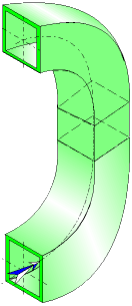




**Coudes en U  
(avec écoulement dans un plan)  
Section rectangulaire  
(IDELCHIK)**



**Description du modèle :**

Ce modèle de composant calcule la perte de charge (chute de pression) de deux coudes en U (avec écoulement dans un plan) 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 (m<sup>2</sup>) :

$$F_0 = a_0 \cdot b_0$$

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 (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 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:

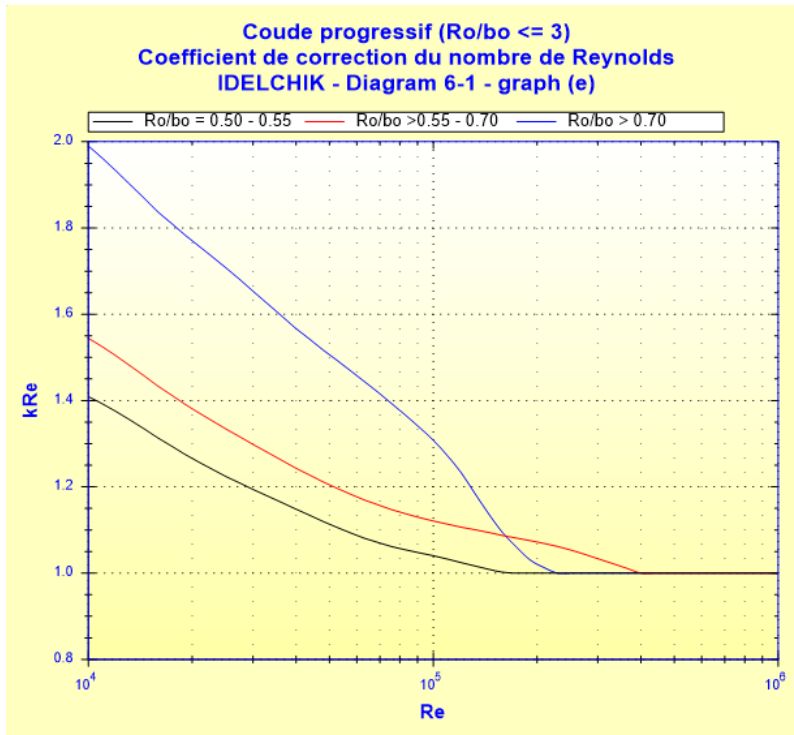
$\lambda_{sm}$  : coefficient de friction de Darcy pour tuyau hydrauliquement lisse ( $\bar{\Delta} = 0$ ) à Re

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

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

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

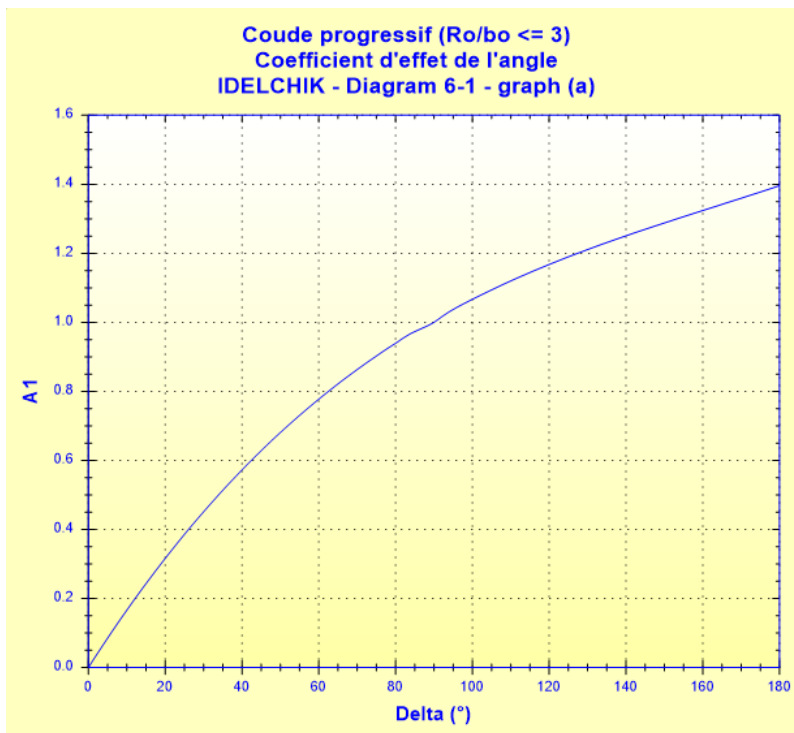
([1] diagram 6-1)



