

PERTES DE CHARGE (F3)

1 - Le phénomène

Observations

- La pression d'un liquide réel diminue tout au long d'une canalisation dans laquelle il s'écoule, même si elle est horizontale et de section uniforme, contrairement au théorème de Bernoulli.
- La pression d'un fluide réel diminue après le passage à travers un coude, une vanne ou un rétrécissement.

Conclusion

- Un **fluide réel**, en **mouvement**, subit des **pertes d'énergie** dues aux frottements sur les parois de la canalisation (pertes de charge *systématiques*) ou sur les "accidents" de parcours (pertes de charge *singulières*).

3 - Théorème de Bernoulli appliqué à un fluide réel avec pertes de charge

Lors d'un écoulement d'un fluide réel il peut y avoir des *pertes de charge* entre les points (1) et (2) : dans le cas d'une installation ne comportant pas de machine hydraulique (pompe ou turbine) on écrira la relation de Bernoulli sous la forme :

$$\frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (z_2 - z_1) + (p_2 - p_1) = -\Delta p$$

- Δp représente l'ensemble des pertes de charge entre (1) et (2) exprimées en Pa.

4 - Expression des pertes de charge

4.1 - Influence des différentes grandeurs

Lorsqu'on considère un fluide réel, les pertes d'énergie spécifiques ou bien comme on les appelle souvent, les **pertes de charge** dépendent de la forme, des dimensions et de la rugosité de la canalisation, de la vitesse d'écoulement et de la viscosité du liquide mais non de la valeur absolue de la pression qui règne dans le liquide.

La différence de pression $p = p_1 - p_2$ entre deux points (1) et (2) d'un circuit hydraulique a pour origine :

- Les frottements du fluide sur la paroi interne de la tuyauterie ; on les appelle **pertes de charge régulières ou systématiques**.
- La résistance à l'écoulement provoquée par les accidents de parcours (coudes, élargissements ou rétrécissement de la section, organes de réglage, etc.) ; ce sont les **pertes de charge accidentelles ou singulières**.

Le problème du calcul de ces pertes de charge met en présence les principales grandeurs suivantes :

Le fluide caractérisé par :

- sa masse volumique ρ .

- sa viscosité cinématique ν .

Un tuyau caractérisé par :

- sa section (forme et dimension) en général circulaire (diamètre D), sa longueur L.

- sa rugosité k (hauteur moyenne des aspérités de la paroi).

Ces éléments sont liés par des grandeurs comme la vitesse moyenne d'écoulement v ou le débit q et le nombre de Reynolds Re qui joue un rôle primordial dans le calcul des pertes de charge.

4.2 - Pertes de charge systématiques

4.2.1 - Généralités

Ce genre de perte est causé par le frottement intérieur qui se produit dans les liquides ; il se rencontre dans les tuyaux **lisses** aussi bien que dans les tuyaux **rugueux**.

Entre deux points séparés par une longueur L , dans un tuyau de diamètre D apparaît une perte de pression p , exprimée sous la forme suivante :

$$\Delta p = \lambda \frac{\rho v^2 L}{2 D} \quad \Delta h = \lambda \frac{v^2 L}{2g D}$$

Différence de pression (Pa) *Perte de charge exprimée en mètres de colonne de fluide (mCF)*

est un coefficient sans dimension appelé **coefficient de perte de charge linéaire**.

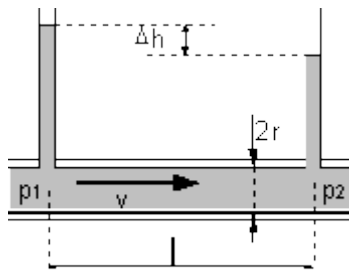
Le calcul des pertes de charge repose entièrement sur la détermination de ce coefficient λ .

4.2.2 - Cas de l'écoulement laminaire : $Re < 2000$

Dans ce cas on peut montrer que le coefficient est uniquement fonction du nombre de Reynolds Re ; l'état de la surface n'intervient pas et donc ne dépend pas de k (hauteur moyenne des aspérités du tuyau), ni de la nature de la tuyauterie.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{avec} \quad Re = \frac{vD}{\nu}$$

Il est alors immédiat de voir que h est proportionnel à la vitesse v et donc au débit q , ainsi qu'à la viscosité cinématique.



