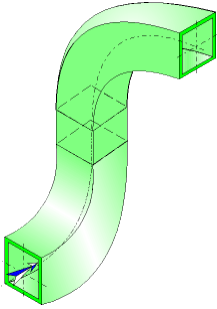




---

**Coudes en S**  
**(avec écoulement dans deux plans perpendiculaires)**  
**Section rectangulaire**  
**(MILLER)**



**Description du modèle :**

Ce modèle de composant calcule la perte de charge (chute de pression) de deux coudes en S (avec écoulement dans deux plans perpendiculaires) dont la section transversale est rectangulaire et constante. En outre, l'écoulement est supposé entièrement développé et stabilisé en amont du premier coude.

Une option permet de prendre en compte l'effet de la longueur droite en sortie du second coude.

**Formulation du modèle :**

---

Diamètre hydraulique (m) :

$$D = \frac{2 \cdot b \cdot W}{b + W} \quad ([1] \text{ équation 9.5})$$

---

Section transversale de passage (m<sup>2</sup>) :

$$A = b \cdot W$$

---

Vitesse moyenne d'écoulement (m/s) :

$$U = \frac{Q}{A}$$

---

Longueur totale développée (m) :

$$L = 2 \cdot \left( 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\theta_b}{360} \right) + L_s$$

---

Débit massique (kg/s) :

$$G = Q \cdot \rho$$

Volume de fluide (m<sup>3</sup>) :

$$V = A \cdot L$$

Masse de fluide (kg) :

$$M = V \cdot \rho$$

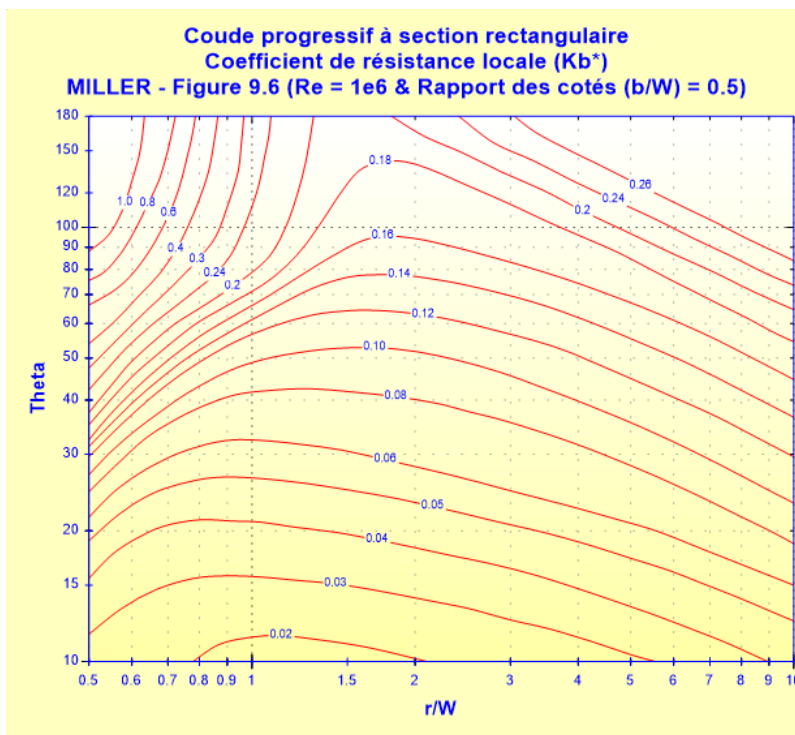
Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad ([1] \text{ équation 9.6})$$

Coefficient de résistance de base :

