

Chapitre 4

Perte de charge

Objectifs

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

- Appliquer l'équation de Bernoulli pour le cas d'un fluide réel
- Calculer les pertes de charges dans un circuit hydraulique.

I. Introduction

La perte de charge est l'énergie hydraulique dissipée en énergie calorifique. Cette dissipation résulte du frottement sur les parois des canalisations des particules de fluide se trouvant au voisinage de celles-ci

Les pertes de charge peuvent être :

- **Linéiques ou régulières** : elles correspondent à l'écoulement le long des conduites.
- **Singulières** : provoquées par la présence des obstacles sur une conduite : vanne, coude, rétrécissement, élargissement,... Ces obstacles provoquent également des pertes à cause des tourbillons créés par ces accidents

II. Calcul des pertes de charge

1. Pertes de charge linéaire

L'expression de la perte de charge linéaire dans une conduite est donnée par la loi suivante :

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right) \quad (40)$$

Avec :

L : Longueur de la conduite (m)

D : diamètre de conduite (m)

g : accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ms}^{-2}$)

ρ : masse volumique de fluide (Kg.m^{-3})

Dans cette relation λ est un coefficient sans dimension de charge qui tient compte de l'influence de divers paramètres, tels que : la rugosité et la viscosité du fluide par l'intermédiaire de nombre de Reynolds.

Le coefficient de perte de charge λ dépend de lois empiriques différentes suivant le régime d'écoulement.

Mécanique des fluides

- Pour $Re < 2000$: l'écoulement est laminaire

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (41)$$

Le coefficient λ dans un écoulement laminaire est indépendant de la rugosité de la conduite et inversement proportionnel au nombre de Reynolds.

En substituant λ dans l'équation (40) par sa valeur, on obtient :

$$\Delta p = \frac{64 L}{Re D} \left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right) = \frac{32 \vartheta \times L \times V}{g D^2} \quad (42)$$

Ce qui montre que la perte de charge régulière dans un écoulement laminaire est proportionnelle à V et inversement proportionnelle à D^2

- Pour $Re > 2000$: l'écoulement est en général turbulent. On distingue le cas des conduites lisses et des conduites rugueuses

- Si la rugosité est faible, la conduite se comporte comme étant typiquement lisse et on a :

$$\lambda = 0.316 Re^{-0.25} \quad (43)$$

- Si la rugosité est forte, la conduite se comporte comme étant typiquement rugueuse et on a, si Re est très grand :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \left(3.71 \frac{D}{\xi} \right) \quad (44)$$

Avec :

ξ : représente la rugosité moyenne des irrégularités de la paroi de la conduite

En général, on utilise des diagrammes ou des abaques pour évaluer les valeurs de λ en fonction de Re et de $\frac{\xi}{D}$

Quelques valeurs de rugosité ξ sont indiquées dans le tableau suivant.

Rugosité ξ pour différentes conduites du commerce

Matériau de conduite	ε (cm)	
	Intervalle	Valeur de conception
Fer galvanisé	0.006-0.24	0.015
Fer forgé	0.003-0.009	0.006
Cuivre	0.00015	0.00015

Mécanique des fluides

Acier commercial	0.003-0.009	0.006
Fonte nue	0.012-0.06	0.024
Fonte revêtue de ciment	0.00024	0.00024

Exemple :

Le diagramme de Moody est un abaque permettant de regrouper l'ensemble des régimes d'écoulement : les variables utilisées sont λ , Re et $\frac{\xi}{D}$

Diagramme de Moody

Le diagramme de Moody définit quatre zones d'écoulement différentes :

- Une zone d'écoulement laminaire où λ est une fonction linéaire de Re :

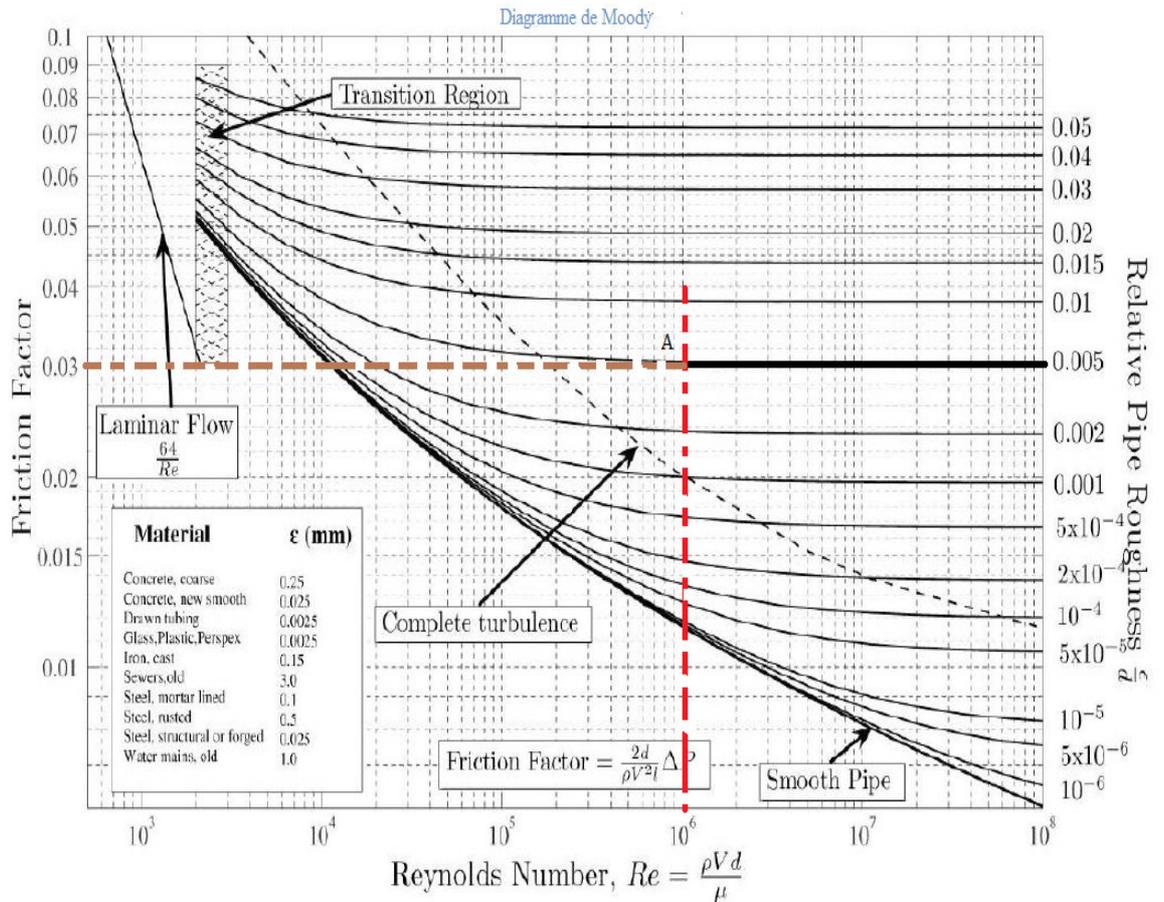
Le coefficient λ se lit directement à partir de la droite $64/Re$

