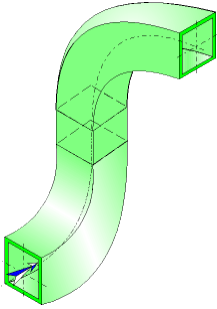




Coudes en S
(avec écoulement dans deux plans perpendiculaires)
Section rectangulaire
(IDELCHIK)



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 rectangulaire et constante. En outre, l'écoulement est supposé entièrement développé et stabilisé en amont du premier coude.

Formulation du modèle :

Diamètre hydraulique (m) :

$$D_h = \frac{2 \cdot a_0 \cdot b_0}{a_0 + b_0} \quad ([1] \text{ diagram 6-1})$$

Section transversale de passage (m²) :

$$F_0 = a_0 \cdot b_0$$

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 rayon de courbure relatif inférieur à 3 ($R_0/b_0 < 3$) ([1] diagram 6-1)

Coefficient d'effet de la rugosité :

$$k_{\Delta} = f\left(\frac{R_0}{b_0}, Re, \bar{\Delta}\right) \quad ([1] \text{ diagram 6-1})$$

● $0.50 \leq R_0/b_0 \leq 0.55$

$\bar{\Delta}$	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

● $R_0/b_0 > 0.55$

$\bar{\Delta}$	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:

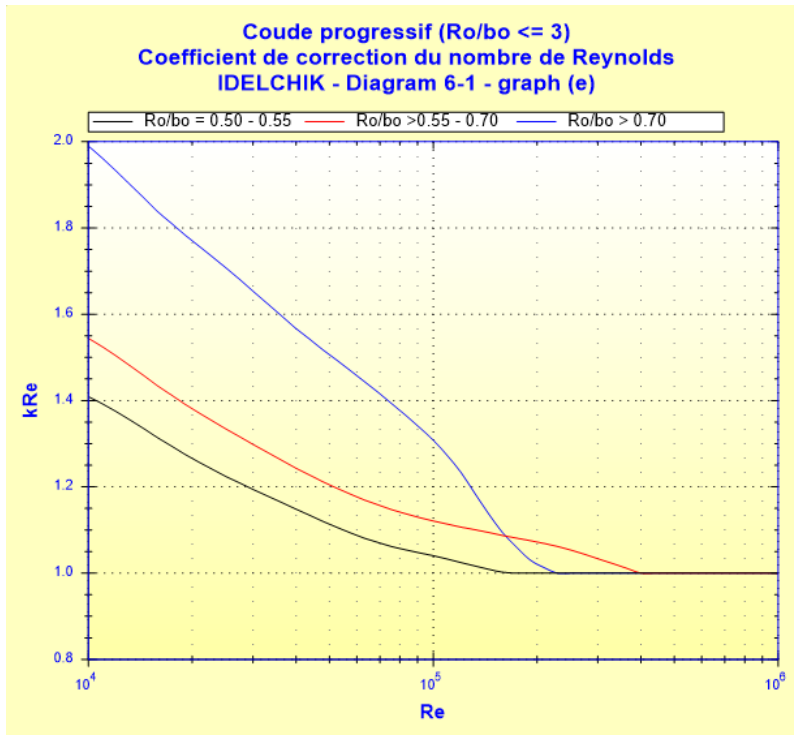
λ_{sm} : coefficient de friction de Darcy pour tuyau hydrauliquement lisse ($\bar{\Delta} = 0$) à Re