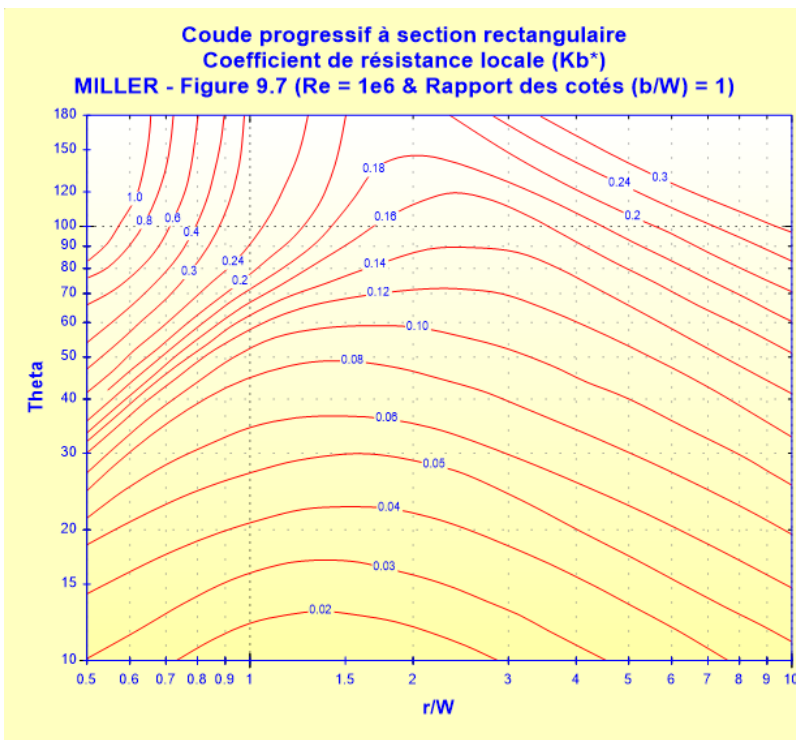
$$K_b^* = f\left(\frac{r}{W}, \theta_b\right) \quad ([1] \text{ figures 9.6 - 9.7 - 9.8})$$

■ Rapport de cotés b/W = 0.5



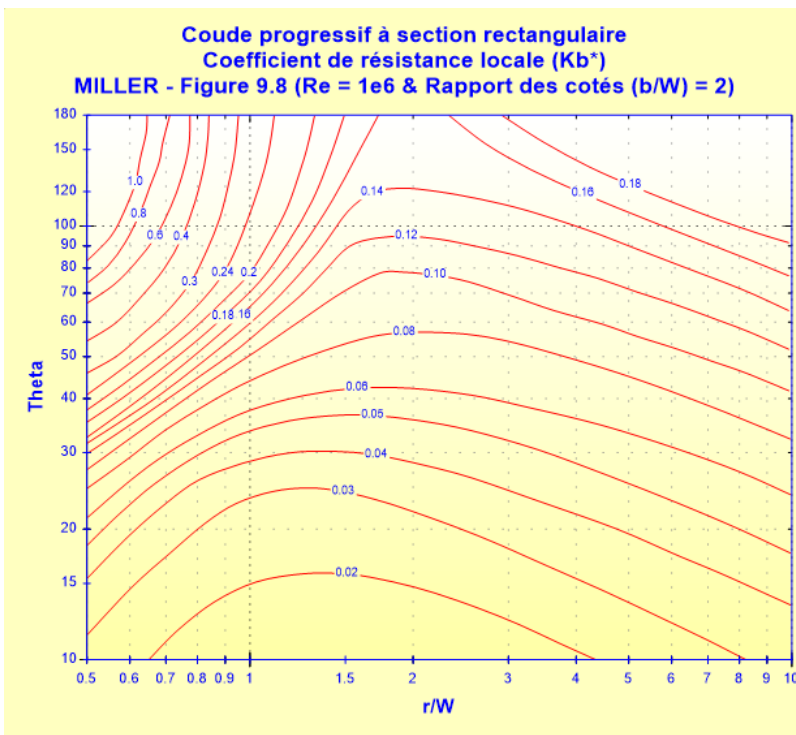
([1] figure 9.6)

■ Rapport de cotés b/W = 1



([1] figure 9.7)

