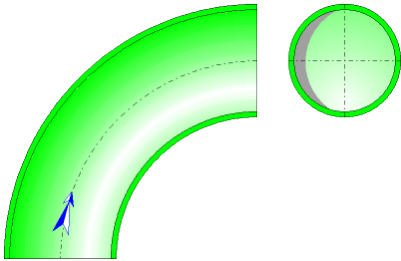




## Coude progressif Section circulaire (IDELCHIK)



### Description du modèle :

Ce modèle de composant calcule la perte de charge (chute de pression) d'un coude de courbure progressive dont la section transversale est circulaire et constante. En outre, l'écoulement est supposé entièrement développé et stabilisé à l'entrée du coude.

### Formulation du modèle :

Diamètre hydraulique (m) :

$$D_h = D_0$$

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

$$F_0 = \pi \cdot \frac{D_0^2}{4}$$

Longueur développée à l'axe (m) :

$$l = 2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot \frac{\delta}{360}$$

Vitesse moyenne d'écoulement (m/s) :

$$w_0 = \frac{Q}{F_0}$$

Débit massique (kg/h) :

$$G = Q \cdot \rho$$

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

$$V = F_0 \cdot l$$

Masse de fluide (kg) :

$$M = V \cdot \rho$$

Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{w_0 \cdot D_h}{\nu}$$

Rugosité relative :

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{D_0}$$

■ Cas d'un rayon de courbure relatif inférieur à 3 ( $R_0/D_0 < 3$ )

([1] diagramme 6.1)

Coefficient d'effet de la rugosité :

$$k_{\Delta} = f\left(\frac{R_0}{D_0}, Re, \bar{\Delta}\right)$$

([1] diagramme 6.1)

- $0.50 \leq R_0/D_0 \leq 0.55$

$\bar{\Delta}$	Re	
	$3 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^4$	$> 4 \cdot 10^4$
0	1.0	1.0
0 - 0.001	1.0	$1 + 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot \bar{\Delta}$
$> 0.001$	1.0	1.5

- $R_0/D_0 > 0.55$

$\bar{\Delta}$	Re		
	$3 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^4$	$> 4 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5$	$> 2 \cdot 10^5$
0	1.0	1.0	1.0
0 - 0.001	1.0	$\lambda_{\Delta} / \lambda_{sm}$	$1 + 10^{-3} \cdot \bar{\Delta}$
$> 0.001$	1.0	2.0	2.0

avec:

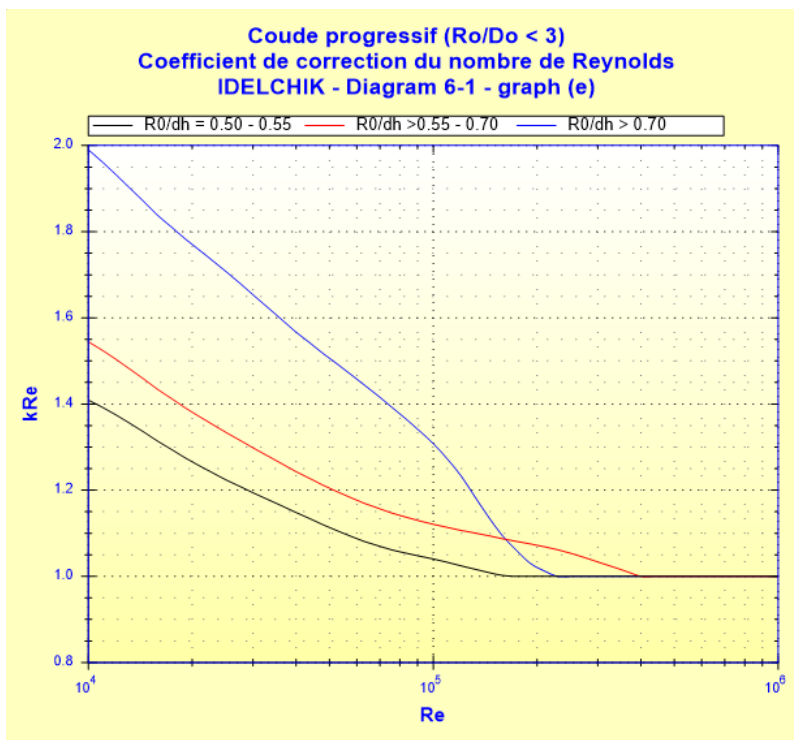
$\lambda_{sm}$  : coefficient de friction de Darcy pour tuyau hydrauliquement lisse ( $\bar{\Delta} = 0$ ) à Re