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

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

$$k_{Re} = f\left(\text{Re}, \frac{R_0}{b_0}\right)$$

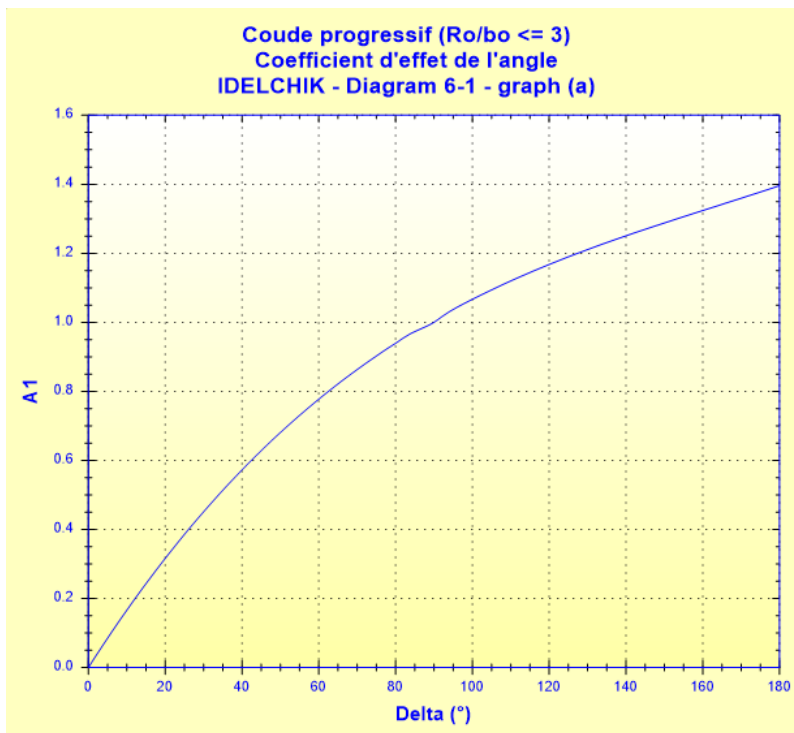
([1] diagram 6-1)



Coefficient d'effet de l'angle :

$$A1 = f(\delta)$$

([1] diagram 6-1)

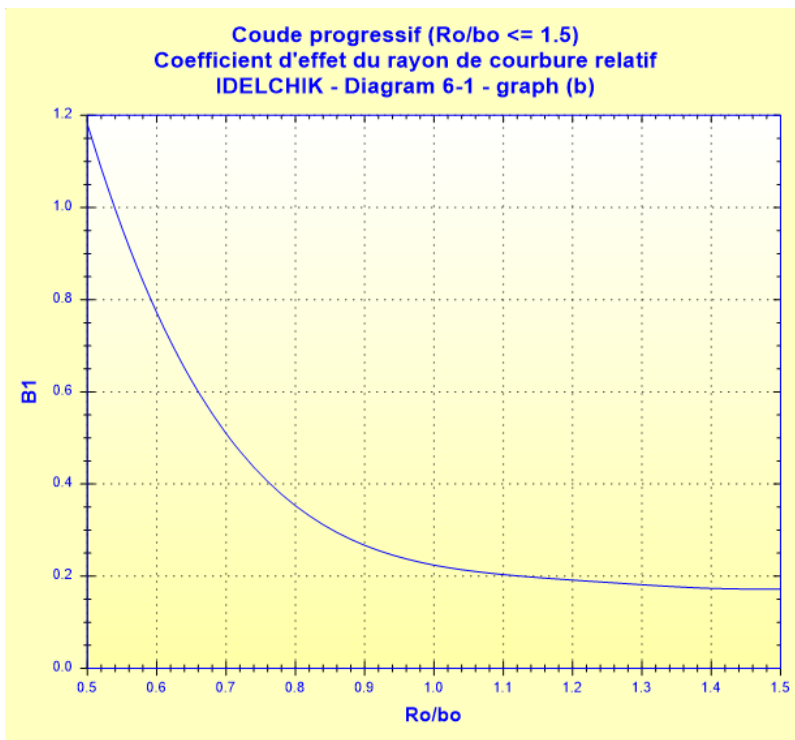


Coefficient d'effet du rayon de courbure relatif :

