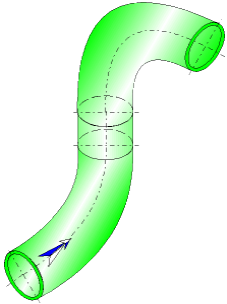




---

**Coudes en S**  
**(avec écoulement dans deux plans perpendiculaires)**  
**Section circulaire**  
**(IDELCHIK)**



**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 circulaire et constante. En outre, l'écoulement est supposé entièrement développé et stabilisé en amont du premier 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 totale développée à l'axe (m) :

$$l = 2 \cdot \left( 2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot \frac{\delta}{360} \right) + l_{el}$$

---

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 :

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

■ Cas d'un coude unique d'un rayon de courbure relatif inférieur à 3 ( $R_0/D_0 < 3$ ) ([1] diagramme 6-1)

Coefficient d'effet de la rugosité :

$$k_{\Delta} = f\left(\frac{R_0}{D_0}, Re, \bar{\Delta}\right) \quad ([1] \text{ diagramme 6-1})$$

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

$\bar{\Delta}$	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:

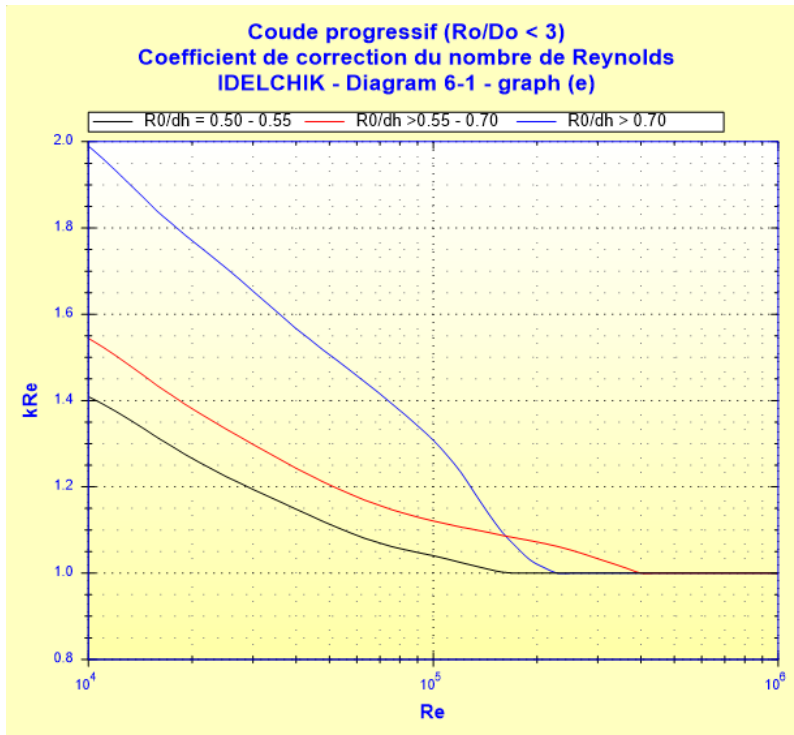
$\lambda_{sm}$  : coefficient de friction de Darcy pour tuyau hydrauliquement lisse ( $\bar{\Delta} = 0$ ) à Re

