Chapitre 2 : Ecoulement en charge et pertes de charge

1) Définition

Les écoulements en charge sont généralement présents dans des conduites fermées. Dans ce type d'écoulement, il y a absence de surface libre en contact de l'air. La pression y est généralement supérieure à la pression atmosphérique.

2) Régimes d'écoulement

2.1 Nombre de Reynolds

Dans les écoulements en charge, les forces de pression et les forces de viscosités sont les seules à jouer un rôle. Le paramètre sans dimension qui caractérise donc les écoulements en charge est le nombre de Reynolds (Re)

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\varphi D}{S\nu}$$

ν = coefficient de viscosité dynamique

V = vitesse moyenne de circulation du liquide

$$V = \frac{\varphi}{S}$$

φ = débit

S = section droite

D = paramètre linéaire, il est égal au diamètre.

en cas de conduite circulaire. pour les conduites noncirculaires, D est pris égal 4 fois le rayon hydraulique.

2.2/ Régime Laminaire et Régime turbulent

- pour $Re < 2000$, le régime ou mouvement est laminaire ; c'est à dire les particules se déplacent en suivant des filets parallèles.
- pour $Re > 2000$, le régime (mouvement) est turbulent ; c'est à dire les trajectoires des particules ne sont pas réctilignes. En un point, la vitesse est animée de fluctuations aléatoires autour d'une valeur moyenne, on assiste aux forces de viscosité dues au mouvement longitudinal et forces de frottement dues au échanges transversaux de quantités de mouvement s'opposent aussi à l'écoulement d'où pertes d'energie importante

Remarque , Entre le régime laminaire et le régime turbulent, il existe une zone de transition dont les caractéristiques sont variables avec la rugosité.

2.3/ Distribution des vitesses

Dans le cas de l'écoulement laminaire en tuyaux, la distribution des vitesse obeit à une loi parabolique. La vitesse est minimale prés des parois et maximale au centre. Si la conduite est circulaire, la vitesse Vr à la distance r du centre est donnée par la formule suivante :

$$\frac{V_r}{2V_m} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

V_m = vitesse moyenne

R = rayon de la conduite

la vitesse $V_{max} = 2\ V_m$

2.4 Rugosité absolue et rugosité relative

La rugosité absolue est donnée par la mesure de l'épaisseur des rugosités des parois de la conduite. La rugosité relative $\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$ est le rapport de la rugosité absolue (ε) au diamètre de la conduite (D).

3) Pertes de charge

3.1/ pertes de charge linéaires

expression générale

$$i = \lambda \frac{V^2}{D \times 2g}$$

i = perte de charge par mètre de conduite mesurée en m de hauteur du liquide

V = vitesse moyenne

D : Diamètre pour les conduites circulaire, pour les sections non circulaire $D = 4R$, R étant le rayon hydraulique

λ = coefficient de perte de charge

l'expression précédente peut s'écrire également en fonction du débits sous forme :

$$i = m\, Q^2$$

avec

$$m = \lambda \frac{1}{D\, 2g S^2}$$

pour les conduites circulaires

$$m = \lambda = \frac{16}{2g\pi^2} \times \frac{1}{D^5} = 0{,}0826\, \lambda\, D^{-5}$$

Le coefficient de perte de charge λ est en fonction du nombre de Reynolds et des caractéristiques de la conduite.

- si le regime est laminaire ($Re < 2000$), λ est indépendant de la rugosité relative et n'est fonction que du nombre de Reynolds.

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

• Dans le cas du régime turbulent, il existe plusieurs formules donnant la valeur de λ (tables: 4.2, 4.3)

Formule de poiseuille

Elle s'applique dans le cas de l'écoulement d'un fluide quelconque en régime laminaire

- cas de conduite circulaire

$$i = \frac{32\,\nu V}{g D^2} = 3{,}26\,\frac{\nu V}{D^2} = 4{,}15\,\frac{\varphi}{D^4}$$

- cas de section non circulaire

$$i = \frac{\nu V}{c g s}$$

C = constante donnée par la table 48 qui est fonction de la forme de la section.

Rappel

$$\nu = \text{coefficient de viscosité cinématique} = \frac{\text{coefficient de viscosité dynamique}}{\text{masse volumique}}$$

Formule du type CHEZY

Elle a été établie d'abord pour l'écoulement en canaux puis généralisée pour l'écoulement en charge.