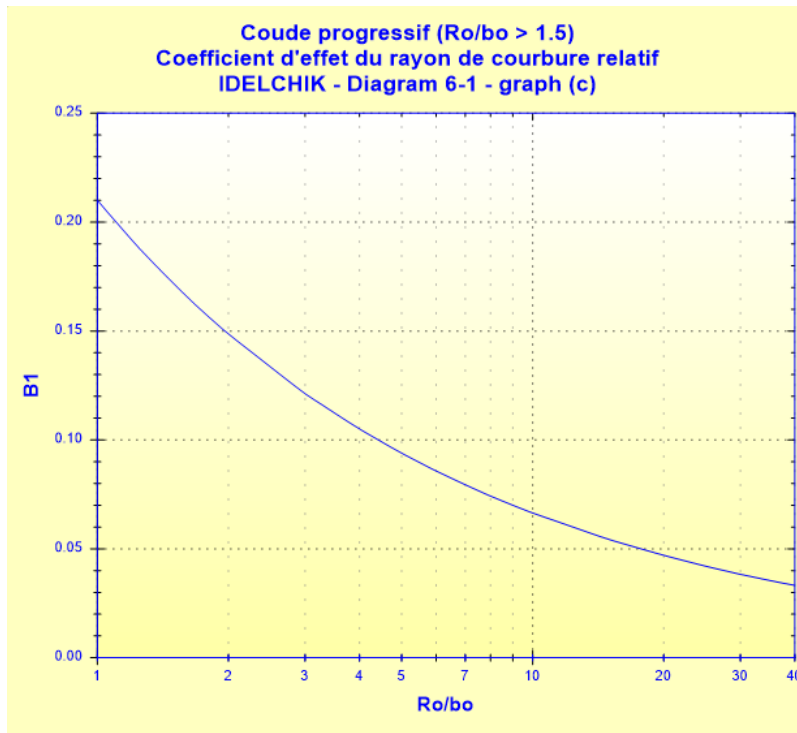
$$B1 = f\left(\frac{R_0}{b_0}\right)$$

([1] diagram 6-1)

- $0.5 \leq R_0/b_0 \leq 1.5$



● $R_0/b_0 > 1.5$



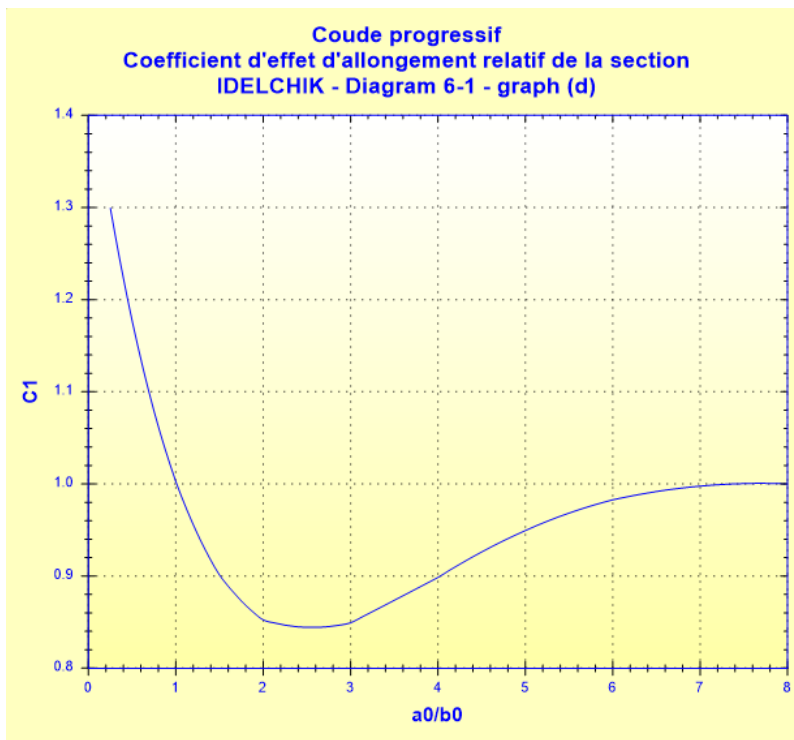
Coefficient d'effet de l'allongement relatif de la section transversale :