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

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

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

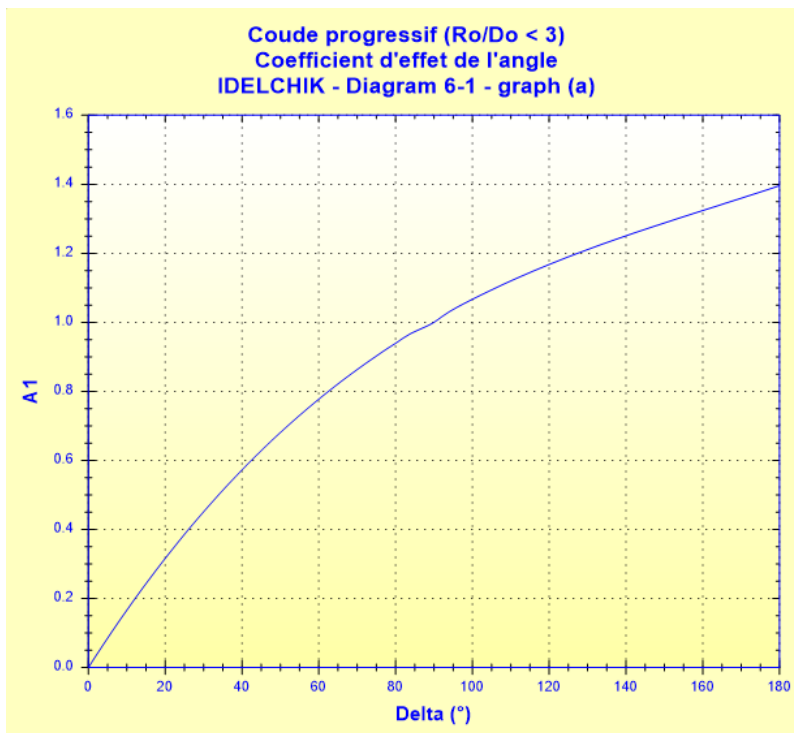
([1] diagramme 6-1)



Coefficient d'effet de l'angle :

$$A1 = f(\delta)$$

([1] diagramme 6-1)

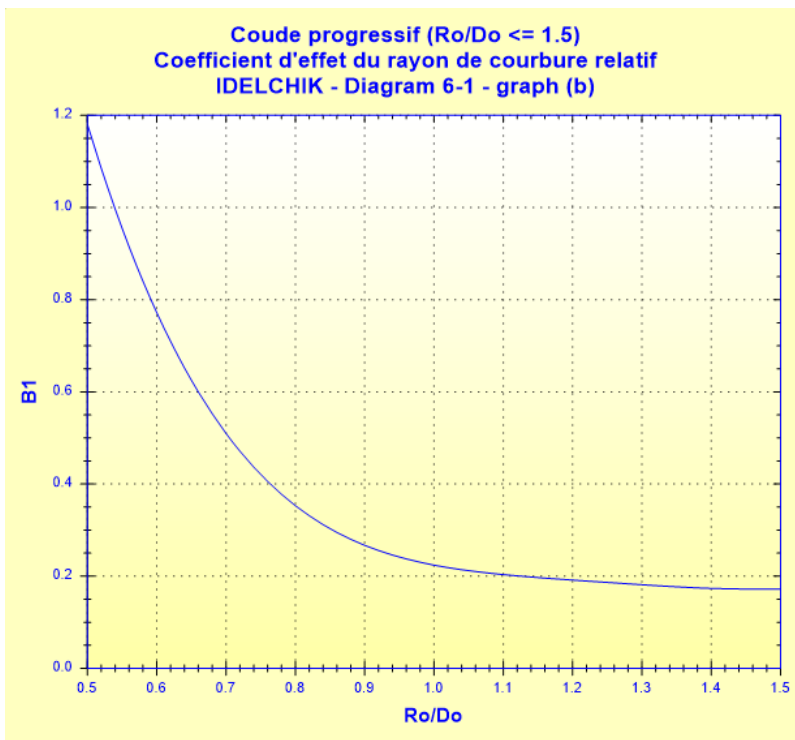


Coefficient d'effet du rayon de courbure relatif :