Coefficient d'effet de l'angle :

$$A1 = f(\delta)$$

([1] diagram 6-1)

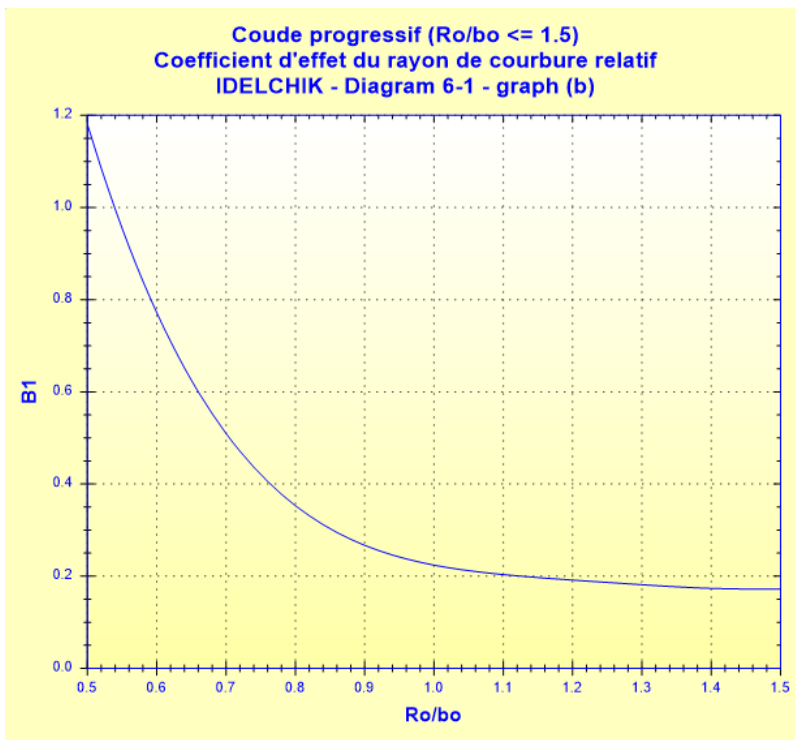


Coefficient d'effet du rayon de courbure relatif :

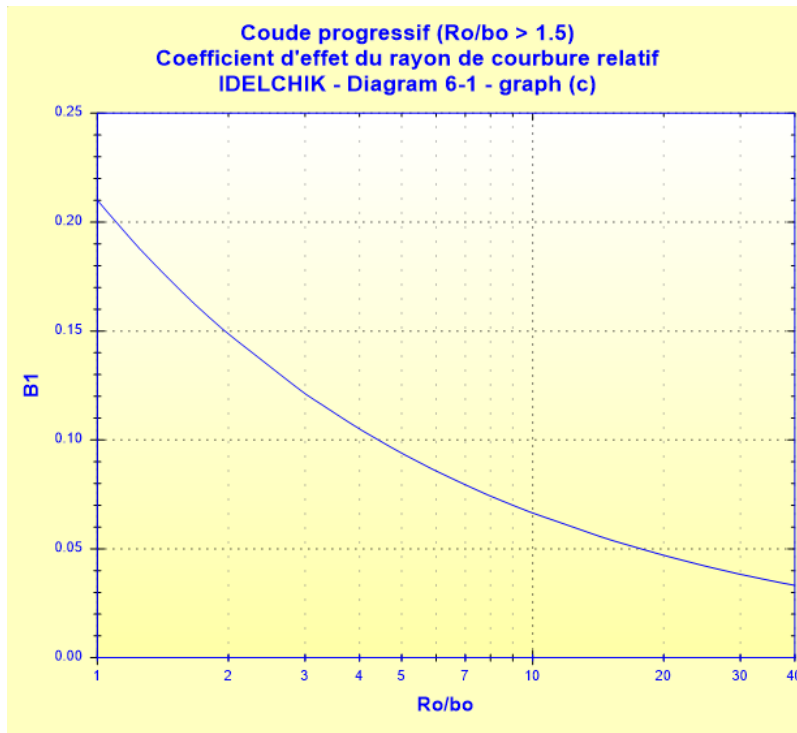
$$B1 = f\left(\frac{R_0}{b_0}\right)$$

([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 :