◆ $a_0 \geq b_0$

$$C1 = f\left(\frac{a_0}{b_0}\right) \quad ([1] \text{ diagram 6-1})$$

◆ $a_0 < b_0$

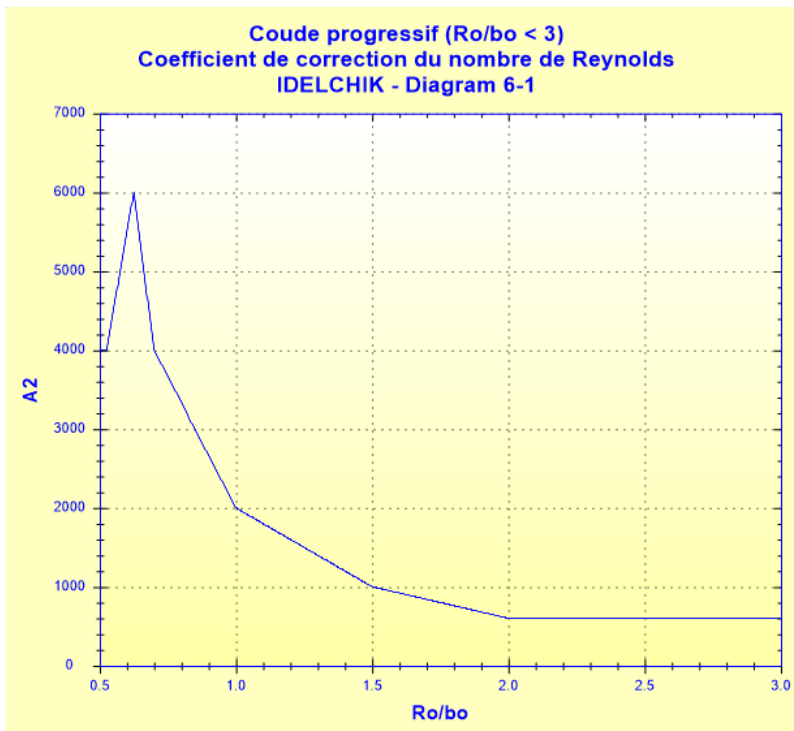
$$C1 = f\left(\frac{b_0}{a_0}\right) \quad ([1] \text{ diagram 6-1})$$



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

$$A2 = f\left(\frac{R_0}{b_0}\right) \quad ([1] \text{ diagram 6-1})$$

R_0/b_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) :

- $Re \geq 10^4$

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

● $3 \cdot 10^3 < Re < 10^4$

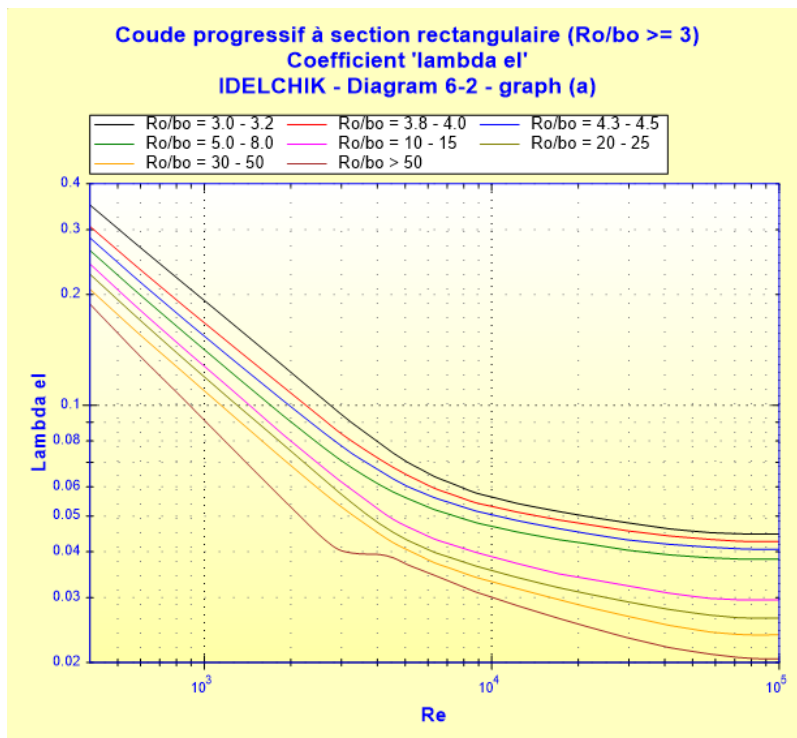
$$\zeta'_{loc} = \frac{A2}{Re} + A1 \cdot B1 \cdot C1 \quad ([1] \text{ diagramme 6-1})$$