$\lambda_{\Delta}$  : coefficient de friction de Darcy pour tuyau rugueux ( $\bar{\Delta} = \Delta/D_h$ ) à Re

Coefficient d'effet du nombre de Reynolds ( $Re \geq 10^4$ ) :

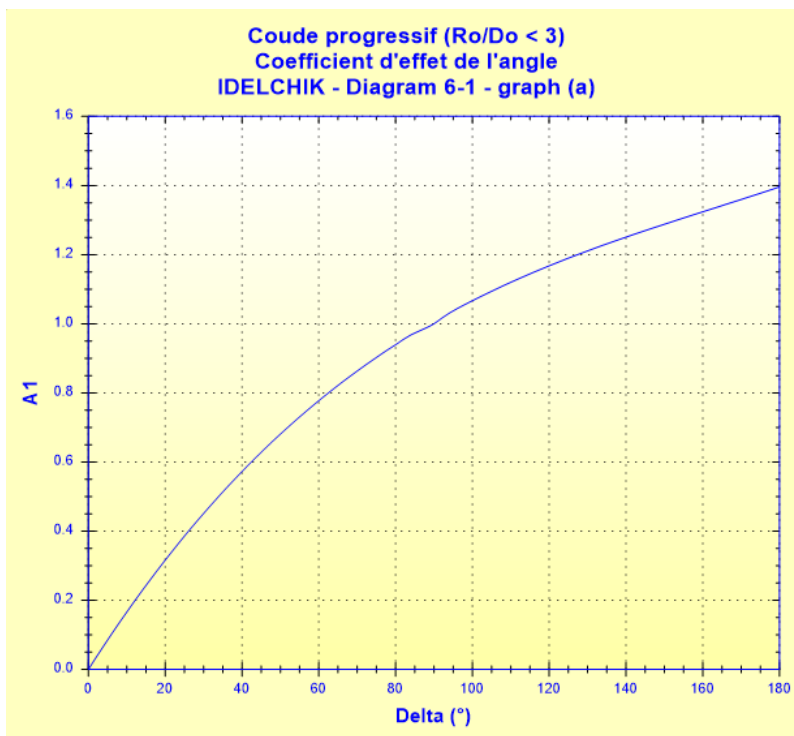
$$k_{Re} = f\left(Re, \frac{R_0}{D_h}\right)$$

([1] diagramme 6.1)



Coefficient d'effet de l'angle :

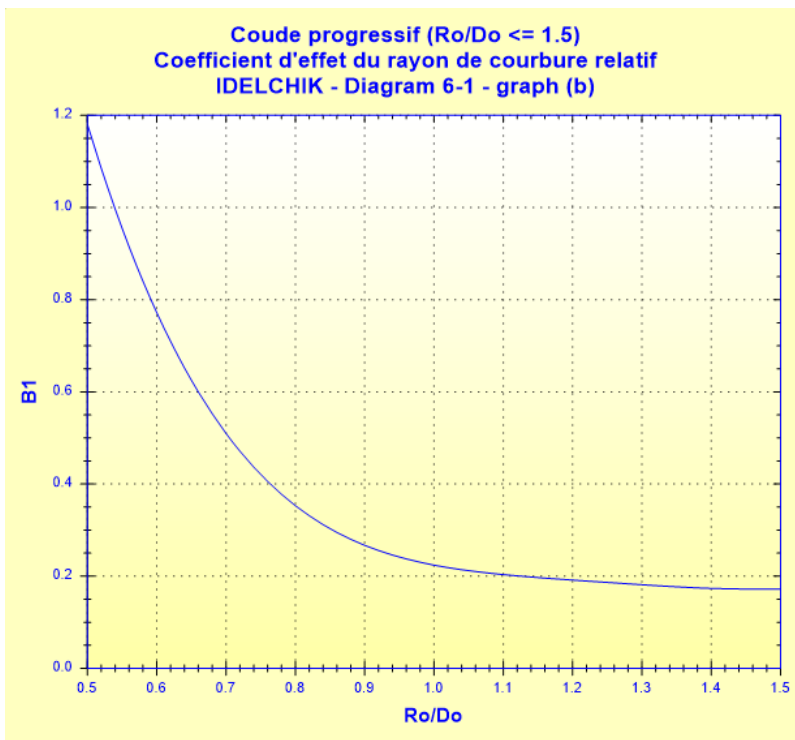
$$A1 = f(\delta) \quad ([1] \text{ diagramme 6.1})$$