Elle s'écrit

$$V = C\sqrt{Ri}$$

où

$$i = \frac{V^2}{C^2 R} = \frac{\varphi^2}{C^2 R S^2}$$

R = rayon hydraulique
C = coefficient experimental

on peut écrire aussi

$$i = m\varphi^2$$

où

$$m = \frac{1}{C^2 R S^2}$$

le coefficient C de chezy et le facteur de résistance λ sont liés par l'expression

$$\lambda = \frac{8g}{C^2}$$

Divers experimentateurs ont donné des expressions de C en fonction du rayon hydraulique R. Elles s'appliquent aux ecoulements d'eau en regime turbulent rugueux.
A titre d'exemple, on a deux formules proposées par Bazin et Kutter, à savoir

Formule de Bazin

$$C = \frac{87\sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}}$$

Formule de Kutter

$$C = \frac{100\sqrt{R}}{n + \sqrt{R}}$$

Les valeurs de γ et n sont donnéespar les tables 49 et 50 respectivement pour les unités métriques.
R est en m, v est en m/s

3.2/ <u>pertes de charge singulières</u>

Expression générale et longueur équivalente de conduite

Les pertes de charge singulières peuvent s'écrire sous la forme suivante

$$\Delta H = \frac{KV^2}{2g} = m' K Q^2$$

avec

$$m' = \frac{1}{2gS^2}$$

d'où pour les conduites circulaires avec des unités métriques

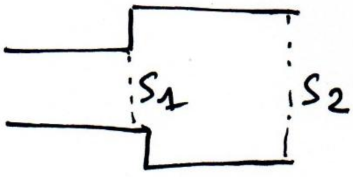
$$m' = \frac{16}{2g\pi^2} \times \frac{1}{D^4} = 0{,}0826\ D^{-4}$$

Il est parfois commode de remplacer la perte de charge singulière par une longueur fictive de conduite qui provoque la meme perte d'énergie et que l'on désigne par <u>longueur équivalente de conduite</u>.

<u>Perte de charge singulière le long d'un courant liquide</u>

Il peut exister le long d'un courant liquide des causes locales de perte de charge dues à une brusque variation de la section transversale ou de la direction du courant, constituants des singularités (élargissement brusque, retrécissement brusque, changement de direction)

1- <u>Elargissement brusque de la section</u> d'un courant



$$\Delta H = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

V_1 et V_2 sont les vitesses dans les des deux section S_1 et S_2

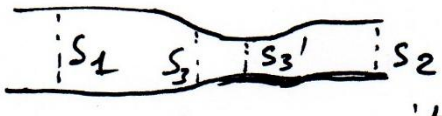
Le résultat précédent qui constitue le théorème de Borda est introduit finalement par un terme correctif de Saint-Venant, d'où la relation devient :

$$\Delta H = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} + \frac{1}{9}\frac{V_2^2}{2g}$$

En transformant cette relation pour n'y faire introduire que $\frac{V_1^2}{2g}$, on obtient

$$\Delta H = \frac{V_1^2}{2g}\left[\left(\frac{S_1}{S_2} - 1\right) + \frac{1}{9}\right]$$

2. perte de charge dans les rétrécissement



Les pertes de charge dans un rétrécissement résultant surtout des pertes par élargissement dues au passage de la section contractée à une autre section :

$$\Delta H = \frac{K V^2}{2g}$$

La valeur de K est donnée par les tables avec le coefficient de contraction $m = \frac{S_3'}{S_2}$

3/ perte de charge dans les vannes et robinets

$$\Delta H = K \frac{V^2}{2g}$$

V = vitesse moyenne dans la section normale de la conduite, les valeurs de K sont données par les tables (partiellement ouverts et complètement ouverts)

En fonction de la forme d'écoulement, on peut avoir deux groupes de vannes:

1er groupe : l'écoulement ne subit pas de changement de direction ; il comprend les robinets vannes, les vannes papillons ; les soupapes de retenus, les vannes-clapet et les clapets de non retour

2eme groupe, l'écoulement subit un changement de direction à la sortie ; il comprend les robinets à soupape, les vanne d'angle et vannes en Y.

La part la plus importante de la perte de charge pour tous ces types de vannes lorsqu'elles ne sont pas complètement ouvertes est due à l'élargissement brusque (perte à la Borda) qui se produit à l'aval de la vanne.

- perte de charge dans les coudes

Un coude provoque une perturbation dans l'écoulement par suite de l'augmentation de pression (et de diminution corrélative de la vitesse) dans la partie extérieure et inversement dans la partie intérieure.

Dans les résolutions des problèmes d'écoulement en charge en régime permanent, il convient de tenir compte des équations générales de l'hydraulique et des expressions de perte de charge linéaire et singulière.

l'expression générale de la perte de charge totale est donc

$$\Delta E = \varphi^2 \left(\Sigma mL + \Sigma m'K \right)$$

$$\varphi = \sqrt{\frac{\Delta E}{\Sigma mL + \Sigma m'K}}$$

- $\Delta H = mL\varphi^2$ représente les pertes de charge linéaire

- $\Delta H = m'K\varphi^2$ représente les pertes de charge singulières.