- Une zone critique
- Une zone de transition commençant avec des conduites lisses
- Une zone de turbulence où λ dépend seulement de ξ/D :
 - On calcul la rugosité relative $\frac{\xi}{D}$ et on sélectionne la courbe correspondante.
 - On détermine le nombre de Reynolds.

L'intersection entre la droite verticale et la courbe ξ/D

Exemple1

Pour un nombre de Reynolds égal à 106 et une rugosité relative $\frac{\xi}{D} = 0.005$, le coefficient $\lambda = 0.03$.



Exemple 2

Calculer, en utilisant le diagramme de Moody, la perte linéaire dans une conduite en acier commercial d'un diamètre de 700mm sur une longueur de 400m, parcourue par un débit de $2.6\text{m}^3/\text{s}$

2. Pertes de charge singulières

La perte de charge entre deux points A et B encadrant un obstacle est donnée par la relation suivante :

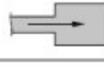
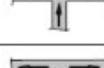
$$\Delta p_{A-B} = K \left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right) \quad (45)$$

K est un coefficient dépendant de la forme de la singularité.

Mécanique des fluides

Le tableau suivant donne les valeurs typiques des coefficients de perte pour plusieurs types des obstacles :

- Les coudes

		Diamètre du tube acier inox, cuivre ou plastique				
		8 + 16 mm	18 + 28 mm	30 + 54 mm	> 54 mm	
		Diamètre du tube acier				
		3/8" + 1/2"	3/4" + 1"	1 1/4" + 2"	> 2"	
Type de résistance singulière		Symbole				
Coude serré à 90°	$r/d = 1,5$		2,0	1,5	1,0	0,8
Coude normal à 90°	$r/d = 2,5$		1,5	1,0	0,5	0,4
Coude large à 90°	$r/d > 3,5$		1,0	0,5	0,3	0,3
Coude serré en U	$r/d = 1,5$		2,5	2,0	1,5	1,0
Coude normal en U	$r/d = 2,5$		2,0	1,5	0,8	0,5
Coude large en U	$r/d > 3,5$		1,5	0,8	0,4	0,4
Élargissement			1,0			
Restriction			0,5			
Dérivation simple avec T équerre			1,0			
Jonction simple avec T équerre			1,0			
Dérivation double avec T équerre			3,0			
Jonction double avec T équerre			3,0			
Dérivation simple avec angle incliné (45° - 60°)			0,5			

- Les vannes

Mécanique des fluides

<i>Diamètre du tube acier inox, cuivre ou plastique</i>		8 + 16 mm	18 + 28 mm	30 + 54 mm	> 54 mm
<i>Diamètre du tube acier</i>		3/8" + 1/2"	3/4" + 1"	1 1/4" + 2"	> 2"
<i>Type de résistance singulière</i>	<i>Symbole</i>				
Vanne d'arrêt droite		10,0	8,0	7,0	6,0
Vanne d'arrêt inclinée		5,0	4,0	3,0	3,0
Vanne à opercule à passage réduit		1,2	1,0	0,8	0,6
Vanne à opercule à passage total		0,2	0,2	0,1	0,1
Vanne à sphère à passage réduit		1,6	1,0	0,8	0,6
Vanne à sphère à passage total		0,2	0,2	0,1	0,1
Vanne papillon		3,5	2,0	1,5	1,0
Clapet anti-retour		3,0	2,0	1,0	1,0
Robinet de radiateur droit		8,5	7,0	6,0	—
Robinet de radiateur équerre		4,0	4,0	3,0	—
Té de réglage		1,5	1,5	1,0	—
Coude de réglage		1,0	1,0	0,5	—
Vanne quatre voies		6,0		4,0	