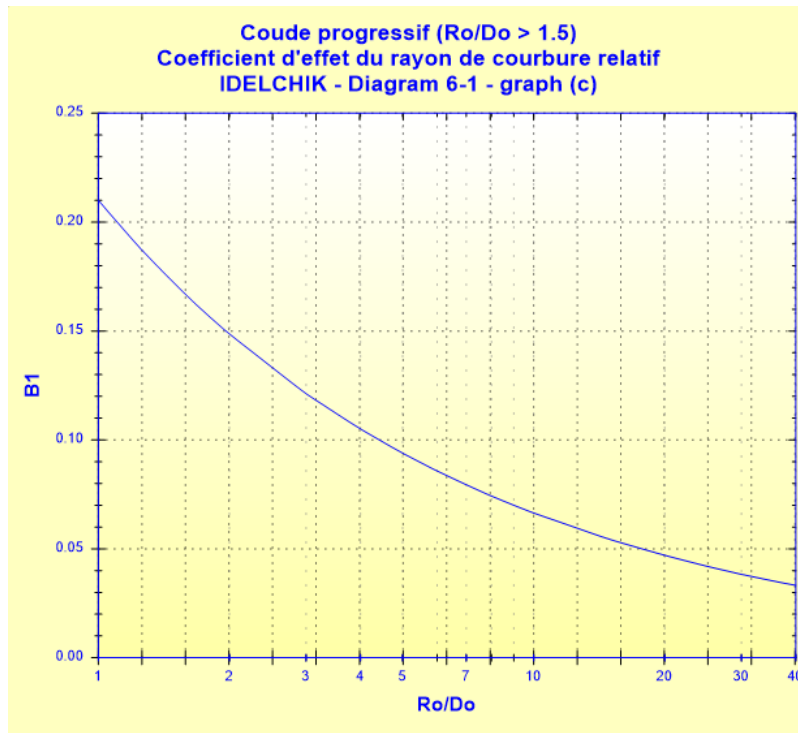
Coefficient d'effet du rayon de courbure relatif :

$$B1 = f\left(\frac{R_0}{D_h}\right) \quad ([1] \text{ diagramme 6.1})$$

- $0.5 \leq R_0/D_0 \leq 1.5$



●  $R_0/D_0 > 1.5$



Coefficient d'effet de l'allongement relatif de la section transversale :

$$\boxed{C_1 = 1} \quad ([1] \text{ diagramme 6.1})$$

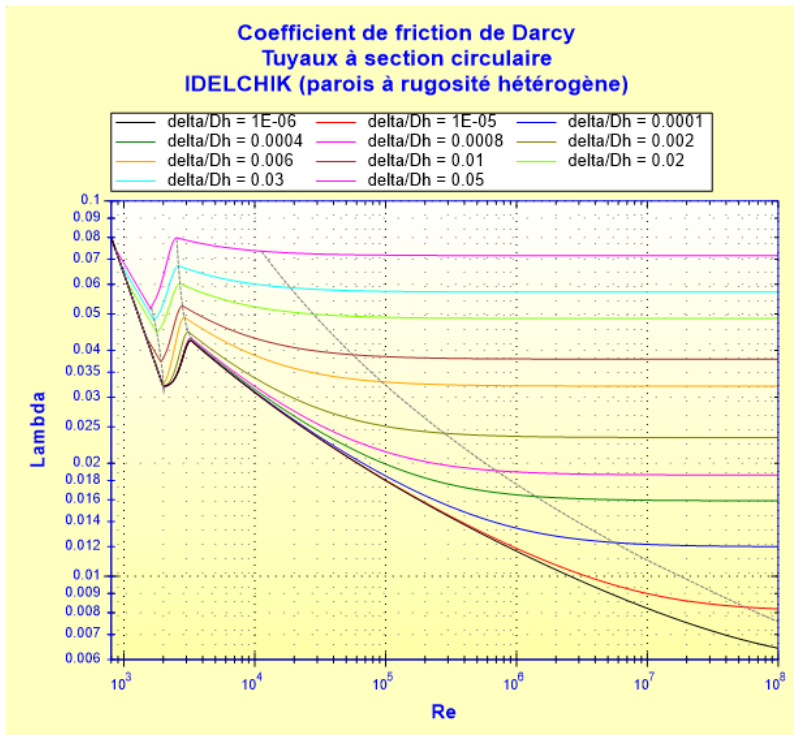
Coefficient de résistance locale :