■ Rapport de cotés  $b/W = 2$

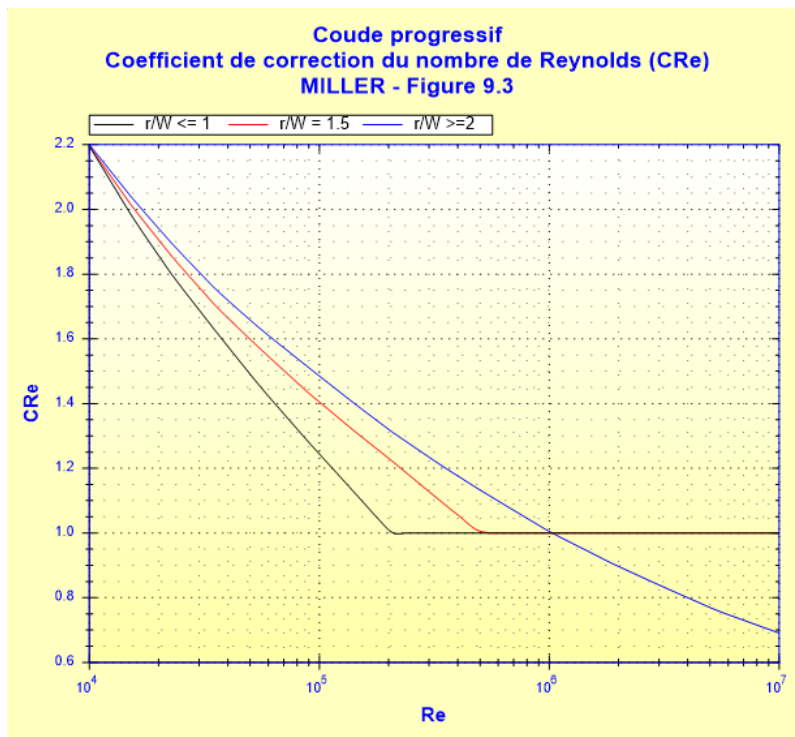


([1] figure 9.8)

Pour des rapports de cotés ' $b/W$ ' compris entre 0,5 et 2, le coefficient  $K_b^*$  est obtenu par interpolation curviligne entre les valeurs de  $K_b^*$  calculées pour des rapports de cotés de 0,5, 1, 2.

Coefficient de correction du nombre de Reynolds :

$$C_{Re} = f\left(Re, \frac{r}{W}\right) \quad ([1] \text{ figure 9.3})$$



■  $r/W \geq 1$

$$C_{Re} = f\left(Re, \frac{r}{D}\right) \quad ([1] \text{ figure 9.3})$$

■  $r/W < 1$

- $r/W > 0.7$  ou  $K_b^* < 0.4$

$$C_{Re} = f\left(Re, \frac{r}{D}\right) \quad ([1] \text{ figure 9.3 avec } r/W=1)$$

- sinon ( $r/W \leq 0.7$  et  $K_b^* \geq 0.4$ )

$$C_{Re} = \frac{K_b^*}{K_b^* - 0.2C'_{Re} + 0.2} \quad ([1] \text{ équation 9.2})$$

avec :

