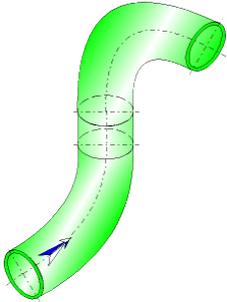




Coudes en S
(avec écoulement dans deux plans perpendiculaires)
Section circulaire
(IDELCHIK)



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 (m²) :

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

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 (m³) :

$$V = F_0 \cdot l$$

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:

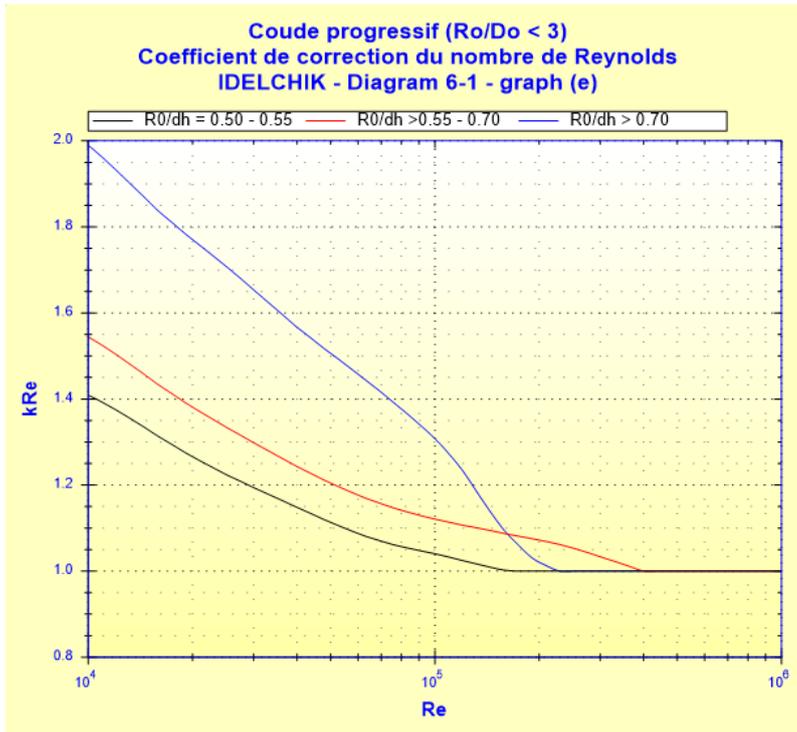
λ_{sm} : coefficient de friction de Darcy pour tuyau hydrauliquement lisse ($\bar{\Delta} = 0$) à Re

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

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

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

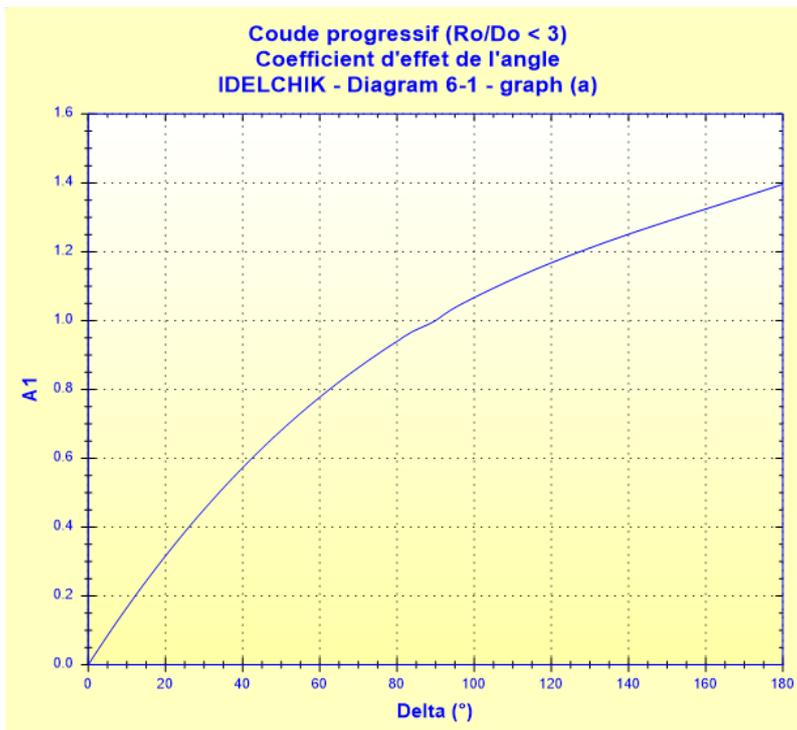
([1] diagramme 6-1)