$$\boxed{\zeta_{loc} = A_1 \cdot B_1 \cdot C_1} \quad ([1] \text{ diagramme 6.1})$$

Coefficient de friction de Darcy :

$$\boxed{\lambda = f \left( \text{Re}, \frac{\Delta}{D_h} \right)}$$

Voir [Tuyau rectiligne - Section circulaire et parois à rugosité hétérogène \(IDELCHIK\)](#)



Coefficient de perte de pression de friction :

$$\zeta_{fr} = 0.0175 \cdot \delta \cdot \lambda \cdot \frac{R_0}{D_h}$$

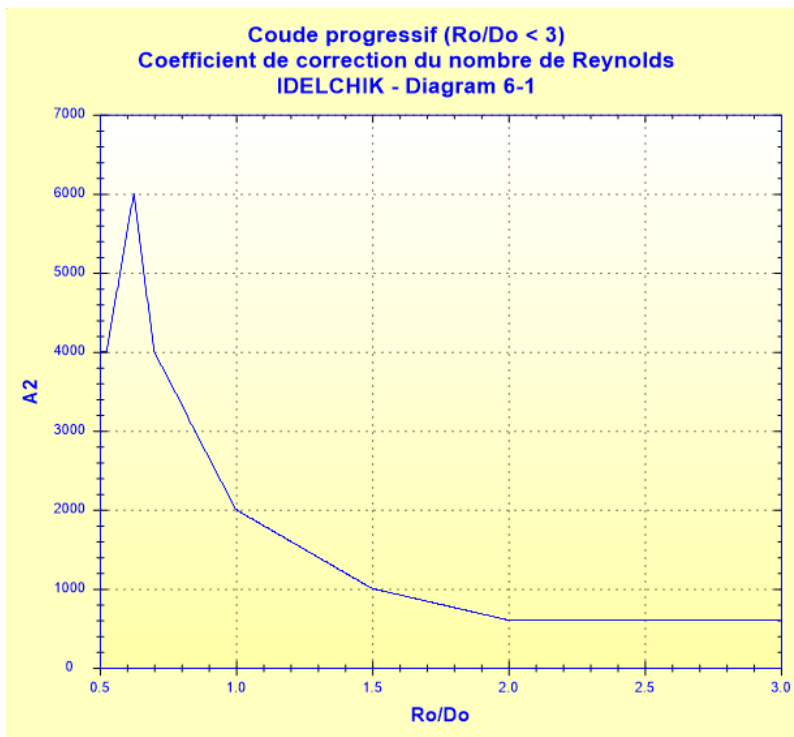
([1] diagramme 6.1)

Coefficient de correction du nombre de Reynolds dépendant du rayon de courbure relatif :

$$A2 = f\left(\frac{R_0}{D_0}\right)$$

([1] diagramme 6.1)

$R_0/D_0$	0.50 - 0.55	>0.55 - 0.70	>0.70 - 1.0	>1.0 - 2.0	>2.0
$A2 \times 10^{-3}$	4.0	6.0	4.0 - 2.0	1.0	0.6



Coefficient de perte de pression totale :

- $Re \geq 10^4$

$$\zeta = k_{\Delta} \cdot k_{Re} \cdot \zeta_{loc} + \zeta_{fr} \quad ([1] \text{ diagramme 6.1})$$

- $3 \cdot 10^3 < Re < 10^4$

$$\zeta = \frac{A2}{Re} + \zeta_{loc} + \zeta_{fr} \quad ([1] \text{ diagramme 6.1})$$

