 \text{ m}^2$$

3 – Calculer les vitesses V1 et V2

$$V_1 = \frac{Q}{S_1} = \frac{0.01}{0.0785} = 0.127 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{Q}{S_2} = \frac{0.01}{0.0028} = 3.571 \text{ m/s}$$

4 - la pression dans le point 2

$$\frac{P_2}{\rho \cdot g} = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\Rightarrow P_2 = P_1 + \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_2^2)$$

$$\Rightarrow P_2 = 60000 + \frac{1000}{2} (0.0161 - 12.752) = 53632.05 \text{ Pa}$$

## CHAPITRE IV

### DYNAMIQUE DES FLUIDES INCOMPRESSIBLES REELS

#### IV-1. Introduction

Dans cette partie le liquide est considéré comme réel, donc il y'a un effet des forces de frottement. Cela va nous amener à définir la viscosité du liquide qui est associée à la résistance au mouvement de glissement d'une couche de particule liquide par rapport à une autre.

#### IV-2. Equations dynamiques des liquides réels

Dans le cas d'un liquide réel, il existe des forces internes ou tension visqueuses qui vont intervenir dans les

L'équation s'écrit alors : 
$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + j = H = Cte \quad (IV-1)$$

C'est le théorème de Daniel Bernoulli dans le cas d'un liquide réel (fluidité non parfaite) et qui exprime qu'on tout point en mouvement permanent, la cote, la hauteur représentative de la pression, la hauteur représentative de la vitesse et la perte de charge forment une somme constante.

L'équation de Bernoulli dans le cas d'un liquide réel peut être écrite entre les deux section (1-1) et (2-2) (Fig.IV-1) de la façon suivante :

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + j$$

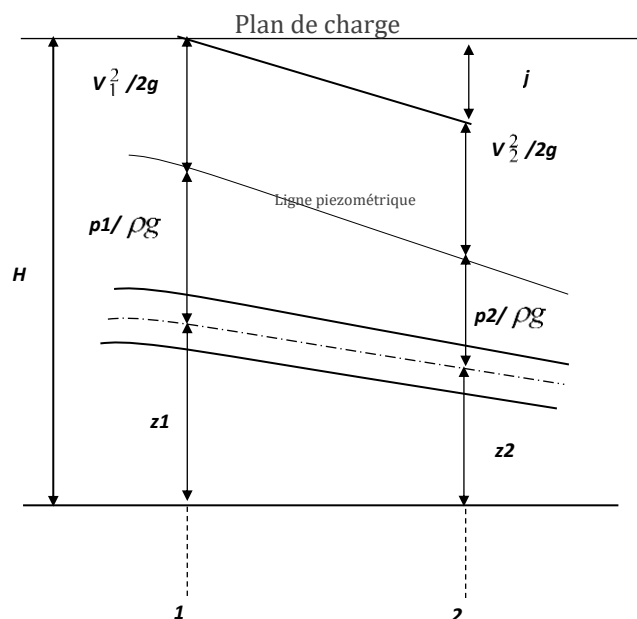


Fig.IV-1

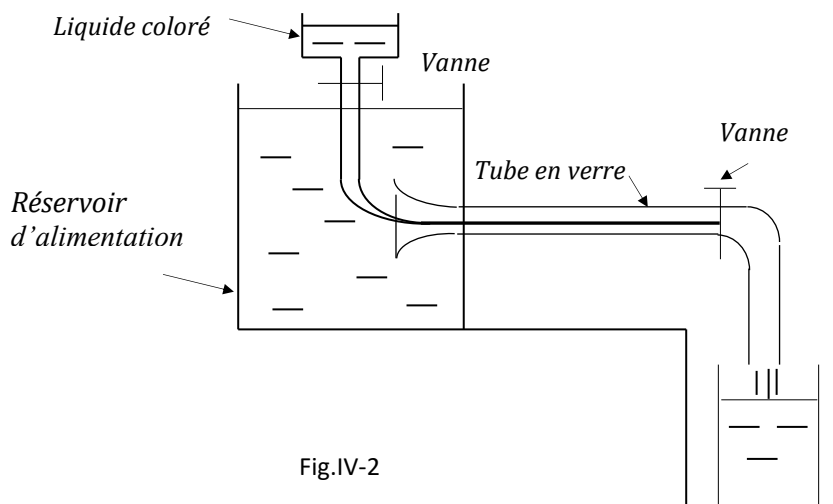


### IV-3. Régimes d'écoulement

Lors d'un écoulement d'un fluide on constate l'existence des différents régimes et c'est à Osborne Reynolds qu'il appartenait de les mettre expérimentalement en évidence et de dégager le critère permettant de les différencier.