◆  $a_0 \geq b_0$

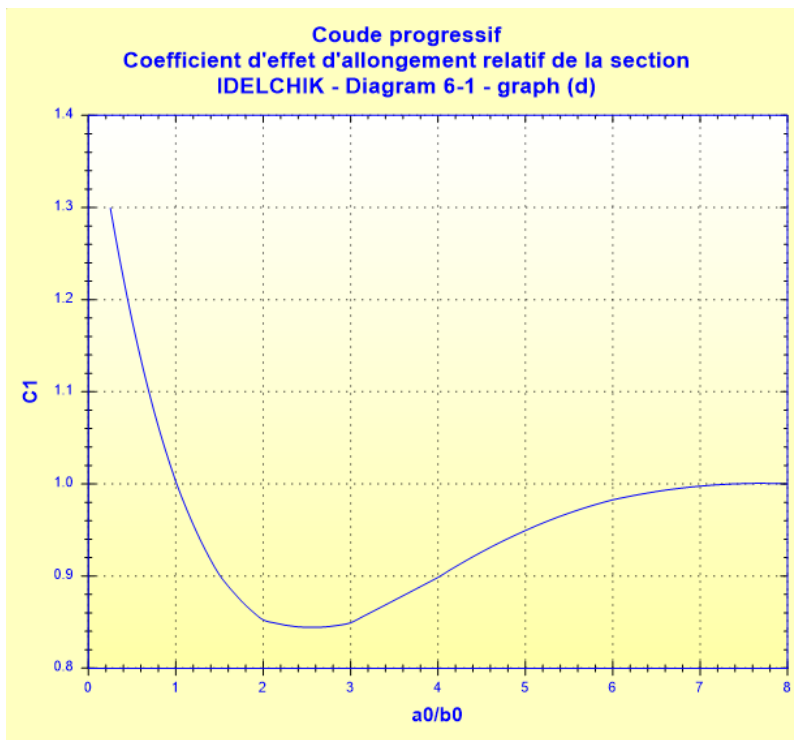
$$C1 = f\left(\frac{a_0}{b_0}\right)$$

([1] diagram 6-1)

◆  $a_0 < b_0$

$$C1 = f\left(\frac{b_0}{a_0}\right)$$

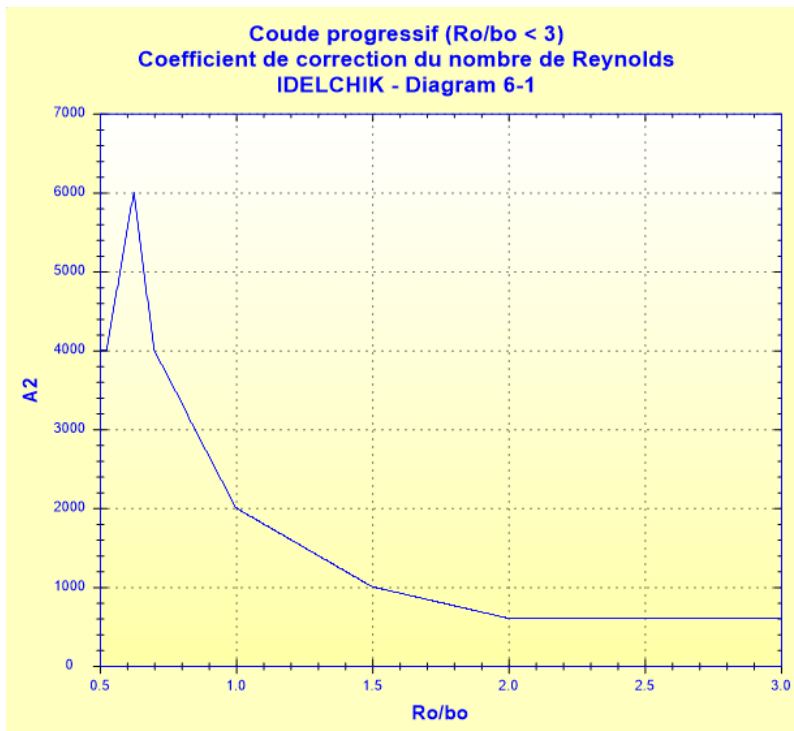
([1] diagram 6-1)



