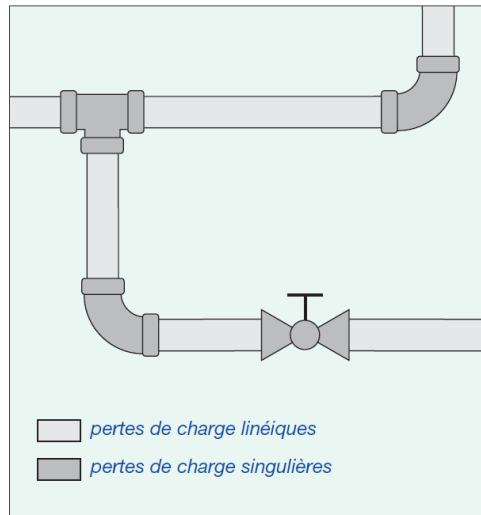


ÉCOULEMENT DANS LES CONDUITES

PERTES DE CHARGE

I. Généralités

- Les pertes de charge sont des chutes de pression dues à la résistance que rencontrent les fluides en écoulement : les actions de cisaillement occasionnent en effet des pertes énergétiques.
- Les pertes de charge peuvent être :
 - Linéiques ou régulières** : elles correspondent alors à l'écoulement le long des conduites.
 - Singulières** : elles se manifestent sur les pièces spéciales qui modifient la direction ou la section de passage du fluide (raccord, T, vannes, soupapes, etc.).



- Il est fondamental de savoir les calculer :
 - Pour dimensionner les conduites d'écoulement.
 - Pour calculer les caractéristiques des pompes et ventilateurs qui provoquent et/ou maintiennent l'écoulement des fluides.

II. Pertes de charge régulières ou linéiques

A. De quoi dépendent-elles ?

- Du type d'écoulement, donc du **nombre de Reynolds** : en deçà de $Re = 2000$ le régime est laminaire, au-delà le régime est turbulent.
- De la **rugosité** interne de la conduite :

La **rugosité absolue** représente l'épaisseur moyenne des aspérités de surface du matériau composant la conduite. On la note ε , et on l'exprime le plus souvent en millimètres.



Pour une conduite d'un diamètre D donné, on appelle **rugosité relative** le rapport ε/D .

B. Coefficient de friction

Pour rendre compte de cette perte énergétique, on introduit la perte de pression correspondante :

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{1}{2} \rho V^2$$

- L est la longueur de conduite,
- D est le diamètre interne de la conduite,
- $\frac{1}{2} \rho V^2$ est l'énergie cinétique volumique du fluide
- **f est le coefficient de frottement ou coefficient de friction de la conduite**

On utilise souvent la perte de charge en équivalent de hauteur de fluide, avec $\Delta P = \rho g h$:

$$h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

C. Ecoulement laminaire

Pour un écoulement laminaire dans une conduite cylindrique horizontale, le coefficient de friction s'écrit :

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

D. Ecoulement turbulent

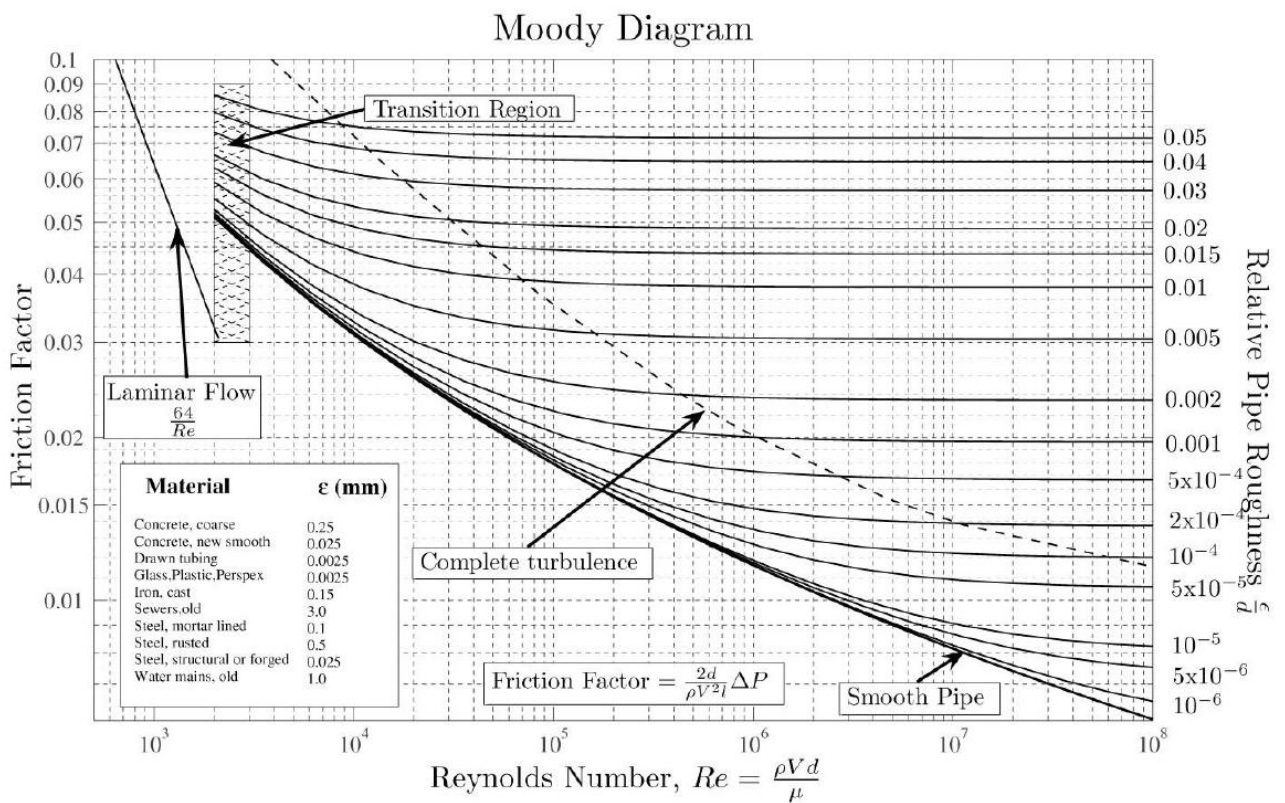
Pour un écoulement turbulent, l'équation empirique de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