Coefficient d'effet de l'angle :

$$A1 = f(\delta)$$

([1] diagramme 6-1)

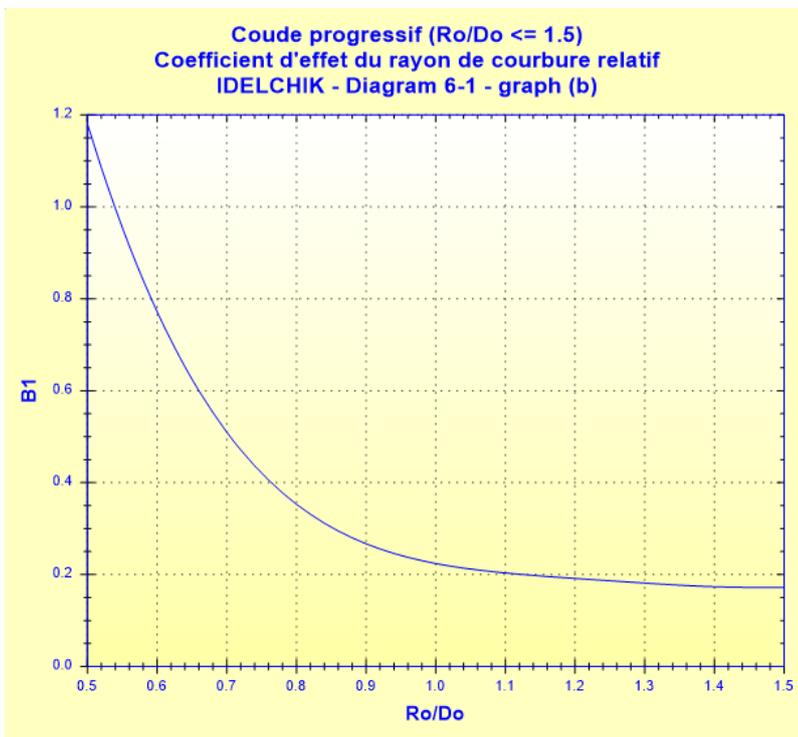


Coefficient d'effet du rayon de courbure relatif :

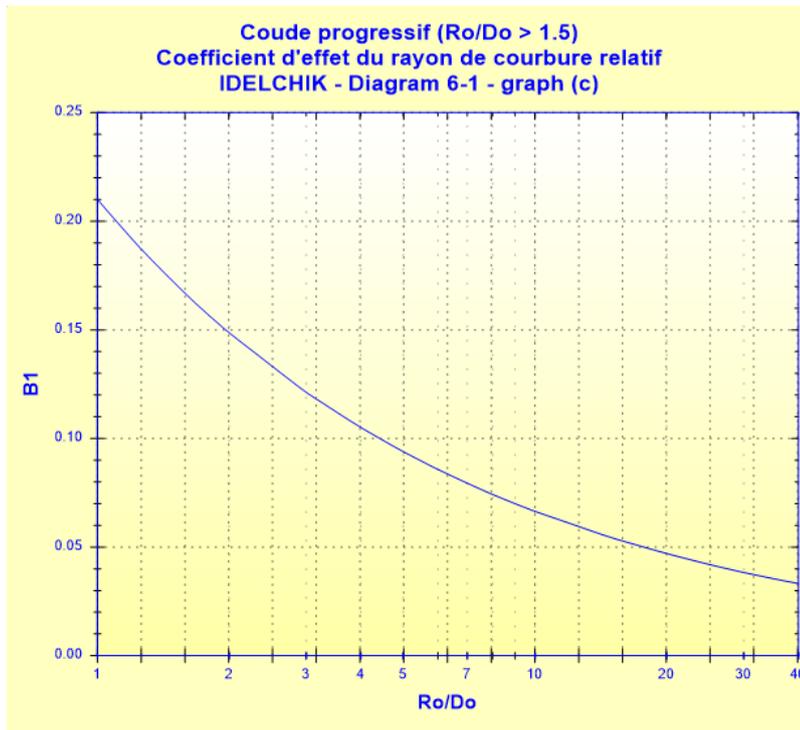
$$B1 = f\left(\frac{R_0}{D_h}\right)$$

([1] diagramme 6-1)