■ Cas d'un rayon de courbure relatif supérieur ou égal à 3 ($R_0/b_0 \geq 3$) ([1] diagram 6-2)

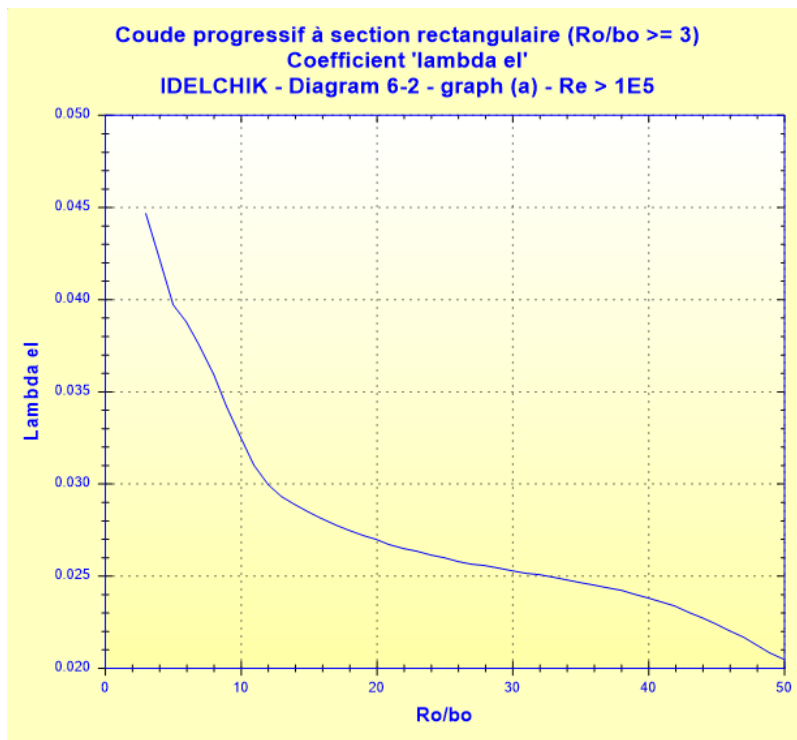
Coefficient total de friction avec parois lisses :

$$\lambda_{el} = f\left(Re, \frac{R_0}{b_0}\right) \quad ([1] \text{ diagramme 6-2})$$