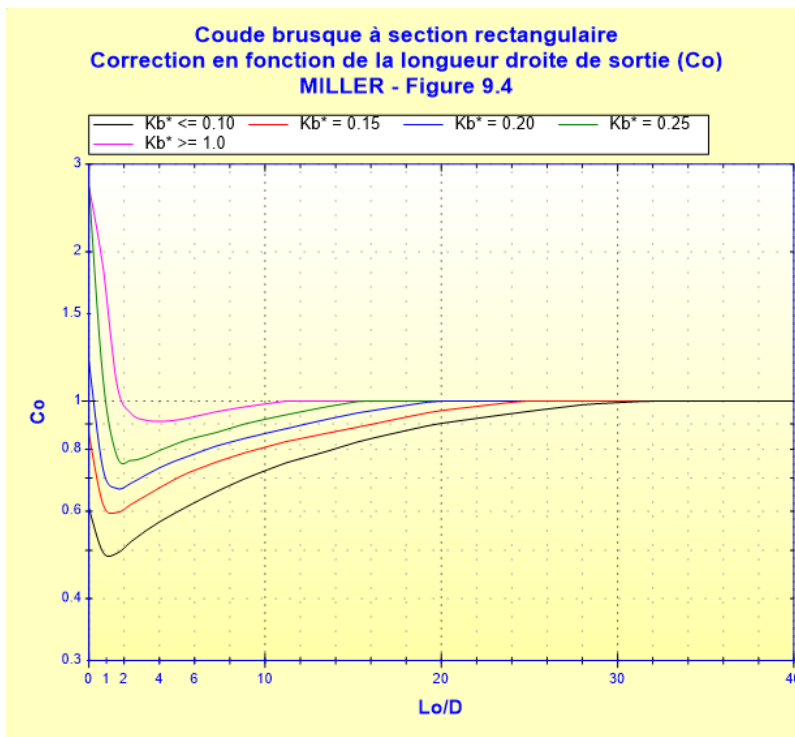
$$C'_{Re} = f\left(Re, \frac{r}{D}\right) \quad ([1] \text{ figure 9.3 avec } r/W=1)$$

Coefficient de correction de longueur droite de tuyauterie en sortie du coude (optionnel) :

■ Coefficient de correction pour section circulaire

- $\theta_b < 100^\circ$

$$C_o = f\left(\frac{L_o}{D}, K_b^*\right) \quad ([1] \text{ figure 9.4})$$



- $\theta_b \geq 100^\circ$

$$\boxed{C_o = 1} \quad (\text{effet négligeable})$$

■ Coefficient de correction pour section rectangulaire

- $b/W < 0,7$  et  $Lo/D > 1$

$$\boxed{C_{or} = 1 - \frac{1 - C_o}{2}}$$

- $b/W > 1$  et  $Lo/D < 1$

- ◆  $1,5 < r/W < 3$

$$\boxed{C_{or} = 2}$$

- ◆  $r/W \leq 1,5$  or  $r/W \geq 3$

$$\boxed{C_{or} = C_o}$$

- sinon

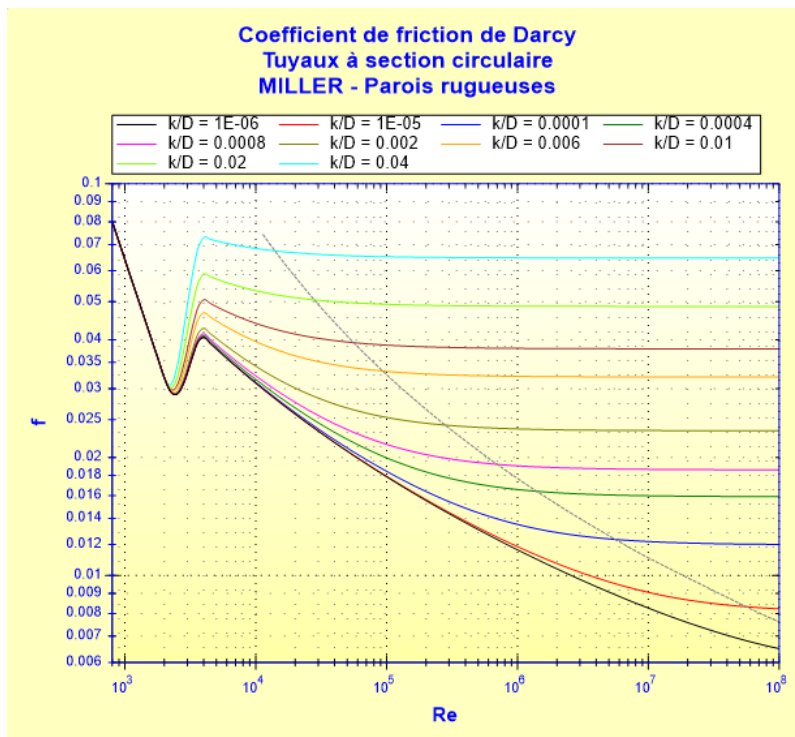
$$\boxed{C_{or} = C_o}$$

Si cette option n'est pas activée, les coefficients  $C_o$  et  $C_{or}$  sont égaux à l'unité.