### IV-4. Expérience de Reynolds

L'expérience de Reynolds (Fig.IV-2), consiste à injecter un liquide coloré dans une masse liquide en mouvement à l'intérieur d'un tube en verre.



Si on ouvre légèrement le robinet de vidange, le liquide coloré commence à passer lentement dans le tube en verre et ne se mélange pas avec les autres couches du liquide (Fig.IV-3), les lignes de courant dans le tube sont toujours rectilignes de telle sorte que la coloration reste uniforme. Ce régime s'appelle *Régime laminaire*.

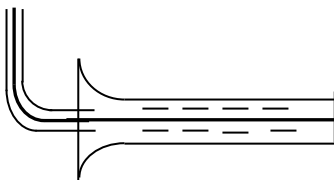


Fig.IV-3

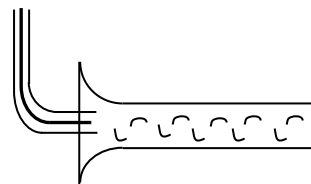


Fig.IV-4

Si on augmente l'ouverture du robinet, la vitesse d'écoulement s'accroît et on remarque des oscillations dans le tube. L'augmentation ultérieure de la vitesse entraîne le mélange du liquide coloré avec les autres couches du liquide dont laquelle chaque particule est projetée dans toutes les directions d'une manière irrégulière et désordonnée (Fig.IV-4). Ce régime s'appelle *Régime turbulent*.

Si on désigne par  $U$  la vitesse moyenne dans le tube,  $D$  le diamètre du tube et par  $\nu$  le coefficient de viscosité cinématique du liquide en mouvement, le nombre adimensionnel appelé nombre de Reynolds est :

$$Re = \frac{UD}{\nu}$$

Le nombre de Reynolds peut servir à caractériser le régime d'écoulement.

Pour un écoulement dans une conduite :

Si  $Re < 2320$                     *le régime est laminaire*

Si  $2320 < Re < 4000$         *le régime est transitoire*

Si  $Re > 4000$                 *le régime est turbulent*

#### IV-5. Perte de charge totale

Généralement la perte de charge totale est égale à la somme des pertes de charge linéaire et la perte de charge singulière :

$$J = j_l + j_s$$

#### IV-6. Perte de charge linéaire

L'expression de la perte de charge le long d'une conduite rectiligne et d'une section transversale constante est :

$$j_l = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{U^2}{2g} L$$

avec

$U$  : vitesse moyenne dans la conduite

$L$  : longueur de la conduite

$D$  : diamètre de la conduite

$g$  : l'accélération de la pesanteur

$\lambda$  : c'est un coefficient adimensionnel qui dépend de la nature de l'écoulement (nombre de Reynolds) et de la rugosité des parois de la canalisation, appelé aussi *coefficient de frottement*.

#### IV-7. Détermination du coefficient de frottement $\lambda$

##### a) Cas d'un régime laminaire

Dans le cas d'un régime laminaire le coefficient de frottement est fonction seulement du nombre de Reynolds  $R$ , suivant la formule :

$$\lambda = \frac{64}{R}$$

##### b) Cas d'un régime turbulent

Pour déterminer le coefficient de frottement dans le cas d'un régime turbulent, on utilise la formule de Colebrook white :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{R\sqrt{\lambda}} \right]$$

#### Remarque

Souvent on utilise le graphique de Moody pour déterminer le coefficient de frottement.

