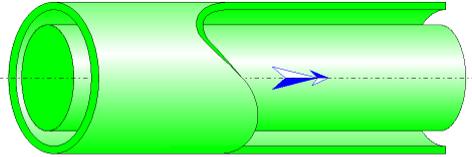




Tuyau rectiligne Section annulaire et parois à rugosité hétérogène (IDELCHIK)



Description du modèle :

Ce modèle de composant calcule la perte de charge régulière (chute de pression) d'une tuyauterie droite horizontale de section transversale annulaire et constante. En outre, l'écoulement est supposé entièrement développé et stabilisé.

La perte de charge est due au frottement du fluide sur les parois intérieures de la tuyauterie et est calculée avec la formule de Darcy. La rugosité des parois intérieures de la tuyauterie est supposée hétérogène (tuyauterie de type industrielle).

Le coefficient de friction de Darcy est déterminé :

- en régime d'écoulement laminaire par la loi de Hagen-Poiseuille (indépendant de la valeur de la rugosité relative),
- en régime d'écoulement turbulent par l'équation implicite de Colebrook-White (dépendant de la valeur de la rugosité relative),
- en régime critique par interpolation entre les coefficients de friction d'écoulement laminaire et turbulent.

Formulation du modèle :

Diamètre hydraulique (m) :

$$D_h = D_0 - d$$

Section transversale de passage (m²) :

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

Vitesse moyenne d'écoulement (m/s) :

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

Débit massique (kg/s) :

$$G = Q \cdot \rho$$

Volume de fluide dans le tuyau (m³) :

$$V = F_0 \cdot l$$

Masse de fluide dans le tuyau (kg) :

$$M = V \cdot \rho$$

Nombre de Reynolds :

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

Rugosité relative :

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

Excentricité relative :

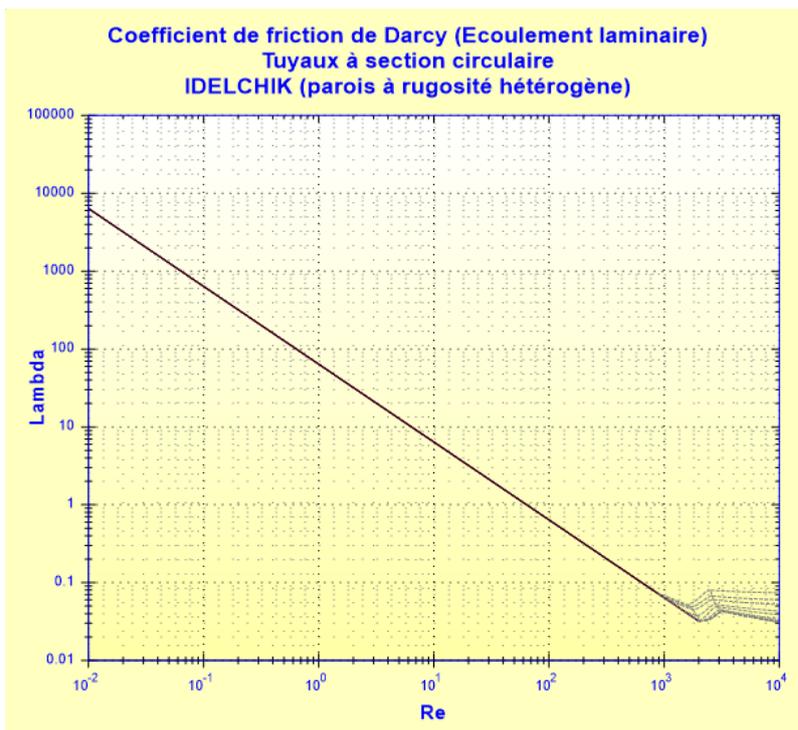
$$\bar{e} = \frac{2 \cdot e}{D_0 - d}$$

Coefficient de friction de Darcy pour section circulaire :

■ régime laminaire ($Re \leq Re_0$) :

loi de Hagen-Poiseuille

$$\lambda_{circ} = \frac{64}{Re} \quad ([1] \text{ diagramme 2.1})$$



■ régime turbulent - zone de transition et zone de turbulence complète ($Re \geq Re_2$) :
équation de Colebrook-White

$$\lambda_{circ} = \frac{1}{\left[2 \cdot \log \left(\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\bar{\Delta}}{3.7} \right) \right]^2}$$

([1] diagramme 2.4)

Nombre de Reynolds pour lequel le tuyau cesse d'être hydrauliquement lisse :

