

CHAPITRE 1 : LES ECOULEMENTS DES FLUIDES

Pré -requis :

Mécanique des fluides : l'hydrostatique et la dynamique des fluides parfaits et réels incompressibles.

Objectifs spécifiques :

A la fin de ce chapitre, l'étudiant doit être capable de :

- déterminer le régime d'écoulement d'un fluide.
- déterminer les pertes de charge dans les conduites.
- dimensionner une pompe

Contenu:

- Généralités sur les fluides
- Les régimes d'écoulement
- Théorème de Bernoulli pour un fluide réel
- Les pertes de charge

CHAPITRE 1 :

LES ECOULEMENTS DES FLUIDES

I – Généralités :

1. Définition d'un fluide :

Les fluides sont des corps dont les molécules sont très mobiles les unes par rapport aux autres.

Un fluide prend automatiquement la forme du récipient qui le contient.

On peut classer les fluides en deux groupes : des liquides et des gaz.

Les liquides ont un volume propre tant dis que les gaz occupent tout le volume qui lui sont offert.

2. Compressibilité des fluides :

Soit ρ la masse volumique d'un fluide.

D'une façon générale, ρ varie avec la pression et la température.

On appelle un fluide incompressible lorsque ρ est indépendante de p et T .

Les liquides sont très peu compressibles.

Pratiquement : on considère que les liquides sont incompressibles et les gaz sont compressibles.

3. Viscosité :

Les forces de cohésion intermoléculaire ont tendance à freiner l'écoulement d'un fluide.

Cette propriété est appelée viscosité : c'est la capacité d'écoulement d'un fluide.

- Coefficient de viscosité dynamique « μ » : exprimé dans le système international en Poiseuille (Pl) ou en Pascal seconde (Pa.s)
- Coefficient de viscosité cinématique « ν » : exprimé dans le système international en mètre carré par seconde (m^2/s)

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

4. Fluide parfait – fluide réel :

Un fluide parfait est un fluide dont les molécules se déplacent sans aucun frottement les uns par rapport aux autres ; donc sans viscosité $\mu = 0$. (C'est théorique)

Un fluide est réel lorsque $\mu \neq 0$

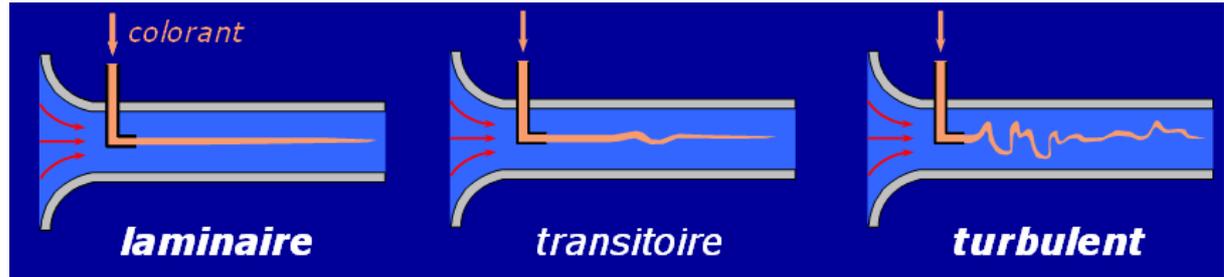
II- Les régimes d'écoulement :

Expérience :

Soit un courant d'eau qui circule dans une conduite à section circulaire.

On introduit un filet de colorant dans l'axe de cette conduite.

Suivant la vitesse d'écoulement de l'eau, on peut observer les phénomènes suivants :



a) Vitesse faible

b) Vitesse plus élevée

c) Vitesse très élevée

- Pour des vitesses faibles, le filet colorant traverse le long de la conduite en position centrale.
- Pour des vitesses plus élevées, le filet colorant se mélange brusquement dans l'eau après avoir parcouru une distance.
- Pour des vitesses très élevées, le colorant se mélange immédiatement dans l'eau.

1. **Régime laminaire** : (cas a) le fluide s'écoule en couches cylindriques coaxiales ayant pour axe le centre de la conduite.
2. **Régime transitoire** : (cas b) c'est une transition entre le régime laminaire et ce lui turbulent.
3. **Régime turbulent** : (cas c) formation de mouvement tourbillonnant dans le fluide.

Cette expérience est faite par Reynolds en faisant varier le diamètre de la conduite, la température, le débit, etc..., pour des divers fluides.

La détermination du régime d'écoulement est par le calcul d'un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds (Re).

$$\text{Re} = \frac{D \cdot u \cdot \rho}{\mu} = \frac{D \cdot u}{\nu}$$

Avec : D : diamètre de la conduite (en m)

u : vitesse moyenne d'écoulement (en m/s)

ρ : masse volumique du fluide (en kg/m^3)

μ : coefficient de viscosité dynamique (en Pa.s)

ν : coefficient de viscosité cinématique (en m^2/s)

Si $Re < 2000$ le régime est laminaire

Si $Re > 3000$ le régime est turbulent

Si $2000 < Re < 3000$ le régime est transitoire

Remarque : si la section n'est pas circulaire, on définit le diamètre équivalent (De) par :

$$De = \frac{4 * \text{la section de la conduite}}{\text{le périmètre mouillé par le fluide}}$$

III – Théorème de BERNOULLI pour un fluide réel :

Lorsque le fluide est réel, la viscosité est non nulle, alors au cours du déplacement du fluide, les différentes couches frottent les unes contre les autres et contre la paroi qui n'est pas parfaitement lisse d'où il y a une perte sous forme de dégagement d'énergie ; cette perte appelée **perte de charge**.