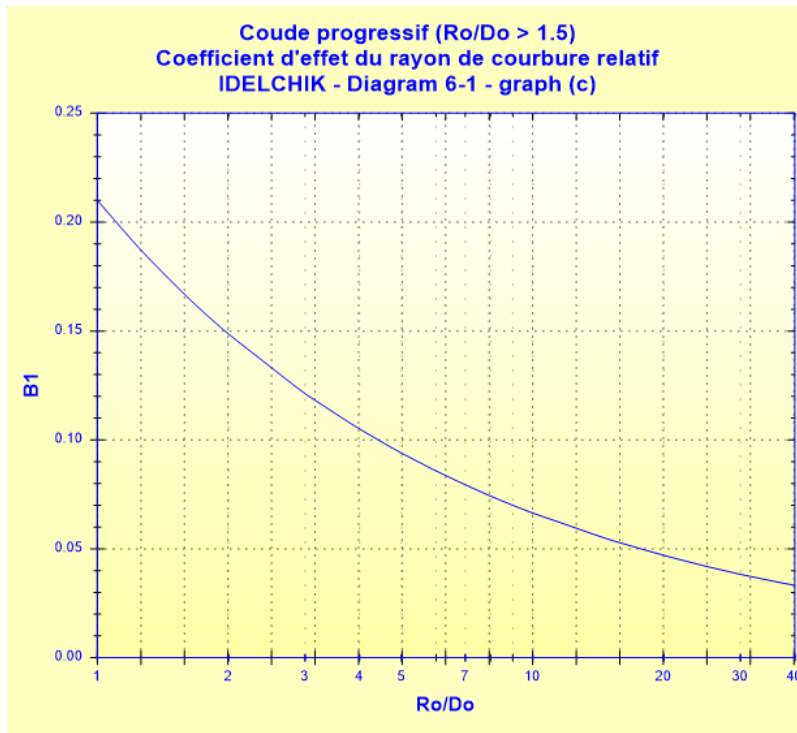
$$B1 = f\left(\frac{R_0}{D_h}\right)$$

([1] 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 :

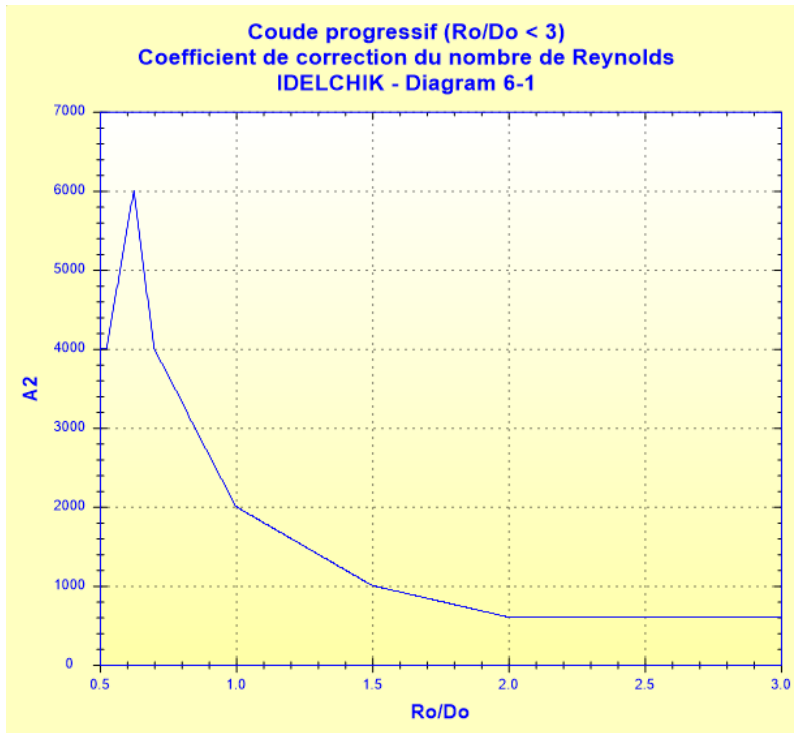
$$\boxed{C_1 = 1} \quad ([1] \text{ diagramme 6-1})$$

---

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

$$\boxed{A_2 = f\left(\frac{R_0}{D_0}\right)} \quad ([1] \text{ diagramme 6-1})$$

$R_0/D_0$	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 (sans friction) :