Coefficient de friction de Darcy :

$$\boxed{f = f\left(\text{Re}, \frac{k}{D}\right)}$$

Voir [Tuyau rectiligne - Section rectangulaire et parois rugueuses \(MILLER\)](#)



Coefficient de correction de la rugosité :

$$C_f = \frac{f_{rough}}{f_{smooth}} \quad ([1] \text{ équation 9.3})$$

avec :

$f_{rough}$  : coefficient de friction de Darcy pour tuyau rugueux à  $Re$

$f_{smooth}$  : coefficient de friction de Darcy pour tuyau lisse ( $k = 0$ ) à  $Re$

Pour  $Re > 10^6$ ,  $C_f$  est calculé avec l'équation (9.3) pour  $Re = 10^6$

Coefficient de résistance corrigé pour le premier coude :

$$K_{b1} = K_b^* \cdot C_{Re} \cdot C_f \quad ([1] \text{ équation 9.4})$$

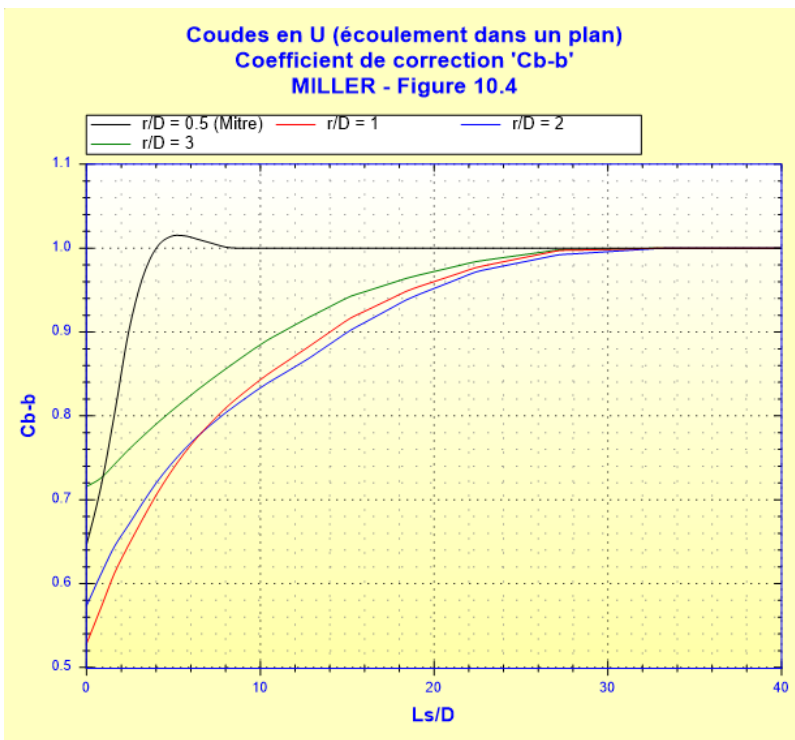
Coefficient de résistance corrigé pour le second coude :

$$K_{b2} = K_b^* \cdot C_{Re} \cdot C_f \cdot C_o \quad ([1] \text{ équation 9.4})$$

Coefficient de correction de l'interaction :