La relation de Bernoulli peut s'écrire sous la forme :

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho.g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho.g} + \Delta H_{1,2}$$

$\Delta H_{1,2}$: c'est l'ensemble des pertes de charge entre (1) et (2) exprimé en hauteur.

Les pertes de charge peuvent être exprimées en pression / $\Delta p_{1,2} = \rho.g. \Delta H_{1,2}$

IV – Pertes de charge :

Les pertes de charge sont à l'origine :

- Des frottements entre les différentes couches de liquide et des frottement entre le liquide et la paroi interne de la conduite le long de l'écoulement : ce sont les **pertes de charge régulières**.
- De la résistance à l'écoulement provoqués par les accidents de parcours (vannes, coudes,etc...) ; ce sont les **pertes de charge singulières ou localisés** .

1. **Pertes de charge régulières** : ΔH_r

Soit un écoulement permanent d'un liquide dans une conduite de diamètre D. La perte de charge entre deux points séparés d'une longueur L est de la forme :

$$\Delta H_r = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Avec v : vitesse moyenne du fluide

λ : coefficient de perte de charge régulière.

Pour déterminer le coefficient de perte de charge régulière λ , on fait souvent appel à des formules empiriques tel que :

- Si l'écoulement est laminaire, nous avons la ***loi de Poiseuille***

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

- Si l'écoulement est turbulent, on a deux cas :

Turbulent lisse $R < 10^5$: on a la ***loi de Blasius*** : $\lambda = 0.316 \text{Re}^{-1/4} = (100 \text{Re})^{-1/4}$

Turbulent rugueux $R > 10^5$: il y a d'autres lois tel que de Blench.

2. **Pertes de charge singulières** : ΔH_s

$$\Delta H_r = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Avec k : coefficient de perte de charge singulière qui dépend de la forme géométrique de la conduite (rétrécissement de section, coude, vanne, etc...).

Remarque : Longueur équivalente de conduite (L_e):

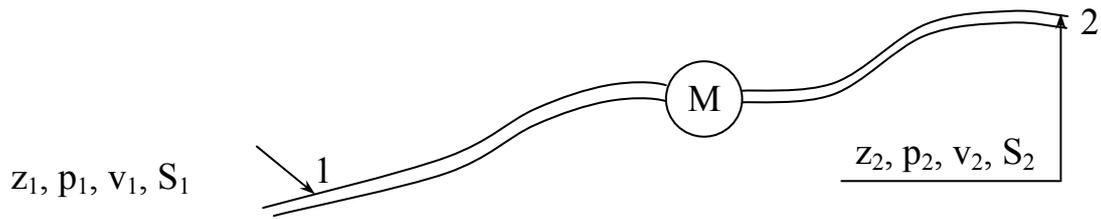
La perte de charge singulière est parfois caractérisée par une longueur équivalente (L_e)

telle que $k = \lambda \frac{L_e}{D}$

L'avantage est de relativiser directement l'importance des pertes de charge singulières par rapport aux pertes de charge régulières et de faciliter le calcul du circuit lorsque les conduites sont toutes de même diamètre :

$$\Delta H = \Delta H_r + \Delta H_s = \lambda \frac{L + L_e}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

V – Fluide réel traversant une machine :



Lorsque le fluide traverse une machine hydraulique, alors il y a un échange d'énergie entre le fluide et la machine.

Soit E l'énergie par unité de masse échangée entre le fluide et la machine.

On pose $E > 0$ si la machine est motrice (pompe)

$E < 0$ si la machine est réceptrice (turbine)

Le bilan énergétique appliqué entre (1) et (2) : $E(1) + E = E(2) + E_{\text{perdu}}$

Le théorème de Bernoulli s'écrit alors :

$$\frac{1}{2}v_1^2 + g.z_1 + \frac{p_1}{\rho} + E = \frac{1}{2}v_2^2 + g.z_2 + \frac{p_2}{\rho} + \Delta H_{1,2}$$

La puissance échangée est une puissance hydraulique :

$$P_{\text{hyd}} = \frac{dW}{dt} = \frac{E.dm}{dt} = E.q_m \quad \Leftrightarrow \quad P_{\text{hyd}} = \rho.E.q_V$$

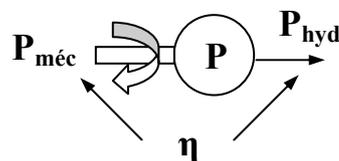
Les pertes d'énergie dans les machines sont traduites par un rendement. Ce dernier est le

rapport de la puissance utile par la puissance absorbée : $\eta = \frac{P_u}{P_{\text{abs}}}$

Donc, la puissance mécanique est :

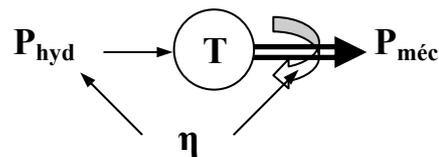
- Dans le cas d'une pompe :

$$\eta = \frac{P_{\text{hyd}}}{P_{\text{méc}}} \quad \text{d'où : } P_{\text{méc}} = \frac{P_{\text{hyd}}}{\eta}$$



- Dans le cas d'une turbine :

$$\eta = \frac{P_{\text{méc}}}{P_{\text{hyd}}} \quad \text{d'où : } P_{\text{méc}} = \eta.P_{\text{hyd}}$$



CHAPITRE 2 : **INTRODUCTION AUX SYSTEMES HYDRAULIQUES**

Pré -requis :

Les écoulements des fluides.

Objectifs spécifiques :

A la fin de ce chapitre, l'étudiant doit être capable de différencier entre les circuits de transport des liquides et les circuits de transmission de puissance.

Contenu:

- Circuit de transport des liquides
- Circuit d'hydraulique industrielle