- $Re \geq 10^4$

$$\zeta'_{loc} = k_{\Delta} \cdot k_{Re} \cdot A1 \cdot B1 \cdot C1 \quad ([1] \text{ diagramme 6-1})$$

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

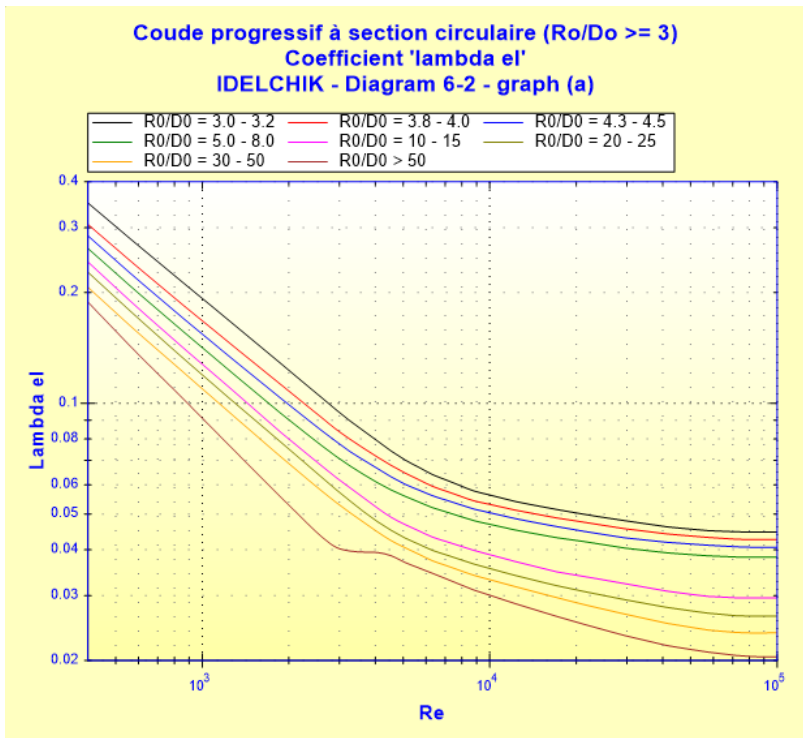
$$\zeta'_{loc} = \frac{A2}{Re} + A1 \cdot B1 \cdot C1 \quad ([1] \text{ diagramme 6-1})$$

■ Cas d'un coude unique d'un rayon de courbure relatif supérieur ou égal à 3 ( $R_0/D_0 \geq 3$ )  
 ([1] diagramme 6-2)

Coefficient total de friction avec parois lisses :