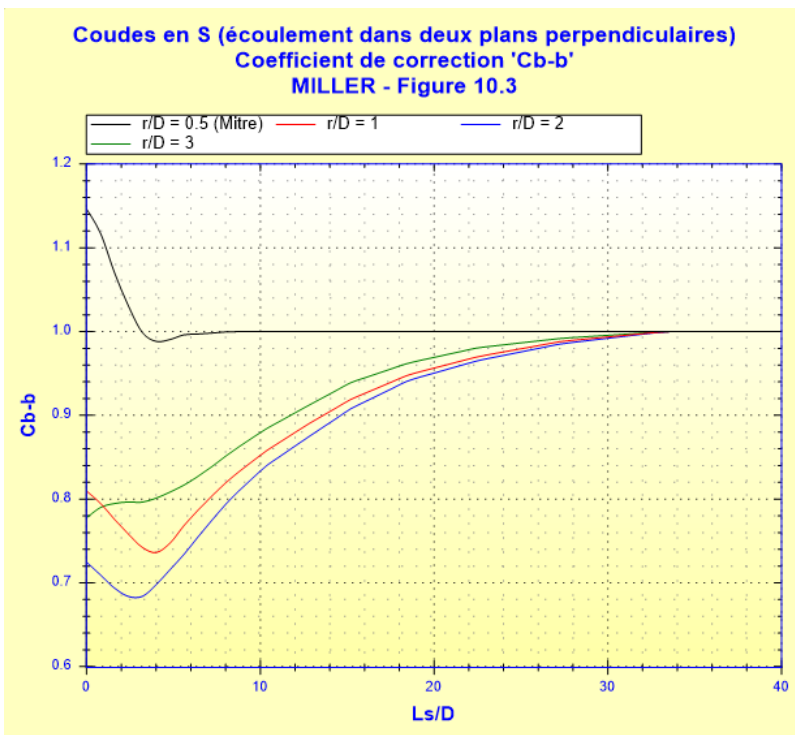
$$C_{b-c} = f\left(\frac{L_s}{D}, \frac{r}{D}\right)$$

■ Rapport de cotés  $b/W < 0.7$



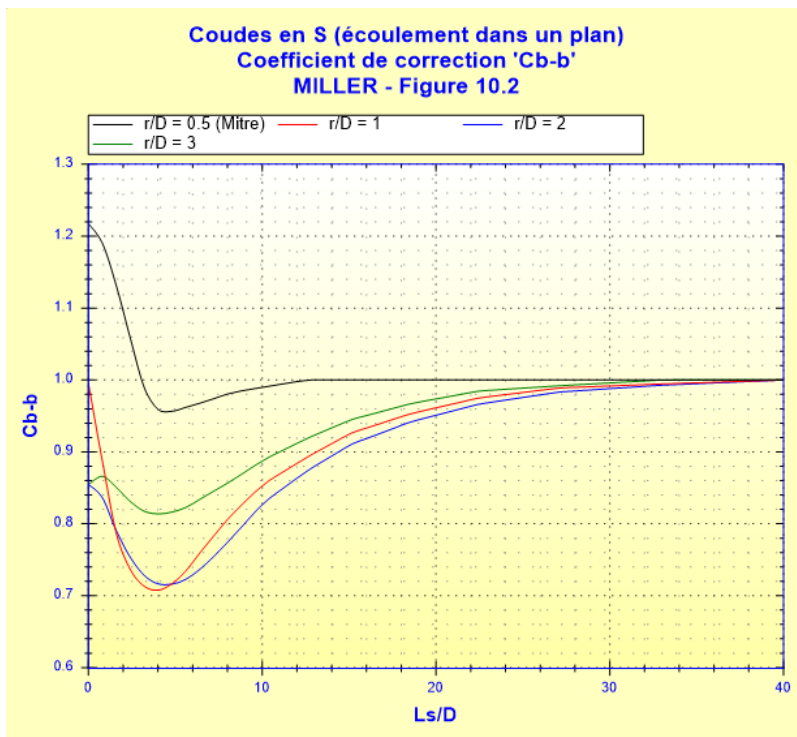
([1] figure 10.4)

■ Rapport de cotés  $0.7 \leq b/W \leq 1.5$



([1] figure 10.3)

■ Rapport de cotés  $b/W > 1.5$



([1] figure 10.2)

Coefficient de perte de pression des deux coudes :