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



● $R_0/D_0 > 1.5$



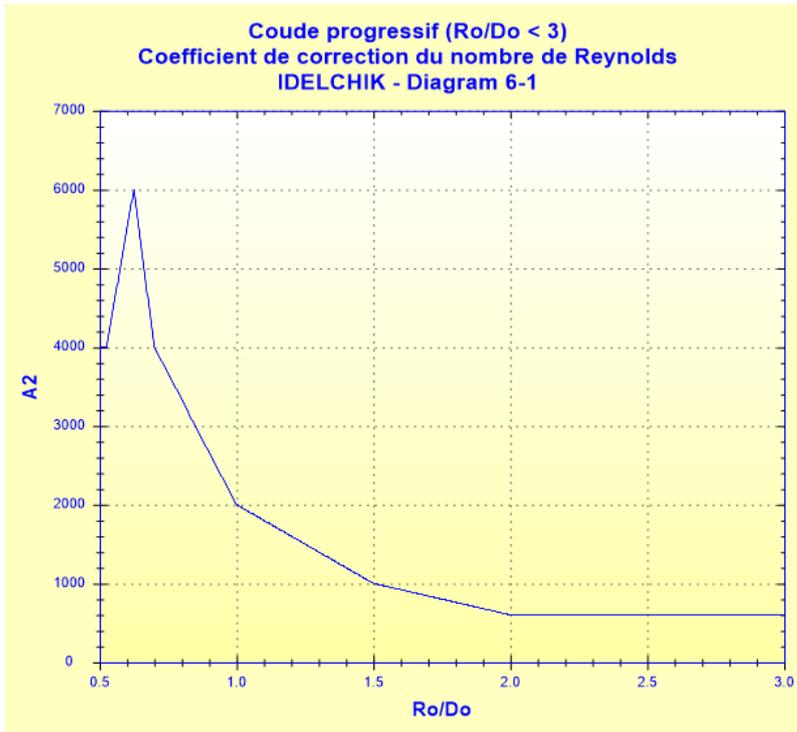
Coefficient d'effet de l'allongement relatif de la section transversale :

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

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) :

- $Re \geq 10^4$

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

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

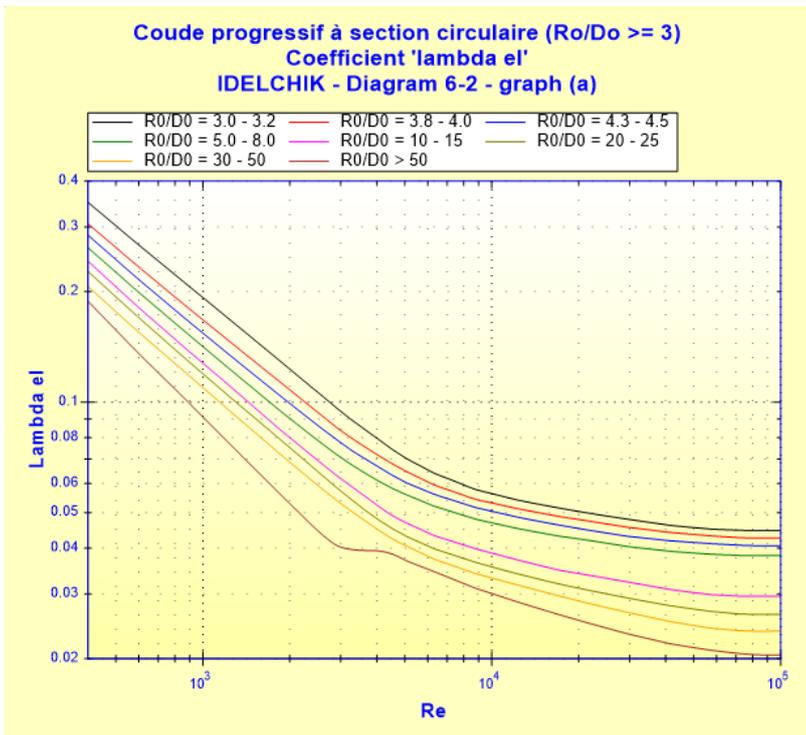
$$\zeta'_{loc} = \frac{A2}{Re} + A1 \cdot B1 \cdot C1 \quad ([1] \text{ diagramme 6-1})$$

■ 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 :