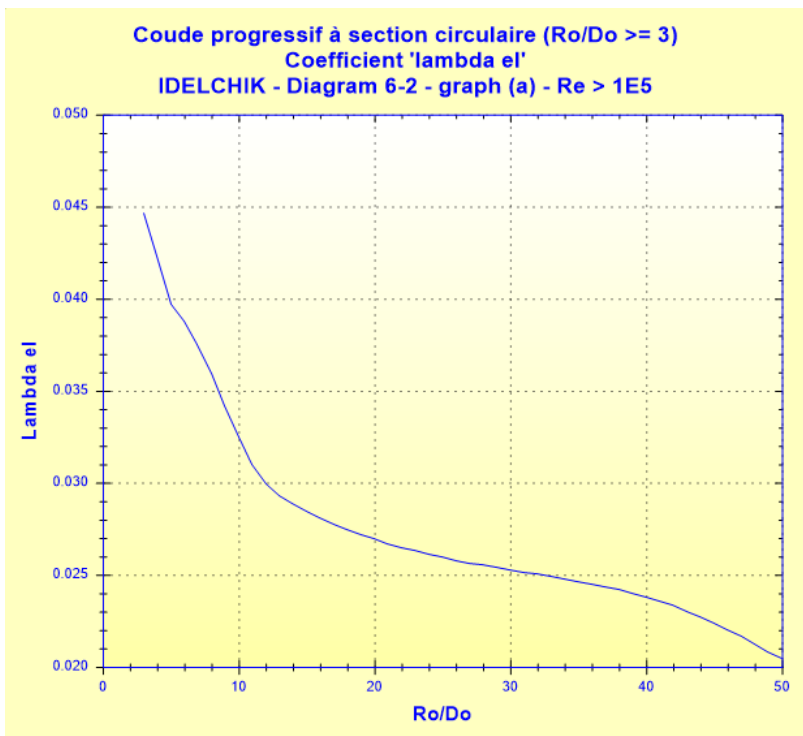
- $4 \cdot 10^2 \leq Re < 10^5$

$$\lambda_{el} = f \left( Re, \frac{R_0}{D_0} \right) \quad ([1] \text{ diagramme 6-2})$$



●  $Re \geq 10^5$

$$\lambda_{el} = f\left(\frac{R_0}{D_0}\right) \quad ([1] \text{ diagramme 6-2})$$



Estimation du coefficient de perte de charge locale

$$\zeta'_{loc} = (\lambda_{el} - \lambda_s) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot \delta / 360}{D_h}$$

avec :

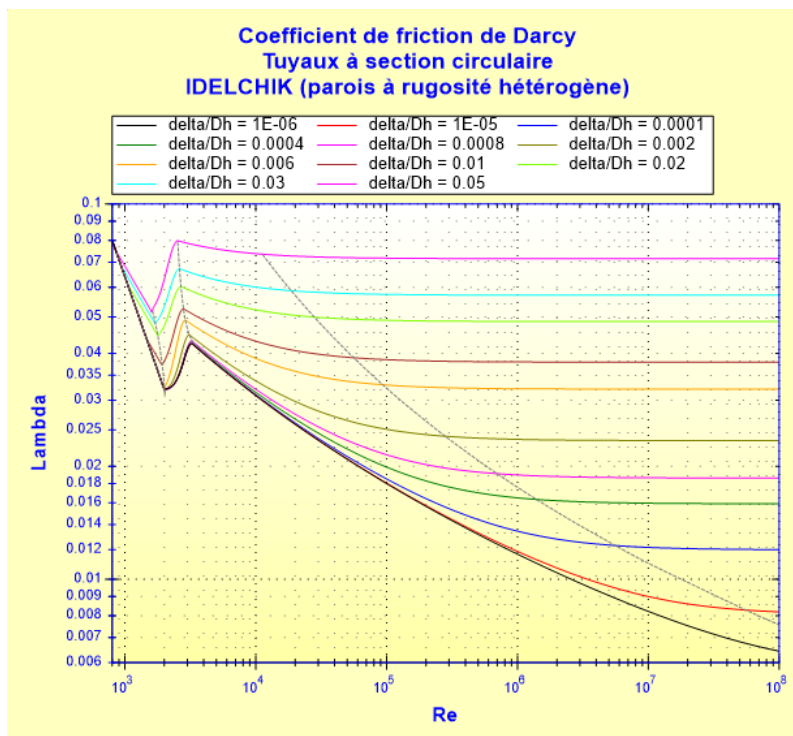
$\lambda_s$  : coefficient de friction de Darcy pour tuyau hydrauliquement lisse ( $\bar{\Delta} = 0$ ) à  $Re$

■ Cas de deux coudes en S ([1] diagramme 6-19)

Coefficient de friction de Darcy :