4.2.3 - Loi de Poiseuille

Pour un **écoulement laminaire**, dans une conduite cylindrique horizontale, le débit-volume d'un fluide est donné par :

$$q_v = \frac{\pi r^4}{8\eta \ell} \cdot (p_1 - p_2)$$

avec :

- q_v : débit-volume ($m^3 \cdot s^{-1}$),
- r : rayon intérieur (m),
- η : viscosité dynamique du fluide ($Pa \cdot s$),
- ℓ : longueur entre les points (1) et (2) (m),
- p_1 et p_2 : pression du fluide aux points (1) et (2) (Pa).

4.2.4 - Cas de l'écoulement turbulent : $Re > 3000$

Les phénomènes d'écoulement sont beaucoup plus complexes et la détermination du coefficient de perte de charge résulte de mesures expérimentales. C'est ce qui explique la diversité des formules anciennes qui ont été proposées pour sa détermination.

En régime turbulent l'état de la surface devient sensible et son influence est d'autant plus grande que le nombre de Reynolds Re est grand. Tous les travaux ont montré l'influence de la rugosité et on s'est attaché par la suite à chercher la variation du coefficient en fonction du nombre de Reynolds Re et de la rugosité k du tuyau.

La formule de Colebrook est actuellement considérée comme celle qui traduit le mieux les phénomènes d'écoulement en régime turbulent. Elle est présentée sous la forme suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

L'utilisation directe de cette formule demanderait, du fait de sa forme implicite, un calcul par approximations successives ; on emploie aussi en pratique des représentations graphiques (abaques).

Pour simplifier la relation précédente, on peut chercher à savoir si l'écoulement est **hydrauliquement lisse** ou **rugueux** pour évaluer la prédominance des deux termes entre parenthèses dans la relation de Colebrook.

Remarque :

On fait souvent appel à des formules empiriques plus simples valables pour des cas particuliers et dans un certain domaine du nombre de Reynolds, par exemple :

Formule de Blasius : (pour des tuyaux lisses et $Re < 10^5$)

$$\lambda = 0,316 Re^{-0,25}$$

4.3 - Pertes de charge accidentelles

Ainsi que les expériences le montrent, dans beaucoup de cas, les pertes de charge sont à peu près proportionnelles au carré de la vitesse et donc on a adopté la forme suivante d'expression :

$$\Delta p = K \frac{\rho v^2}{2} \quad \Delta h = K \frac{v^2}{2g}$$

Perte de charge exprimée en de pression (Pa). Perte de charge exprimée en mètres de colonne de fluide (mCF)

K est appelé **coefficient de perte de charge singulière** (sans dimension).

La détermination de ce coefficient est principalement du domaine de l'expérience.

5 - Théorème de Bernoulli généralisé

Lors d'un écoulement d'un fluide réel entre les points (1) et (2) il peut y avoir des *échanges d'énergie* entre ce fluide et le milieu extérieur :

- par *travail* à travers une machine, pompe ou turbine ; la puissance échangée étant P (voir Théorème de Bernoulli § 3.7)
- par *pertes de charge* dues aux frottements du fluide sur les parois ou les accidents de parcours ; la différence de pression étant Δp (voir ci-dessus § 3.1 et §3.2)

Le théorème de Bernoulli s'écrit alors sous la forme générale :

$$\frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (z_2 - z_1) + (p_2 - p_1) = \frac{\sum P}{q_v} - \Delta p$$

avec :

- $\sum P$: somme des puissances échangées entre le fluide et le milieu extérieur, à travers une machine, entre (1) et (2) :
 $P > 0$ si le fluide reçoit de l'énergie de la machine (pompe),
 $P < 0$ si le fluide fournit de l'énergie à la machine (turbine),
 $P = 0$ s'il n'y a pas de machine entre (1) et (2).
- Δp : somme des pertes de charge entre (1) et (2) :