● $Re < 10^5$



● $Re \geq 10^5$



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

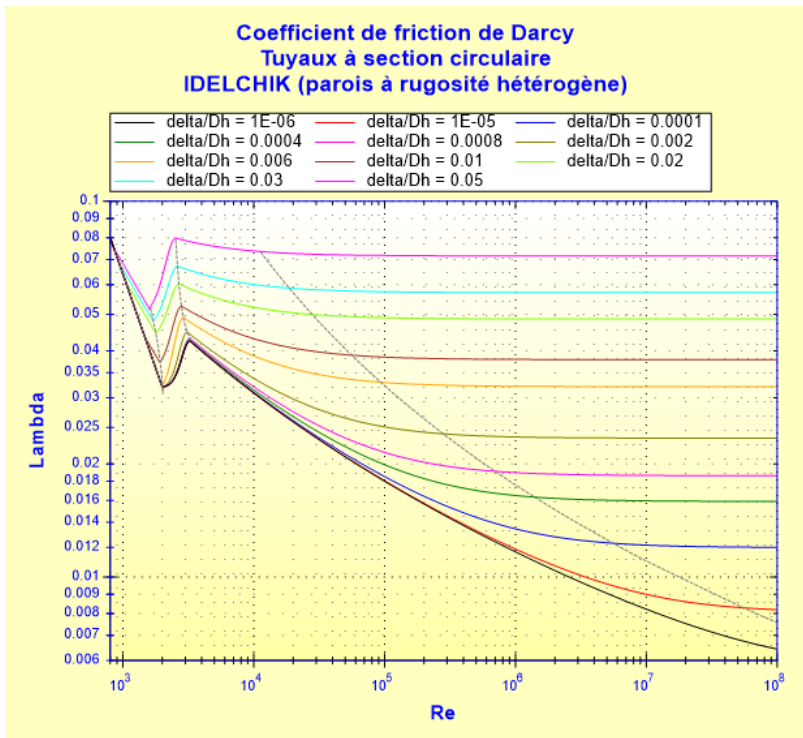
■ Cas de deux coudes en S ([1] diagramme 6-19)

Coefficient de friction de Darcy :