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) :

- $Re \geq 10^4$

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

●  $3 \cdot 10^3 < Re < 10^4$

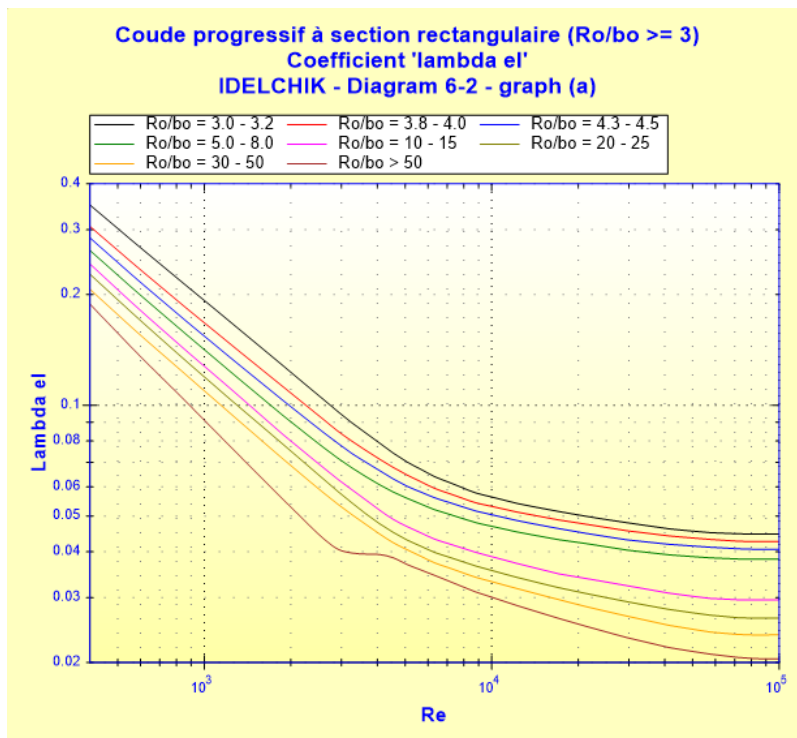
$$\zeta'_{loc} = \frac{A2}{Re} + A1 \cdot B1 \cdot C1 \quad ([1] \text{ diagramme 6-1})$$

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

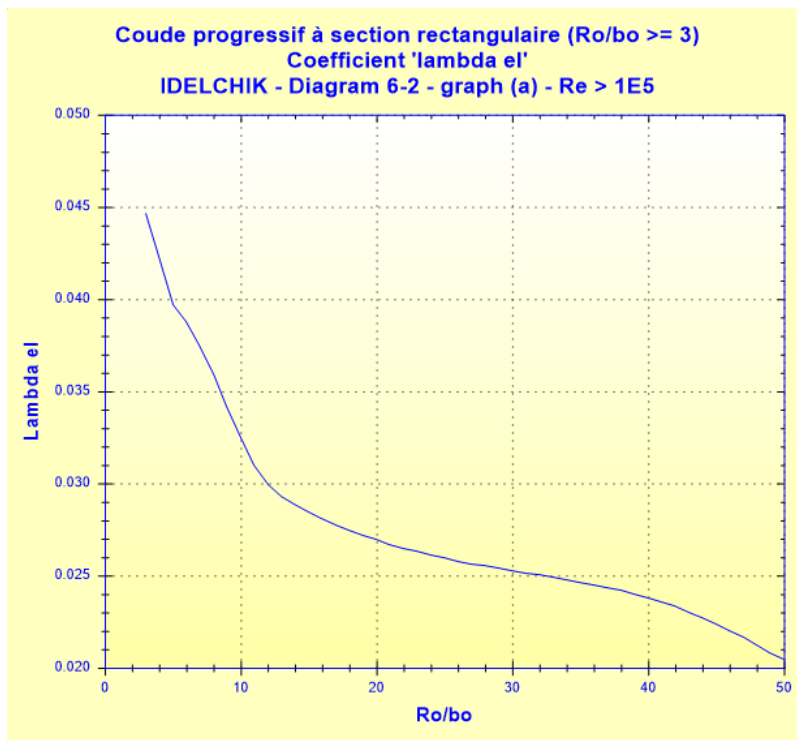
Coefficient total de friction avec parois lisses :