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

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

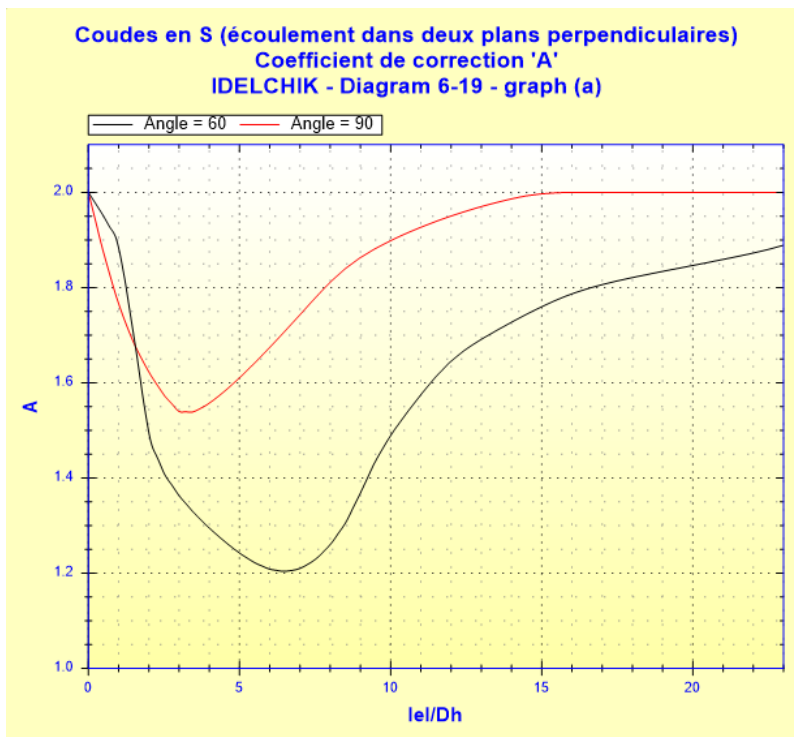


Coefficient de perte de pression de friction :

$$\zeta_{fr} = \lambda \cdot \left[ 2 \cdot \left( 0.0175 \cdot \delta \cdot \frac{R_0}{D_h} \right) + \frac{L_{el}}{D_h} \right] \quad ([1] \text{ diagramme 6-19})$$

Coefficient de correction :

$$A = f\left(\frac{L_{el}}{D_h}, \delta\right) \quad ([1] \text{ diagramme 6-19 graph a})$$



Coefficient de perte de pression total (basé sur la vitesse moyenne dans les coudes) :

$$\zeta = A \cdot \zeta'_{loc} + \zeta_{fr} \quad ([1] \text{ diagramme 6-19})$$

Longueur droite de perte de pression équivalente (m) :

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

Perte de pression totale (Pa) :

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot W_0^2}{2} \quad ([1] \text{ diagramme 6-19})$$

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 <sup>2</sup> )
$l$	Longueur totale développée (m)
$l_{el}$	Longueur droite entre coudes (m)
$R_0$	Rayon de courbure (m)
$\delta$	Angle de courbure de chaque coude (°)



Q	Débit volumique ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$w_0$	Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)
G	Débit massique (kg/s)
V	Volume de fluide ( $\text{m}^3$ )
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 ( )
A1	Coefficient qui caractérise l'effet de l'angle ( )
B1	Coefficient qui caractérise l'effet du rayon de courbure relative ( )
C1	Coefficient qui caractérise l'effet de l'allongement relatif de la section transversale ( )
A2	Coefficient de correction du nombre de Reynolds dépendant du rayon de courbure relatif ( )
$\zeta'_{loc}$	Coefficient de résistance locale ( )
$\lambda_{el}$	Coefficient total de friction avec parois lisses ( )
$\lambda$	Coefficient de friction de Darcy ( )
$\zeta_{fr}$	Coefficient de perte de pression de friction ( )
A	Coefficient de correction ( )
$\zeta$	Coefficient de perte de pression totale (basé sur la vitesse moyenne dans le coude) ( )
$L_{eq}$	Longueur droite de perte de pression équivalente (m)
$\Delta P$	Perte de pression totale (Pa)
$\Delta H$	Perte de charge totale de fluide (m)
Wh	Perte de puissance hydraulique (W)
$\rho$	Masse volumique du fluide ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\nu$	Viscosité cinématique du fluide ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
g	Accélération de la pesanteur ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