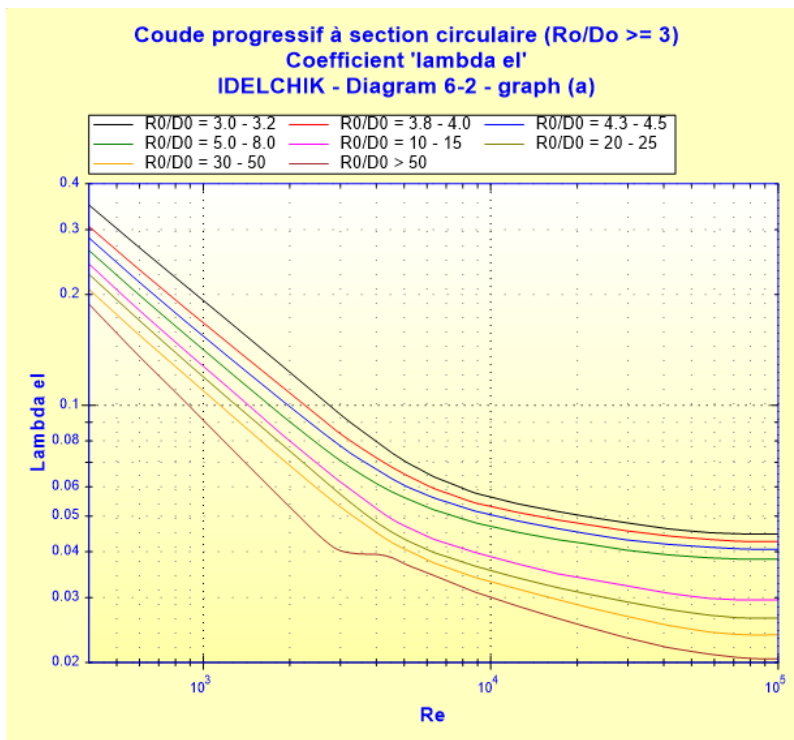
Longueur droite de perte de pression équivalente (m) :

$$L_{eq} = \zeta \cdot \frac{D_0}{\lambda}$$

- Cas d'un rayon de courbure relatif supérieur ou égal à 3 ( $R_0/D_0 \geq 3$ ) ([1] diagramme 6.2)

Coefficient de friction pour parois lisses :

$$\lambda_{el} = f\left(Re, \frac{R_0}{D_0}\right) \quad ([1] \text{ diagramme 6.2})$$



Coefficient de correction de la rugosité :

$$C_f = \frac{\lambda_r}{\lambda_s} \quad ([2] \text{ équation 9.3})$$

avec :

$\lambda_r$  : coefficient de friction de Darcy pour tuyau rugueux ( $\bar{\Delta} = \Delta/D_h$ ) à Re

$\lambda_s$  : coefficient de friction de Darcy pour tuyau hydrauliquement lisse ( $\bar{\Delta} = 0$ ) à Re

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

$$\zeta = 0.0175 \cdot \delta \cdot \lambda_{el} \cdot \frac{R_0}{D_h} \quad ([1] \text{ diagramme 6.2 \& [2] équation 9.3})$$

Longueur droite de perte de pression équivalente (m) :

$$L_{eq} = \zeta \cdot \frac{D_0}{\lambda_{el}}$$

Perte de pression totale (Pa) :

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot W_0^2}{2} \quad ([1] \text{ diagramme 6.1 - 6.2})$$

Perte de charge totale de fluide (m) :

$$\Delta H = \zeta \cdot \frac{W_0^2}{2 \cdot g}$$

Perte de puissance hydraulique (W) :