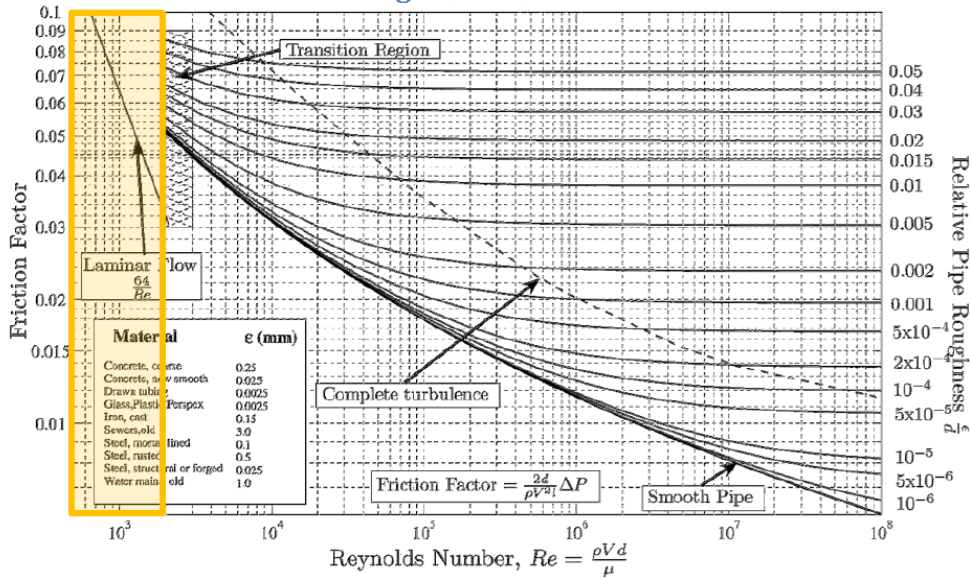
permet le calcul du coefficient f ; cette équation est une équation implicite peu facile à manipuler ; nous utiliserons plutôt le diagramme de Moody, tracé à partir de l'équation précédente.