- Rapport de cotés  $b/W < 0.7$

$$K_{b-b} = (K_{b1} + K_{b2}) \cdot \left[ 1 - \frac{1 - C_{b-b}}{2} \right]$$

([1] équation 10.1 avec coefficient de correction S

10.4)

- Rapport de cotés  $b/W \geq 0.7$

$$K_{b-b} = (K_{b1} + K_{b2}) \cdot C_{b-b}$$

([1] équation 10.1)

Coefficient de perte par friction de la longueur droite entre coudes :

$$K_f = f_{rough} \cdot \frac{L_s}{D}$$

([1] équation 8.3)

Coefficient de perte de pression totale (basé sur la vitesse moyenne dans le coude) :

$$K = K_{b-b} + K_f$$

Perte de pression totale (Pa) :

$$\Delta P = K \cdot \frac{\rho \cdot U^2}{2}$$

([1] équation 8.1b)

Perte de charge totale de fluide (m) :

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

([1] équation 8.1a)

Perte de puissance hydraulique (W) :



$$Wh = \Delta P \cdot Q$$

Longueur droite de perte de pression équivalente (m) :

$$L_{eq} = K_{b-b} \cdot \frac{D}{f_{rough}}$$

**Symboles, définitions, unités SI :**

W	Hauteur de la section rectangulaire (m)
b	Largeur de la section rectangulaire (m)
D	Diamètre hydraulique du coude (m)
A	Section transversale de passage (m <sup>2</sup> )
Q	Débit volumique (m <sup>3</sup> /s)
G	Débit massique (kg/s)
U	Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)
L <sub>s</sub>	Longueur droite entre les deux coudes (m)
L	Longueur totale développée (m)
r	Rayon de courbure (m)
θ <sub>b</sub>	Angle de courbure de chaque coude (°)
V	Volume de fluide (m <sup>3</sup> )
M	Masse de fluide (kg)
Re	Nombre de Reynolds ( )
K <sub>b</sub> <sup>*</sup>	Coefficients de résistance de base ( )
C <sub>Re</sub>	Coefficient de correction du nombre de Reynolds ( )
C <sub>o</sub>	Coefficient de correction de longueur droite de tuyauterie en sortie du coude pour section circulaire ( )
C <sub>or</sub>	Coefficient de correction de longueur droite de tuyauterie en sortie du coude pour section rectangulaire ( )
L <sub>o</sub>	Longueur droite en sortie du coude (m)
f	Coefficient de friction de Darcy ( )
k	Rugosité absolue des parois (m)
C <sub>f</sub>	Coefficient de correction de rugosité ( )
K <sub>b1</sub>	Coefficient de résistance corrigé du premier coude ( )
K <sub>b2</sub>	Coefficient de résistance corrigé du second coude ( )
C <sub>b-b</sub>	Coefficient de correction de l'interaction ( )
K <sub>b-b</sub>	Coefficient de perte de pression des deux coudes ( )
K <sub>f</sub>	Coefficient de perte par friction de la longueur droite entre coudes ( )
K	Coefficient de perte de pression totale (basé sur la vitesse moyenne dans le coude) ( )
ΔP	Perte de pression totale (Pa)
ΔH	Perte de charge totale de fluide (m)
Wh	Perte de puissance hydraulique (W)
L <sub>eq</sub>	Longueur droite de perte de pression équivalente (m)
ρ	Masse volumique du fluide (kg/m <sup>3</sup> )
ν	Viscosité cinématique du fluide (m <sup>2</sup> /s)
g	Accélération de la pesanteur (m/s <sup>2</sup> )