#### IV-8. Perte de charge singulière

Les pertes de charges singulière sont dues essentiellement à la présence des obstacles ou une variation de la section transversale ou de changement de la direction de l'écoulement.

La relation qui permet d'évaluer les pertes de charges singulière est la suivante :

$$j_s = \frac{\xi U^2}{2g} \quad \text{avec}$$

**$U$  : vitesse moyenne**

$\xi$  : coefficient de perte de charge singulière qui dépend de la forme et des dimensions de la singularité.

## Chapitre V

### Généralités sur les circuits hydrauliques et pneumatiques

#### V-1. Introduction

Un Circuit hydraulique est un assemblage de composants fonctionnant de manière unitaire et souvent en interaction afin d'utiliser un fluide sous pression pour effectuer un travail mécanique. Un tel système peut aussi être appelé installation hydraulique.

Un circuit pneumatique utilise les gaz sous pression pour créer un mouvement mécanique, le plus souvent le gaz sous pression est de l'air.

La force de pression s'exerce sur un actionneur qui peut être un vérin.

#### V-2. Principe physique appliqué de l'hydraulique

Le concept de l'hydraulique est basé sur le fait que si une force est appliquée à un liquide dans un point ce liquide transmet cette force sans la modifier et l'appliquera à tout autre point.

Si on applique une pression à un point A  $\Rightarrow$  une action ou un mouvement sera déclenchée à un point B.

L'hydraulique permet de multiplier la force appliquée (voir principe de Pascal chapitre 2).

#### V-3. Principe physique appliqué de la pneumatique

La plupart des systèmes pneumatiques utilisent des compresseurs d'air qui réduisent le volume d'air.

En réduisant le volume d'air nous obtenons par la suite des pressions élevées.

L'air comprimé se déplace dans les conduites, l'utilisateur contrôle le flux d'air dans les conduites jusqu'aux actionneurs par l'intermédiaire des vannes. Il est également important que le système puisse contrôler et filtrer l'air régulièrement pour garantir son fonctionnement et assure la durabilité de l'installation.

#### V-4. Comparaison entre l'hydraulique et la pneumatique

Ce sont deux domaines largement différents mais ils utilisent les mêmes techniques pour produire un mouvement mécanique. Ils utilisent les mêmes types d'actionneurs, la différence c'est que l'hydraulique utilise de l'huile (incompressible) et la pneumatique utilise de l'air (compressible).

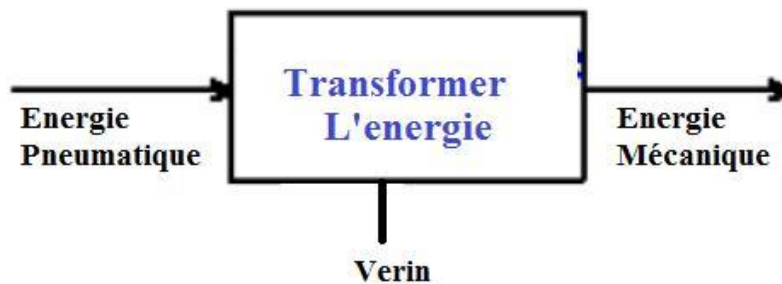
La pneumatique est généralement plus rapide par contre la pression étant faible (3 à 10 bars) par rapport à l'hydraulique.

Les systèmes pneumatiques sont moins coûteux que les systèmes hydrauliques.

## V-5. Les vérins pneumatiques

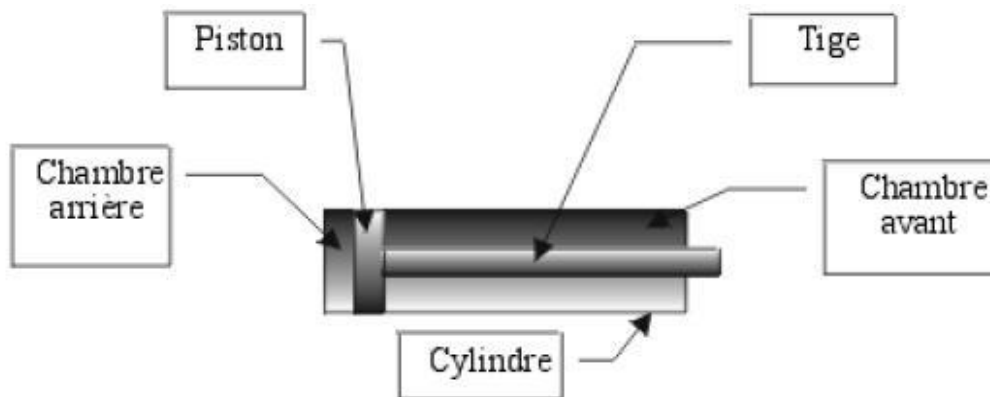
### V-5-1. Définition:

Un vérin pneumatique est un actionneur qui permet de transformer l'énergie de l'air comprimé en un travail mécanique. Un vérin pneumatique est soumis à des pressions d'air comprimé qui permettent d'obtenir des mouvements dans un sens, puis dans l'autre.



Les vérins sont constitués d'un cylindre, fermé aux deux extrémités, à l'intérieur coulisse un ensemble tige piston. On distingue donc deux chambres:

- La chambre arrière est la partie du cylindre ne contenant pas la tige du vérin.
- La chambre avant est la partie du cylindre contenant la tige du vérin.



### V-5-2. Classification des vérins

On distingue les types de vérins suivants:

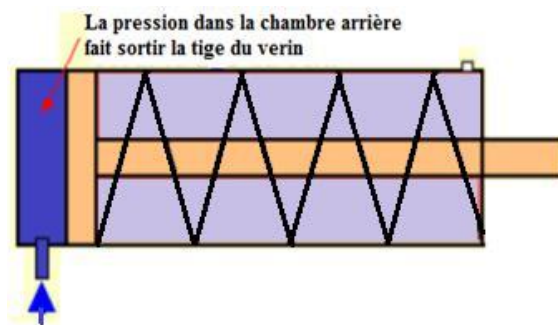
- Les vérins simple effet
- Les vérins double effets
- les vérins télescopiques
- les vérins rotatifs

## Les vérins pneumatiques à simple effet

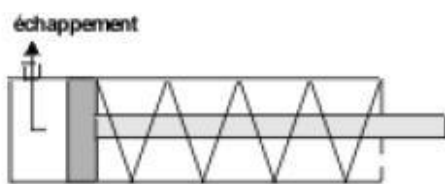
Ce sont des vérins qui effectuent un travail dans un seul sens. Ils permettent soit de pousser soit de tirer une charge, exclusivement. Seules les positions extrêmes sont utilisées avec ce type de vérin.

Un vérin pneumatique à simple effet n'a qu'une seule entrée d'air sous pression et ne développe un effort que dans une seule direction.

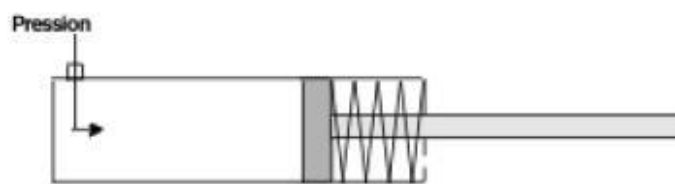
La course de retour à vide est réalisée par la détente d'un ressort de rappel incorporé dans le corps du vérin.



- Le vérin simple effet ne peut être alimenté que dans une seule chambre, c'est généralement la chambre arrière.
- Lorsque l'on cesse d'alimenter en pression cette chambre, le retour s'effectue sous l'action d'un ressort situé dans la chambre opposée.
- Celui-ci ne possède donc qu'une seule position stable.
- La chambre contenant le ressort est ouverte à l'air libre afin de ne pas contrarier le déplacement du piston.