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

●  $Re < 10^5$



●  $Re \geq 10^5$



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 :

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

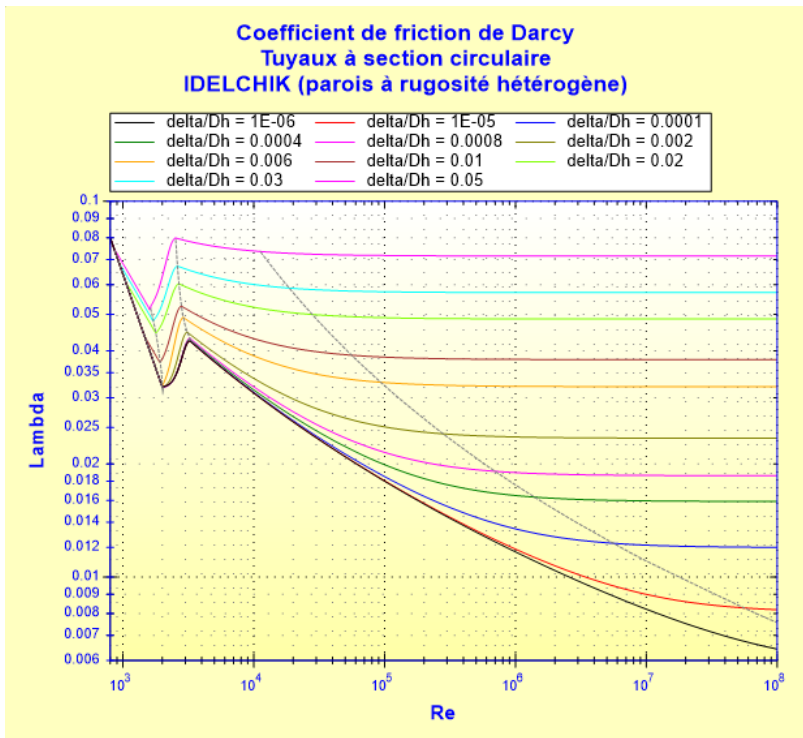
■ Cas de deux coudes en U ([1] diagramme 6-20)