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

■ Coefficient de friction de Darcy pour section circulaire

$$\lambda_{circ} = f \left(Re, \frac{\Delta}{D_h} \right)$$



■ Correction du coefficient de friction de Darcy pour section non circulaire

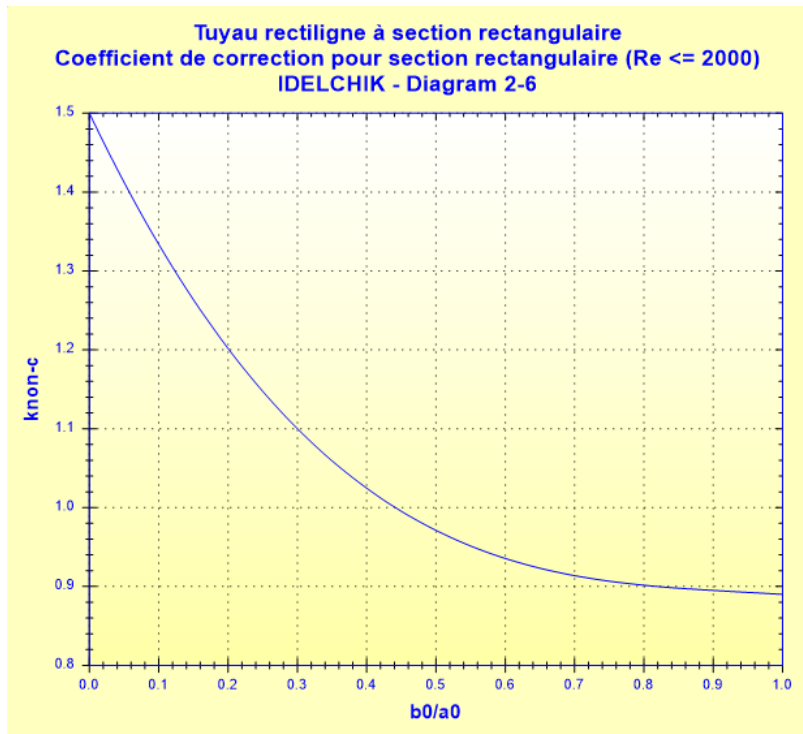
◆ $a_0 \geq b_0$

$$k_{non-c} = f(b_0/a_0) \quad ([1] \text{ diagramme 2-6})$$

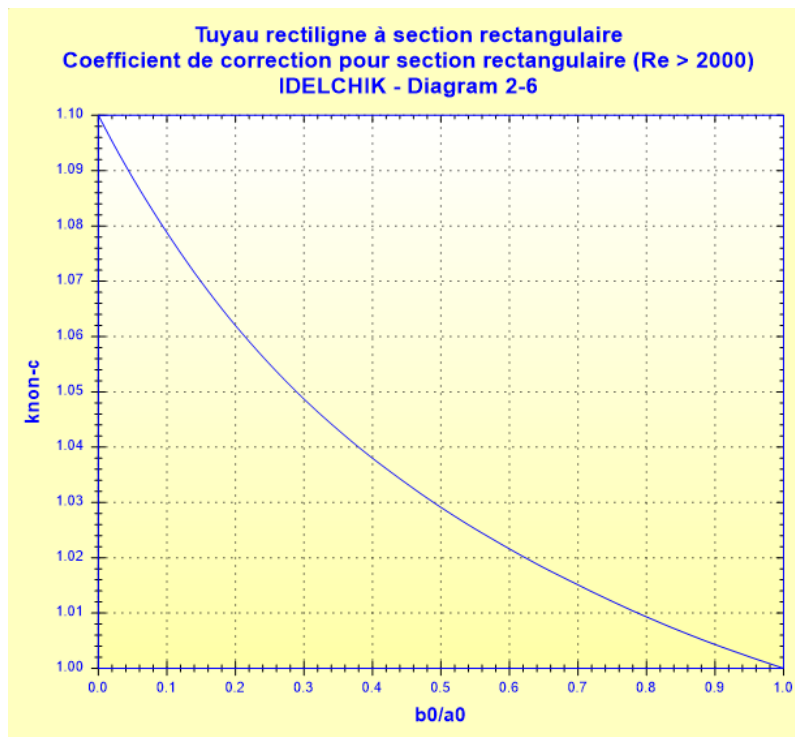
◆ $a_0 < b_0$

$$k_{non-c} = f(a_0/b_0) \quad ([1] \text{ diagramme 2-6})$$

● régime laminaire ($Re \leq 2000$) :



● régime turbulent ($Re > 2000$) :



■ Coefficient de friction de Darcy pour section rectangulaire

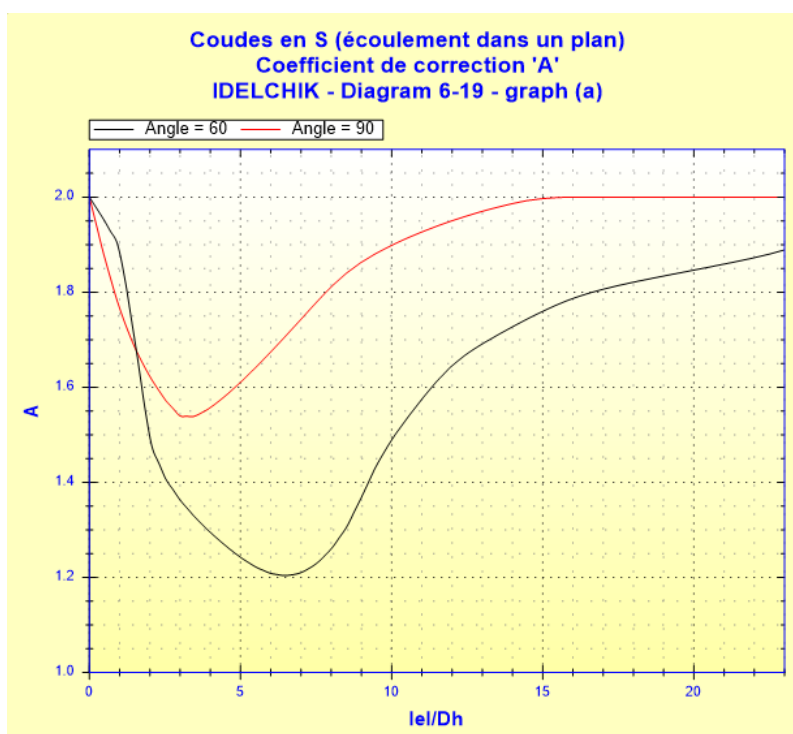
$$\lambda_{rect} = \lambda_{circ} \cdot k_{non-c} \quad ([1] \text{ diagramme 2-6})$$