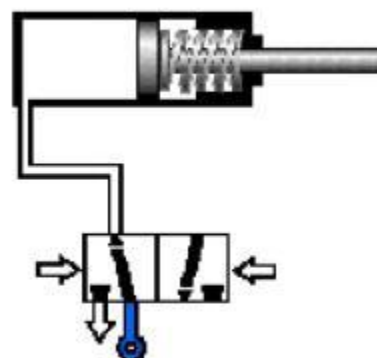
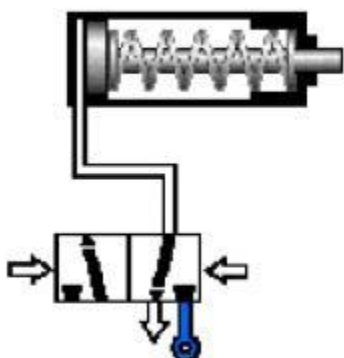
*Position tige rentrée*



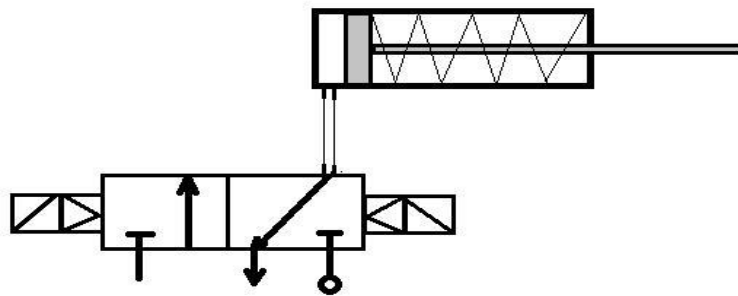
*Position tige sortie*

### Alimentation:

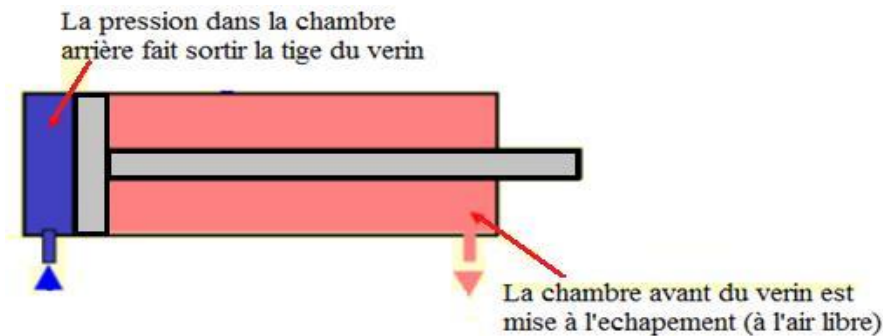
L'alimentation d'un vérin simple effet est obtenue à l'aide d'un distributeur 3/2.



## Vérin simple effet commandé par un distributeur 3/2



## Les vérins pneumatiques doubles effets (V.D.E.)



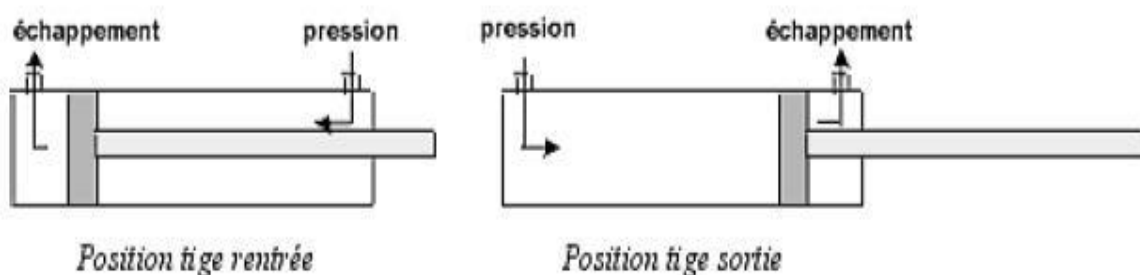
Les vérins doubles effets ont deux alimentations possibles: soit par la chambre arrière, soit par la chambre avant .

Lors de l'alimentation en pression de la chambre arrière le piston se déplace vers l'avant, celui-ci pousse l'air de la chambre avant.

Lors de l'alimentation en pression de la chambre avant le piston se déplace vers l'arrière, celui-ci pousse l'air de la chambre arrière.

L'air de la chambre à l'échappement doit pouvoir être évacué afin de ne pas s'opposer au déplacement du piston.