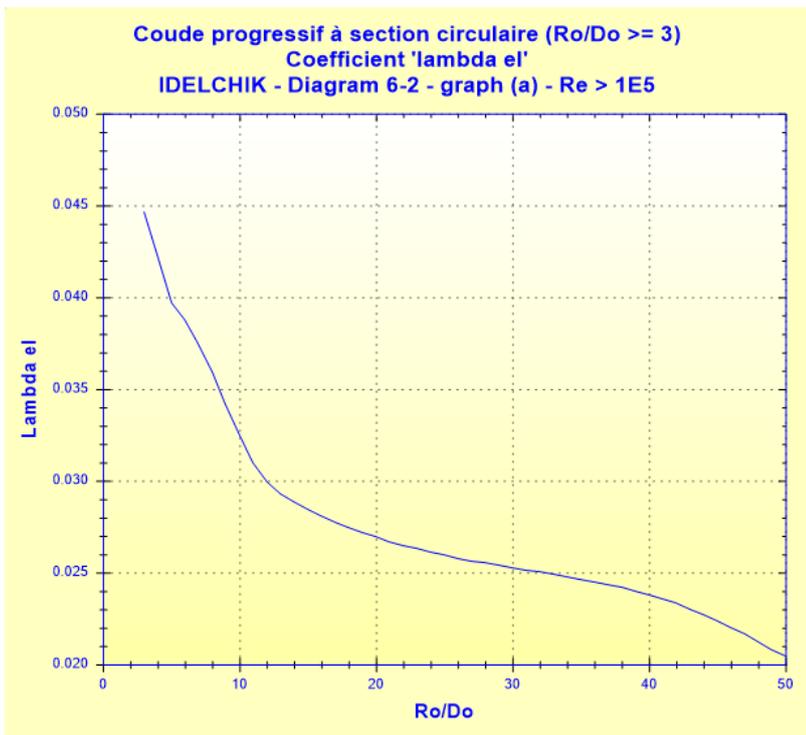
- $4 \cdot 10^2 \leq Re < 10^5$

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



● $Re \geq 10^5$

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



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 :

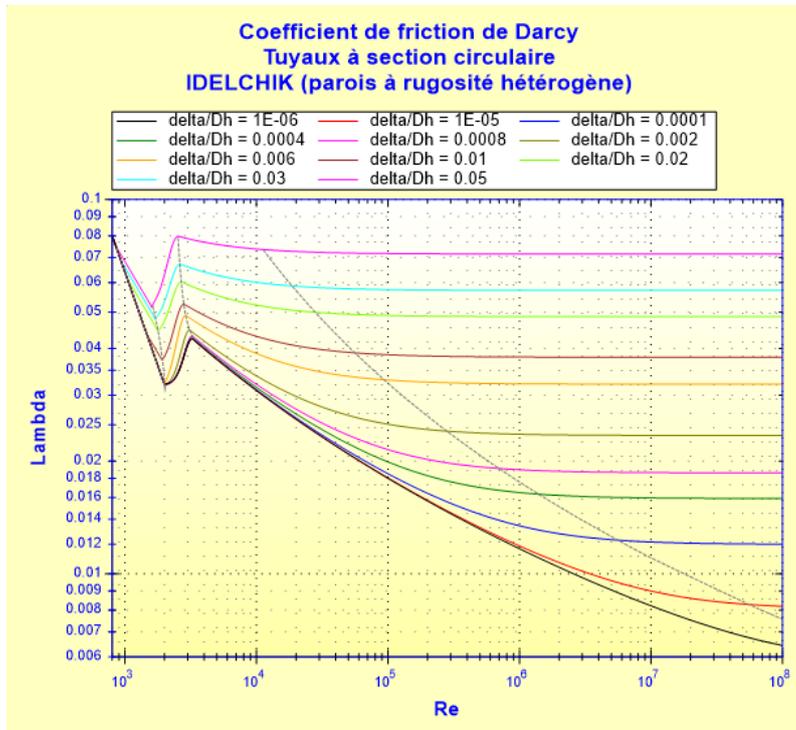
λ_s : coefficient de friction de Darcy pour tuyau hydrauliquement lisse ($\bar{\Delta} = 0$) à Re

■ 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 \(IDELCHIK\)](#)