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

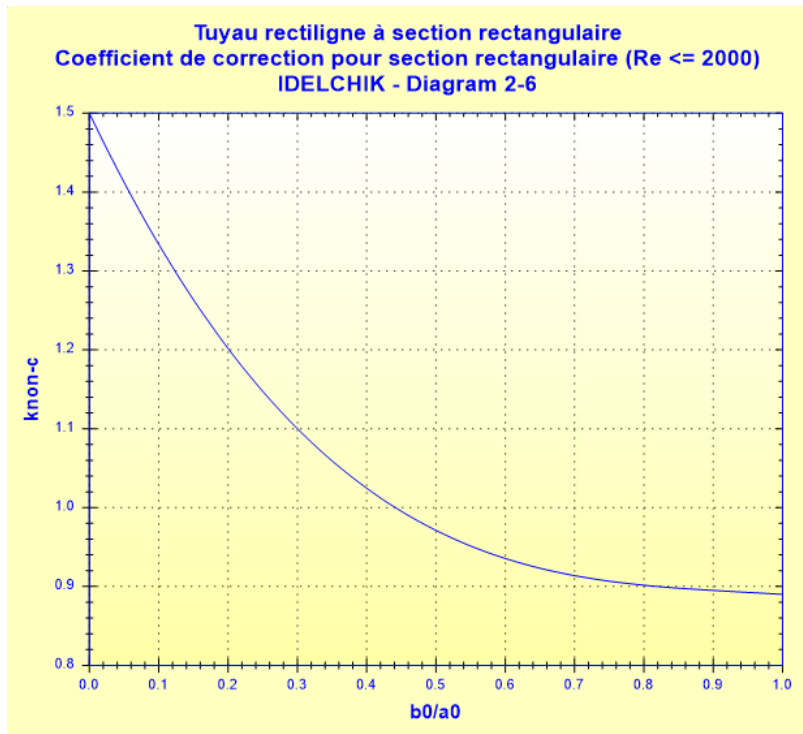
◆  $a_0 \geq b_0$

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

◆  $a_0 < b_0$

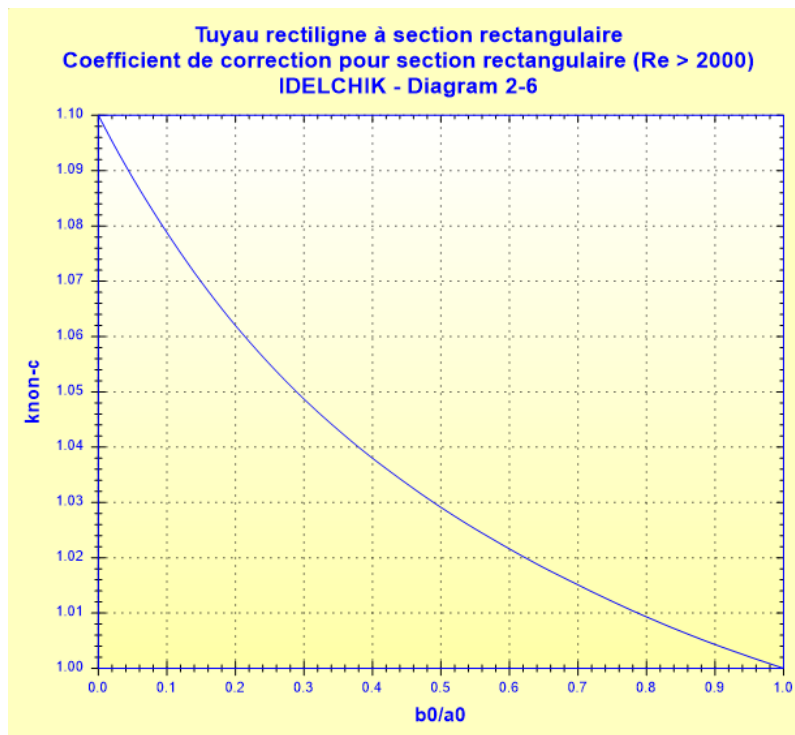
$$k_{non-c} = f(a_0/b_0) \quad ([1] \text{ diagramme 2-6})$$

● régime laminaire ( $Re \leq 2000$ ) :



● régime turbulent ( $Re > 2000$ ) :





■ Coefficient de friction de Darcy pour section rectangulaire

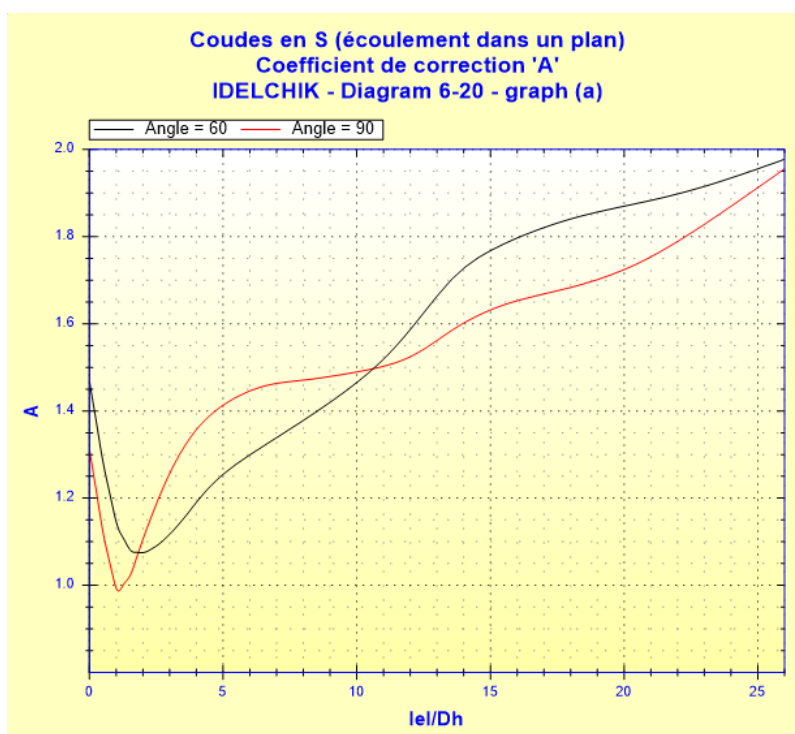
$$\lambda_{rect} = \lambda_{circ} \cdot k_{non-c} \quad ([1] \text{ diagramme 2-6})$$