Dans un vérin double effet les chambres se trouvent donc alternativement mises à la



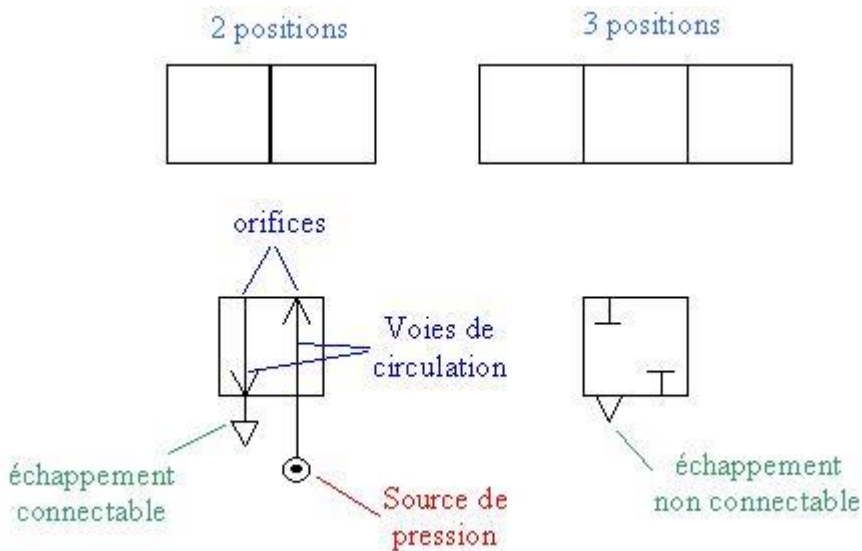
## V-6. Les distributeurs

Ils permettent de commuter et contrôler la circulation des fluides sous pression et assurent diverses fonctions :

- contrôle du mouvement de la tige d'un vérin.
- choisir le sens de circulation d'un fluide.
- exécuter des fonctions logiques.
- démarrer ou arrêter la circulation d'un fluide.

### V-6-1. Symbolisation

Le nombre de cases représente le nombre de positions de commutation possibles. Des flèches placées à l'intérieur des boîtes indiquent le sens de circulation du fluide entre les orifices. Des symboles particuliers indiquent les orifices fermés, la source de pression ou l'échappement. Le nom d'un distributeur indique le nombre d'orifices suivi du nombre de positions





# **V-6-2. Tableau des principaux distributeurs :**

Code	Symbole	Nb orifices	Nb positions
2 / 2		2	2
3 / 2		3	2
4 / 2		4	2
5 / 2		5	2
5 / 3		5	3

### V-7. Mise en œuvre d'une commande de vérin

On désire commander un vérin double effet avec un distributeur 5 / 2 avec commande pneumatique

Schéma en position initiale

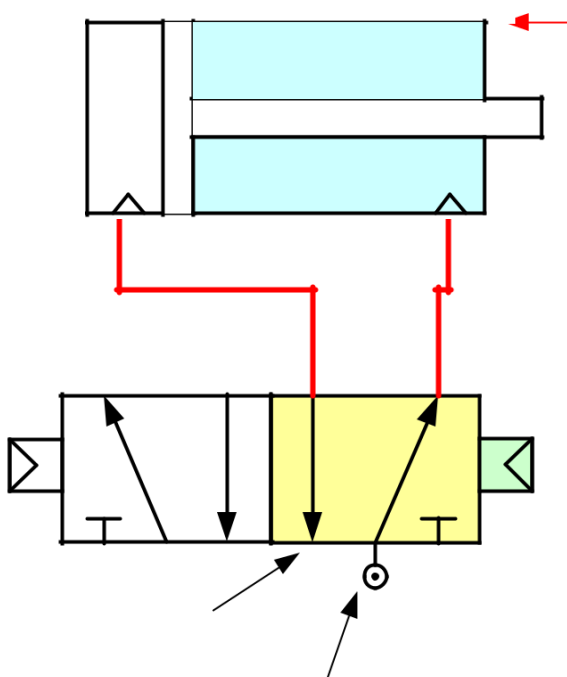


Schéma en position commande