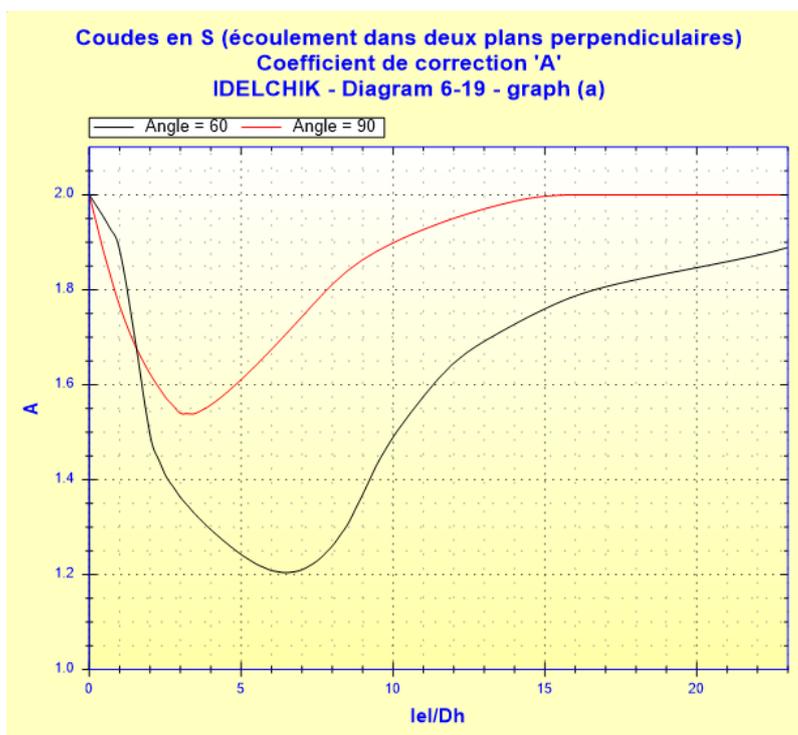


Coefficient de perte de pression de friction :

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

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 ²) |
| l | Longueur totale développée (m) |
| l_{el} | Longueur droite entre coudes (m) |
| R_0 | Rayon de courbure (m) |
| δ | Angle de courbure de chaque coude (°) |

| | |
|----------------|---|
| 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 () |
| Δ | Rugosité absolue des parois intérieures du coude (m) |
| $\bar{\Delta}$ | Rugosité relative des parois intérieures du coude () |
| k_{Δ} | 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 () |
| ζ'_{loc} | Coefficient de résistance locale () |
| λ_{el} | Coefficient total de friction avec parois lisses () |
| λ | Coefficient de friction de Darcy () |
| ζ_{fr} | Coefficient de perte de pression de friction () |
| A | Coefficient de correction () |
| ζ | Coefficient de perte de pression totale (basé sur la vitesse moyenne dans le coude) () |
| L_{eq} | Longueur droite de perte de pression équivalente (m) |
| ΔP | Perte de pression totale (Pa) |
| ΔH | Perte de charge totale de fluide (m) |
| Wh | Perte de puissance hydraulique (W) |
| ρ | Masse volumique du fluide (kg/m^3) |
| ν | 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 : $\geq 10 D_h$
- 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 ' δ ' inférieurs à 60° le coefficient de perte de pression ' ζ ' 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 ' δ ' supérieurs à 90° le coefficient de perte de pression ' ζ ' 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 ' λ_{el} ' est extrapolé linéairement.

Exemple d'application :

The screenshot shows the HydraulCalc 2023a software interface. The left panel displays fluid characteristics for water at 20°C and 1.013 bar. The right panel shows the geometric characteristics of a pipe bend with a 90-degree angle, a relative radius of curvature $R_0 = 0.175$ m, and a hydraulic diameter $D_0 = 0.0703$ m. The flow rate is $Q = 0.005$ m³/s, resulting in a velocity of 1.288 m/s. The pressure loss is $\Delta P = 0.004005071$ bar.

Résultats complémentaires

| 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 | |
| Rapport longueur entre coudes / diamètre hydraulique | l_{el}/D_h | 1.422475 | |
| Longueur droite développée à l'axe | l | 0.6497787 | m |
| Rugosité relative | Δ | 0.0001422475 | |
| Nombre de Reynolds | Re | 90251 | |
| Coefficient de friction de Darcy | λ | 0.01907611 | |
| Coefficient de résistance locale | ζ_{loc} | 0.181306 | |
| Coefficient de résistance de friction | ζ_r | 0.1763193 | |
| Coefficient de correction de l'interaction (Diagram 6-19) | A | 1.694786 | |
| Coefficient perte pression (basé sur la vitesse moyenne coude) | ζ | 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