E. Diagramme de Moody

1. Présentation du diagramme

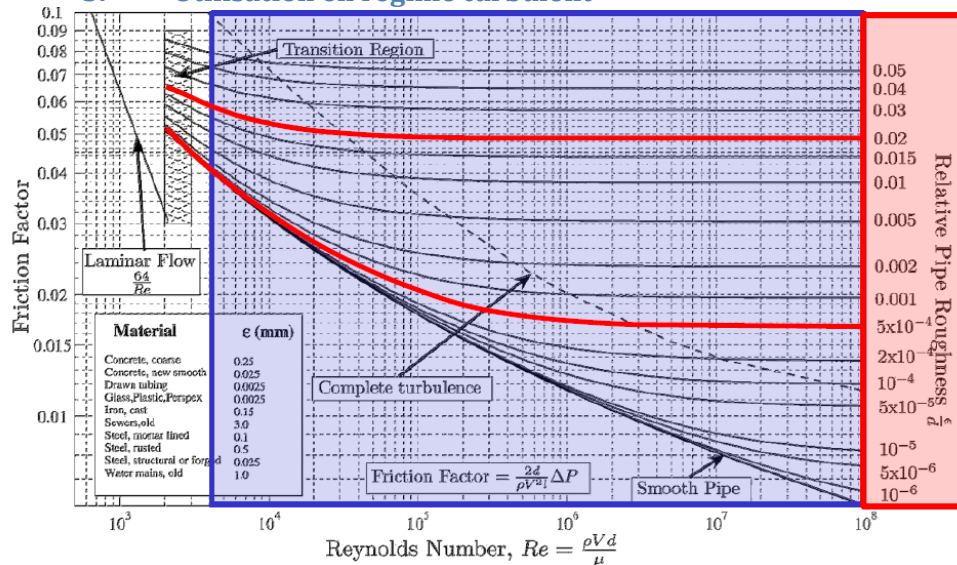


2. Utilisation en régime laminaire

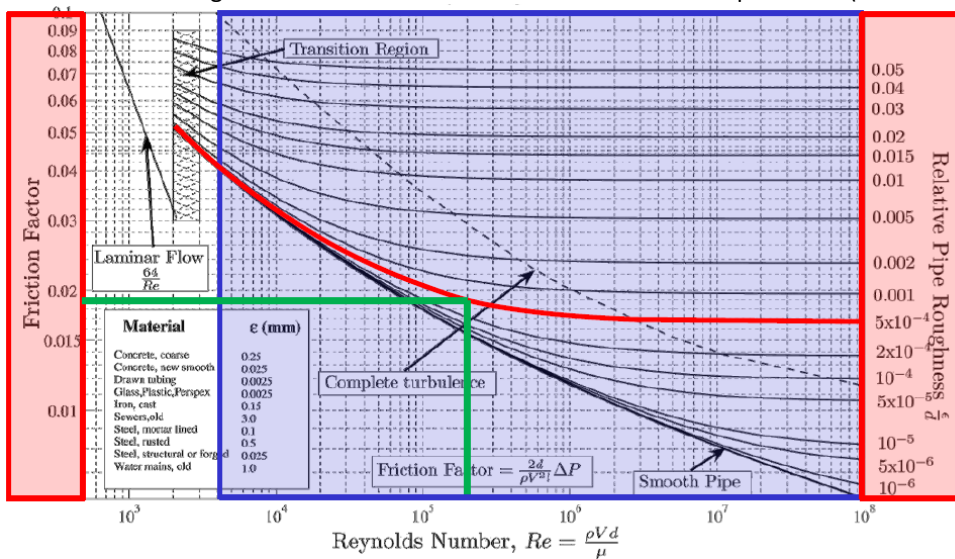


Le coefficient se lit directement à partir de la droite 64/Re

3. Utilisation en régime turbulent



On calcule la rugosité relative et on sélectionne la courbe correspondante (0.02 ou $5 \cdot 10^{-4}$ ici)



On détermine le nombre de Reynolds et on lit λ à l'intersection de la courbe et de la verticale

- On voit qu'au-delà de la courbe « Complete turbulence », le coefficient λ ne dépend plus que de la rugosité et est indépendant du nombre de Reynolds.
- La ligne « Smooth Pipe » correspond à la limite du diagramme en régime turbulent : les conduites ne sont plus rugueuses sur cette ligne.

On peut se demander quelle zone du diagramme est intéressante pour les écoulements habituels dans les conduites horizontales : Si on fixe R_e à 2000 (valeur critique laminaire – turbulent), on peut calculer les vitesses critiques v^* , au-delà desquelles le régime est turbulent :