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 de l'interaction :

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



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

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

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) :

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

Longueur droite de perte de pression équivalente (m) :

$$L_{eq} = \zeta \cdot \frac{D_h}{\lambda_{rect}}$$

Symboles, définitions, unités SI :

a_0	Largeur de la section rectangulaire (m)
b_0	Hauteur de la section rectangulaire (m)
D_h	Diamètre hydraulique du coude (m)
F_0	Section transversale de passage (m ²)
l	Longueur totale développée (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 ()
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 ()
A_2	Coefficient de correction du nombre de Reynolds dépendant du rayon de courbure relatif ()
ζ'_{loc}	Coefficient de résistance locale ()

λ_{circ}	Coefficient de friction de Darcy pour section circulaire ()
$k_{\text{non-c}}$	Correction du coefficient de friction de Darcy pour section non circulaire ()
λ_{rect}	Coefficient de friction de Darcy pour section rectangulaire ()
λ_{el}	Coefficient de friction ()
ζ_{fr}	Coefficient de perte de pression de friction ()
A	Coefficient de correction de l'interaction ()
ζ	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_{eq}	Longueur droite de perte de pression équivalente (m)
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 ($R_0/b_0 \geq 1$)
- angle de courbure : 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 ($R_0/b_0 < 3$)

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

■ cas d'un rayon de courbure relatif supérieur ou égal à 3 ($R_0/b_0 \geq 3$)

- régime d'écoulement : $500 \leq Re \leq 38 \cdot 10^3$

pour des nombres de Reynolds ' Re ' inférieurs à 500 ou supérieurs à $38 \cdot 10^3$, le coefficient ' λ_{el} ' est extrapolé linéairement.

Exemple d'application :

HydrauCalc 2023a - [Coudes en S à section rectangulaire (écoulement dans deux plans perpendiculaire) - IDELCHIK (3ème 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 : ρ 998.2061 kg/m³
Viscosité dynamique : μ 0.00100159 N.s/m²
Viscosité cinématique : ν 1.00340E-06 m²/s

Masse vol. Visc. dyn. Visc. cin.

logY

Caractéristiques géométriques

Aide Info

Perte de pression
 ΔP 0.001846393 bar
 ΔH 0.0189 m de fluide

G 4.9910 kg/s
Q 0.005 m³/s
1.0 m/s w_0 (Turbulent)

Résultats complémentaires

Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Diamètre hydraulique	D_h	0.06666667	m
Section de passage	F_0	0.005	m ²
Rapport des cotés	b_0/a_0	0.5	
Rayon de courbure relatif	R_0/b_0	3.5	
Rapport longueur entre coudes / diamètre hydraulique	l_{01}/D_h	1.5	
Rugosité relative	Δ	0.00015	
Nombre de Reynolds	Re	66440.97	
Coefficient de friction pour section rectangulaire	λ_{rect}	0.0208327	
Coefficient de friction (Diagram 6-2)	λ_{el}	0.04368597	
Coefficient de friction de Darcy (tuyau hydrauliquement lisse)	λ_s	0.01962486	
Coefficient de correction de l'interaction (Diagram 6-19)	A	1.68218	
Coefficient perte pression (basé sur la vitesse moyenne coude)	ζ	0.3699424	
Perte de puissance hydraulique	W_h	0.9231967	W
Longueur droite de perte de charge équivalente	L_{eq}	1.183851	m

Références :

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