---

### Domaine de validité :

- écoulement stabilisé en amont du coude
- longueur droite en amont du coude :  $\geq 10 D_h$
- rayon de courbure relatif : supérieur ou égal à 1 ( $R_0/D_0 \geq 1$ )
- angle de courbure d'un coude : 0 à 180°

pour les angles ' $\delta$ ' inférieurs à 60° le coefficient de perte de pression ' $\zeta$ ' est estimé en prenant en compte un coefficient de correction de l'interaction 'A' correspondant à celui d'un angle de 60°.

pour les angles ' $\delta$ ' supérieurs à 90° le coefficient de perte de pression ' $\zeta$ ' est estimé en prenant en compte un coefficient de correction de l'interaction 'A' correspondant à celui d'un angle de 90°.

- cas d'un rayon de courbure relatif inférieur à 3 ( $R_0/D_h < 3$ )

- régime d'écoulement :  $Re \geq 3 \cdot 10^3$

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

- régime d'écoulement :  $Re \geq 400$

pour des nombres de Reynolds 'Re' inférieurs à 400 le coefficient ' $\lambda_{el}$ ' est extrapolé linéairement.

**Exemple d'application :**

The screenshot shows the HydraulCalc 2023a software interface. The main window is titled "HydrauCalc 2023a - [Coudes en S à section circulaire (écoulement dans deux plans perpendiculaires) - IDELCHIK (3ème Ed.)]". The interface is divided into several sections:

- Caractéristiques du fluide:**
  - Fluide : Eau douce à 1 atm [HC]
  - Réf. : IAPWS IF97
  - Température : T = 20 °C
  - Pression : P = 1.013 bar
  - Masse volumique :  $\rho = 998.2061 \text{ kg/m}^3$
  - Viscosité dynamique :  $\mu = 0.00100159 \text{ N.s/m}^2$
  - Viscosité cinématique :  $\nu = 1.00340E-06 \text{ m}^2/\text{s}$
  - Options: Masse vol. (selected), Visc. dyn., Visc. cin.
  - Graphique: Masse volumique (kg/m³) vs Température (°C) showing a decreasing curve.
- Caractéristiques géométriques:**
  - Perte de pression:  $\Delta P = 0.004005071 \text{ bar}$ ,  $\Delta H = 0.0409 \text{ m de fluide}$
  - Diagram: A 3D model of an S-shaped pipe bend with various parameters labeled:  $l_{el} = 0.1 \text{ m}$ ,  $R_0 = 0.175 \text{ m}$ ,  $D_0 = 0.0703 \text{ m}$ ,  $\delta = 90^\circ$ ,  $\Delta = 1.0E-05 \text{ m}$ ,  $w_0 = 1.288 \text{ m/s}$  (Turbulent).
  - Flow parameters:  $G = 4.9910 \text{ kg/s}$ ,  $Q = 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$
- Résultats complémentaires:**

Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Diamètre hydraulique	$D_h$	0.0703	m
Section de passage	$F_0$	0.003881508	m <sup>2</sup>
Rayon de courbure relatif	$R_0/D_0$	2.489331	
Rapport longueur entre coudes / diamètre hydraulique	$l_{el}/D_h$	1.422475	
Longueur droite développée à l'axe	$l$	0.6497787	m
Rugosité relative	$\Delta$	0.0001422475	
Nombre de Reynolds	$Re$	90251	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de friction de Darcy	$\lambda$	0.01907611	
Coefficient de résistance locale	$\zeta_{loc}$	0.181306	
Coefficient de résistance de friction	$\zeta_r$	0.1763193	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de correction de l'interaction (Diagram 6-19)	$A$	1.694786	
Coefficient perte pression (basé sur la vitesse moyenne coude)	$\zeta$	0.4835942	
Perte de puissance hydraulique	$W_h$	2.002536	W
Longueur droite de perte de charge équivalente	$Leq$	1.78216	m

**Références :**

[1] Handbook of Hydraulic Resistance, 3rd Edition, I.E. Idelchik