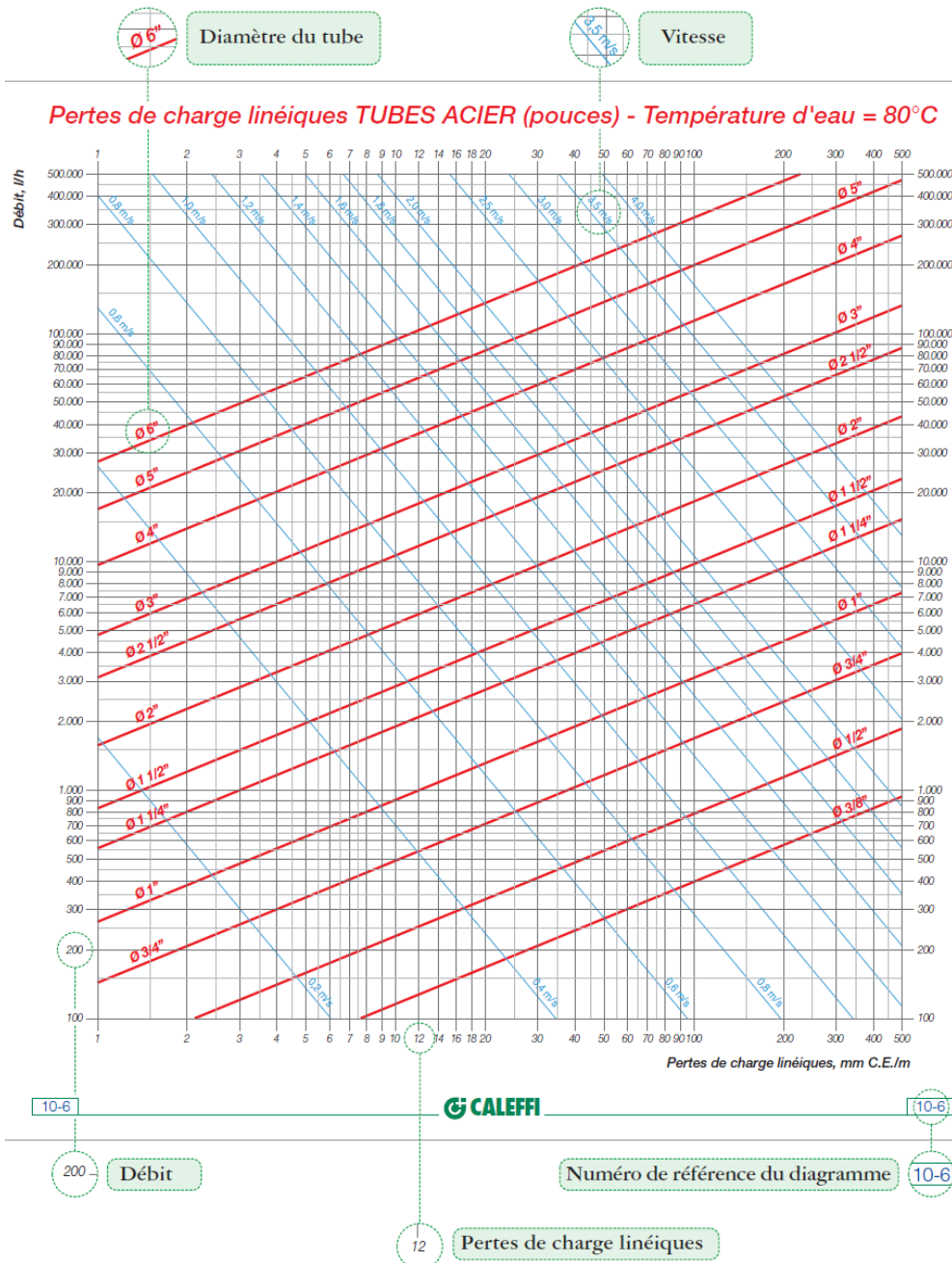
$$V > v^* = \frac{2000 \cdot \nu}{D}, \text{ où } \nu \text{ est la viscosité cinématique du fluide.}$$

vitesses critiques de l'eau [m/s]				
t	ν	1/2"	1"	2"
[°C]	[m²/s]	16,4 mm	27,4 mm	53,2 mm
10°C	$1,30 \cdot 10^{-6}$	0,16	0,09	0,05
50°C	$0,54 \cdot 10^{-6}$	0,07	0,04	0,02
80°C	$0,39 \cdot 10^{-6}$	0,05	0,03	0,01

On voit bien que les vitesses critiques sont très inférieures aux vitesses usuellement rencontrées donc les régimes seront toujours turbulents.

F. Diagrammes de pertes de charges

Les industriels et les professionnels du bâtiment utilisent des abaques :



Il existe de tels diagrammes pour tous les types de matériaux (différents PE, aciers divers, cuivre) et pour plusieurs valeurs de température ; en effet les pertes de charge sont fortement fonction de T :

Pour une vitesse de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et un diamètre de $1'' \frac{1}{2}$ la perte de charge passe de 35 mm/m à 10°C à 28 mm/m à 80°C

III. Pertes de charges singulières

Elles s'expriment par la relation : $\Delta P = \xi \frac{1}{2} \rho V^2$ ou $h = \xi \frac{1}{2g} V^2$.

ξ est un coefficient dépendant de la forme de la singularité ; là aussi les valeurs sont tabulées :

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° <i>r/d = 1,5</i>		2,0	1,5	1,0	0,8
Coude normal à 90° <i>r/d = 2,5</i>		1,5	1,0	0,5	0,4
Coude large à 90° <i>r/d > 3,5</i>		1,0	0,5	0,3	0,3
Coude serré en U <i>r/d = 1,5</i>		2,5	2,0	1,5	1,0
Coude normal en U <i>r/d = 2,5</i>		2,0	1,5	0,8	0,5
Coude large en U <i>r/d > 3,5</i>		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			
Jonction simple avec angle incliné (45° - 60°)		0,5			
Dérivation avec amorce		2,0			
Jonction avec amorce		2,0			

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				
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	
Vanne trois voies		10,0		8,0	
Passage à travers un radiateur		3,0			
Passage à travers une chaudière au sol		3,0			