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

---

**Symboles, définitions, unités SI :**

$D_h$	Diamètre hydraulique du coude (m)
$D_0$	Diamètre intérieur du coude (m)
$F_0$	Section transversale de passage ( $m^2$ )
$l$	Longueur développée (m)
$R_0$	Rayon de courbure (m)
$\delta$	Angle de courbure ( $^\circ$ )
$Q$	Débit volumique ( $m^3/s$ )
$w_0$	Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)
$G$	Débit massique (kg/s)
$V$	Volume de fluide ( $m^3$ )
$M$	Masse de fluide (kg)
$Re$	Nombre de Reynolds ( )
$\Delta$	Rugosité absolue des parois intérieures du coude (m)
$\bar{\Delta}$	Rugosité relative des parois intérieures du coude ( )
$k_\Delta$	Coefficient qui caractérise l'effet de la rugosité
$k_{Re}$	Coefficient qui caractérise l'effet du nombre de Reynolds ( )
$A_1$	Coefficient qui caractérise l'effet de l'angle
$B_1$	Coefficient qui caractérise l'effet du rayon de courbure relative
$C_1$	Coefficient qui caractérise l'effet de l'allongement relatif de la section transversale
$\zeta_{loc}$	Coefficient de résistance locale ( )
$\lambda$	Coefficient de friction de Darcy ( )
$\zeta_{fr}$	Coefficient de perte de pression de friction ( )
$\zeta$	Coefficient de perte de pression totale (basé sur la vitesse moyenne dans le coude) ( )
$L_{eq}$	Longueur droite de perte de pression équivalente (m)
$\lambda_{el}$	Coefficient de friction
$C_f$	Coefficient de correction de rugosité ( )
$\Delta P$	Perte de pression totale (Pa)
$\Delta H$	Perte de charge totale de fluide (m)
$W_h$	Perte de puissance hydraulique (W)
$\rho$	Masse volumique du fluide ( $kg/m^3$ )
$\nu$	Viscosité cinématique du fluide ( $m^2/s$ )
$g$	Accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ )

---

**Domaine de validité :**

- écoulement stabilisé en amont du coude
- longueur droite en amont du coude :  $\geq 10 D_0$
- angle de courbure : 0 à  $180^\circ$
- cas d'un rayon de courbure relatif inférieur à 3 ( $R_0/D_0 < 3$ )
  - régime d'écoulement :  $Re \geq 3 \cdot 10^3$



■ cas d'un rayon de courbure relatif supérieur ou égal à 3 ( $R_0/D_0 \geq 3$ )

- régime d'écoulement :  $400 \leq Re \leq 10^5$

pour des nombres de Reynolds 'Re' inférieurs à 400 ou supérieurs à  $10^5$ , le coefficient ' $\lambda_{el}$ ' est extrapolé linéairement.

### Exemple d'application :

The screenshot shows the HydraulCalc 2018b interface. On the left, the 'Caractéristiques du fluide' (Fluid Characteristics) panel is set for 'Eau douce à 1 atm [HC]' with a temperature of 20 °C and a pressure of 1.013 bar. A graph shows the density of water as a function of temperature. The 'Caractéristiques géométriques' (Geometric Characteristics) panel shows a 90-degree elbow with an outer diameter  $D_0 = 0.0703$  m, a relative radius of curvature  $R_0/D_0 = 0.175$ , and a relative roughness  $\Delta = 1.0E-05$ . The flow rate is  $G = 4.9910$  kg/s and  $Q = 0.005$  m³/s, with a mean velocity  $w_0 = 1.288$  m/s (turbulent). The pressure loss is  $\Delta P = 0.002119318$  bar, equivalent to a head loss  $\Delta H = 0.0216$  m of fluid. The 'Résultats complémentaires' (Complementary Results) table is shown below.

Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Diamètre hydraulique	$D_h$	0.0703	m
Section de passage	$F_0$	0.003881508	m²
Rayon de courbure relatif	$R_0/D_0$	2.489331	
Longueur droite développée à l'axe	$l$	0.2748893	m
Volume intérieur du coude	$V$	0.001066985	m³
Volume intérieur du coude	$M$	1.065071	kg
Rugosité relative	$\Delta$	0.0001422475	
Nombre de Reynolds	$Re$	90251	
Coefficient de résistance locale	$\zeta_{loc}$	0.1337544	
Coefficient de correction de la rugosité (Diagram 6-1)	$K_\lambda$	1.010951	
Coefficient de correction du nombre de Reynolds (Diagram 6-1)	$K_{Re}$	1.340831	
Coefficient de friction de Darcy	$\lambda$	0.01907611	
Coefficient de résistance de friction	$\zeta_f$	0.07459201	
Coefficient perte pression (basé sur la vitesse moyenne coude)	$\zeta$	0.2558981	
Perte de puissance hydraulique	$W_h$	1.059659	W
Longueur droite de perte de charge équivalente	$Leq$	0.9430454	m

### Références :

- [1] Handbook of Hydraulic Resistance, 3rd Edition, I.E. Idelchik
- [2] Internal Flow System, Second Edition, D.S. Miller