Coefficient de perte de pression de friction :

$$\zeta_{fr} = \lambda \cdot \left[ 2 \cdot \left( 0.0175 \cdot \delta \cdot \frac{R_0}{D_h} \right) + \frac{l_{el}}{D_h} \right] \quad ([1] \text{ diagramme 6-20})$$

Coefficient de correction de l'interaction :

$$A = f \left( \frac{l_{el}}{D_h}, \delta \right) \quad ([1] \text{ diagram 6-20 graph a})$$



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

$$\zeta = A \cdot \zeta'_{loc} + \zeta_{fr} \quad ([1] \text{ diagramme 6-20})$$

Perte de pression totale (Pa) :

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w_0^2}{2} \quad ([1] \text{ diagramme 6-20})$$

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 <sup>2</sup> )
$l$	Longueur totale développée (m)
$R_0$	Rayon de courbure (m)
$\delta$	Angle de courbure de chaque coude (°)
$Q$	Débit volumique (m <sup>3</sup> /s)
$w_0$	Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)
$G$	Débit massique (kg/s)
$V$	Volume de fluide (m <sup>3</sup> )
$M$	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 ( )
$A_2$	Coefficient de correction du nombre de Reynolds dépendant du rayon de courbure relatif ( )
$\zeta'_{loc}$	Coefficient de résistance locale ( )

$\lambda_{\text{circ}}$	Coefficient de friction de Darcy pour section circulaire ( )
$k_{\text{non-c}}$	Correction du coefficient de friction de Darcy pour section non circulaire ( )
$\lambda_{\text{rect}}$	Coefficient de friction de Darcy pour section rectangulaire ( )
$\lambda_{\text{el}}$	Coefficient de friction ( )
$\zeta_{\text{fr}}$	Coefficient de perte de pression de friction ( )
<b>A</b>	Coefficient de correction de l'interaction ( )
$\zeta$	Coefficient de perte de pression totale (basé sur la vitesse moyenne dans le coude) ( )
$\Delta P$	Perte de pression totale (Pa)
$\Delta H$	Perte de charge totale de fluide (m)
<b>Wh</b>	Perte de puissance hydraulique (W)
$L_{\text{eq}}$	Longueur droite de perte de pression équivalente (m)
$\rho$	Masse volumique du fluide ( $\text{kg/m}^3$ )
$\nu$	Viscosité cinématique du fluide ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$g$	Accélération de la pesanteur ( $\text{m/s}^2$ )

### 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 ' $\delta$ ' 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 ( $R_0/b_0 < 3$ )

- 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 ' $\lambda_{\text{el}}$ ' est extrapolé linéairement.

### Exemple d'application :

HydrauCalc 2023a - [Coudes en U à section rectangulaire (écoulement dans un plan) - 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 :  $\rho$  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  
 $\Delta P$  0.001516729 bar  
 $\Delta H$  0.0155 m de fluide

**Résultats complémentaires**

Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Diamètre hydraulique	Dh	0.06666667	m
Section de passage	F0	0.005	m <sup>2</sup>
Rapport des cotés	b0/a0	0.5	
Rayon de courbure relatif	R0/b0	3.5	
Rapport longueur entre coudes / diamètre hydraulique	l0/Dh	1.5	
Rugosité relative	$\Delta$	0.00015	
Nombre de Reynolds	Re	66440.97	
Coefficient de friction pour section rectangulaire	$\lambda_{rect}$	0.0208327	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de friction (Diagram 6-2)	$\lambda_{ei}$	0.04368597	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de friction de Darcy (tuyau hydrauliquement lisse)	$\lambda_s$	0.01962486	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de correction de l'interaction (Diagram 6-20)	A	1.01642	
Coefficient perte pression (basé sur la vitesse moyenne coude)	$\zeta$	0.3038909	
Perte de puissance hydraulique	Wh	0.7583643	W
Longueur droite de perte de charge équivalente	Leq	0.9724804	m

## Références :

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