---

**Domaine de validité :**

- régime d'écoulement turbulent ( $Re \geq 10^4$ )
- écoulement stabilisé en amont du coude
- rapport rayon de courbure / diamètre hydraulique ' $r/D$ ' : supérieur ou égal à 0,5 et inférieur ou égal à 10  
pour les rapports ' $r/D$ ' supérieurs à 3, le coefficient de perte de pression ' $K$ ' est estimé en prenant en compte le coefficient de correction de l'interaction ' $C_{b-b}$ ' correspondant à un rapport ' $r/D$ ' de valeur 3.
- angle de courbure : compris entre  $10^\circ$  et  $180^\circ$   
le coefficient de correction de l'interaction ' $C_{b-b}$ ' est applicable pour les angles ' $\theta_b$ ' compris entre  $70^\circ$  et  $90^\circ$ .  
pour les angles ' $\theta_b$ ' inférieurs à  $70^\circ$  ou supérieurs à  $90^\circ$ , le coefficient de perte de pression ' $K$ ' est estimé en prenant en compte le coefficient de correction de l'interaction ' $C_{b-b}$ ' applicable aux angles ' $\theta_b$ ' compris entre  $70^\circ$  et  $90^\circ$
- rayon de courbure relatif ' $r/W$ ' : compris entre 0.5 et 10
- rapports de cotés ' $b/W$ ' : compris entre 0.5 et 2  
nota : pour des rapports de cotés ' $b/W$ ' inférieurs à 0.5, les coefficients de résistance  $K_b^*$  sont obtenus par extrapolation linéaire à partir des valeurs de  $K_b^*$  calculées pour des rapports de cotés de 0,5 et 1.  
pour des rapports de cotés ' $b/W$ ' supérieurs à 2, les coefficients de résistance  $K_b^*$  sont obtenus par extrapolation linéaire à partir des valeurs de  $K_b^*$  calculées pour des rapports de cotés de 1 et 2.

---

**Exemple d'application :**

HydrauCalc 2023a - [Coudes en S à section rectangulaire (écoulement dans deux plans perpendiculaire) - MILLER (2ème Ed.)]

Fichier Edition Préférences Méthode de calcul Base de données Outils Aide

**Caractéristiques du fluide**

Fluide : Eau douce à 1 atm [HC]  
Réf. : IAPWS IF97

Température : T 20 °C  
Pression : P 1.013 bar

Masse volumique :  $\rho$  998.2061 kg/m<sup>3</sup>  
Viscosité dynamique :  $\mu$  0.00100159 N.s/m<sup>2</sup>  
Viscosité cinématique :  $\nu$  1.00340E-06 m<sup>2</sup>/s

Masse vol.  Visc. dyn.  Visc. cin.

logY

**Caractéristiques géométriques**

Aide Info

Perte de pression  
 $\Delta P$  0.001931476 bar  
 $\Delta H$  0.0197 m de fluide

Option : Correction de longueur en sortie  
 Utiliser la correction de longueur en sortie  
Longueur droite : >= 1.945852 m

**Résultats complémentaires**

Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Diamètre hydraulique	D	0.0666667	m
Section de passage	A	0.005	m <sup>2</sup>
Rayon de courbure relatif	r/W	3.5	
Rapport longueur entre coudes / diamètre hydraulique	ls/D	1.5	
Longueur droite développée à l'axe	L	0.2748893	m
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de base (Figures 9.6 9.7 9.8)	Kb*	0.127294	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de correction du nombre de Reynolds (Figure 9.3)	CRe	1.585444	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de correction de longueur en sortie (Figure 9.4)	Co	1	
Coefficient Co corrigé pour section rectangulaire	Cor	1	
Nombre de Reynolds	Re	66440.97	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de correction de l'interaction (Figure 10.2)	Cb-b	0.85319	
Coefficient de perte de pression des deux coudes	Kb-b	0.3567045	
Coefficient de perte par friction de la longueur entre coudes	Kf	0.03028508	
Coefficient perte pression (basé sur la vitesse moyenne coude)	K	0.3869896	
Perte de puissance hydraulique	Wh	0.9657381	W
Longueur droite de perte de charge équivalente	Leq	1.277823	m

## Références :

[1] Internal Flow System, Second Edition, D.S. Miller

HydrauCalc

© François Corre 2022

Edition : juin 2022