$$Re'_{lim} = \frac{15}{\bar{\Delta}}$$

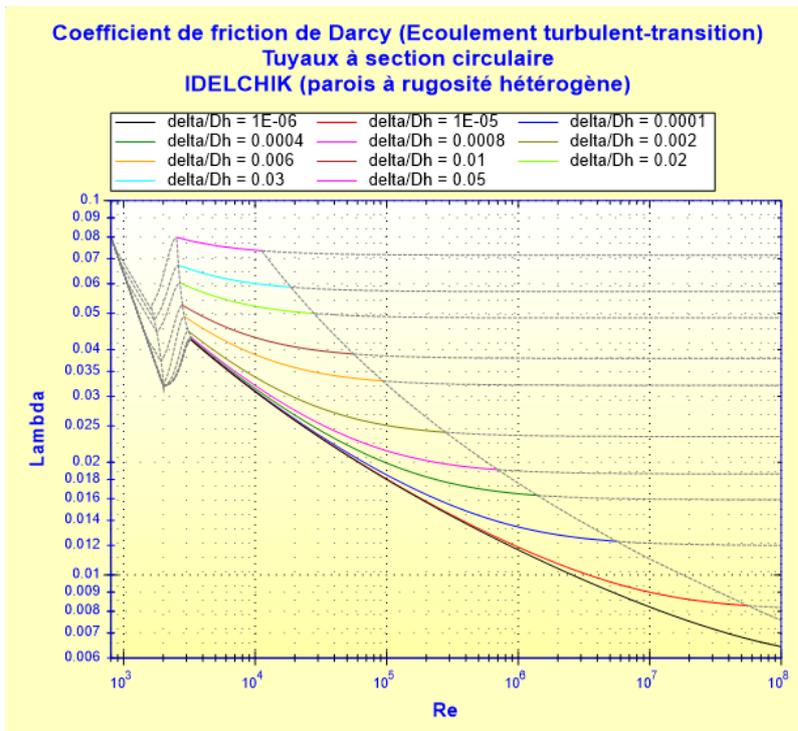
([1] §2.23)

Nombre de Reynolds correspondant au début de la turbulence complète :

$$Re''_{lim} = \frac{560}{\bar{\Delta}}$$

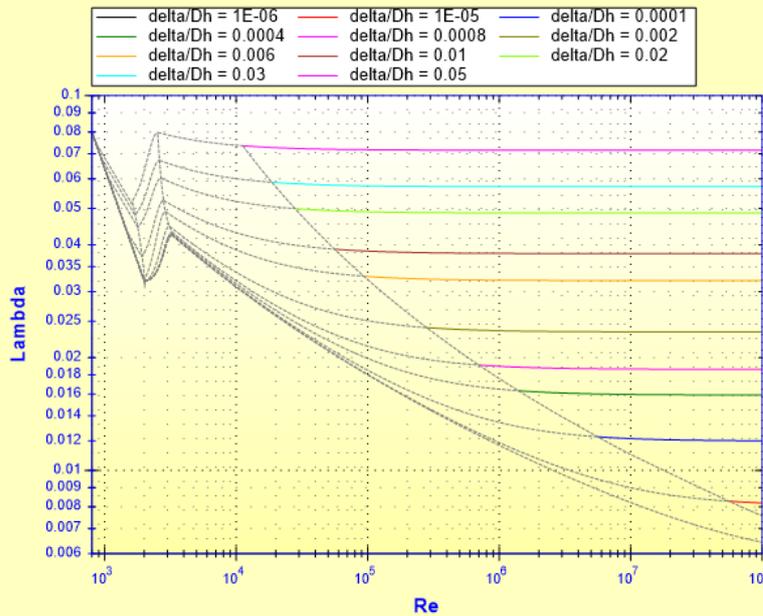
([1] diagramme 2.4)

Zone de transition



Zone de turbulence complète

**Coefficient de friction de Darcy (Ecoulement turbulent-quadratique)
Tuyaux à section circulaire
IDELCHIK (parois à rugosité hétérogène)**



■ régime critique ($Re_0 < Re < Re_2$) :

$$\lambda_{circ} = f(Re, \Delta) \quad ([1] \text{ diagramme 2.3})$$

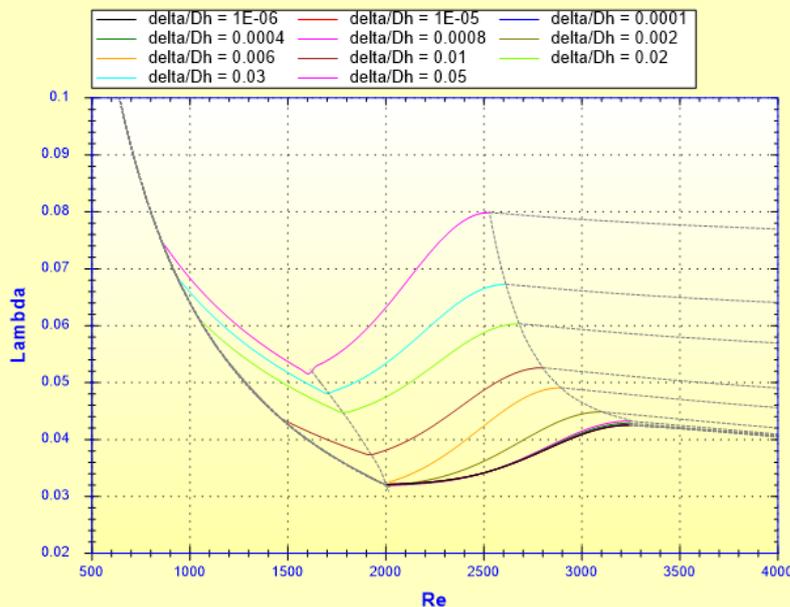
Nombre de Reynolds de début de la zone critique :

$$Re_0 = 754 \exp\left(\frac{0.0065}{\Delta}\right) \quad ([1] \text{ §2.21})$$

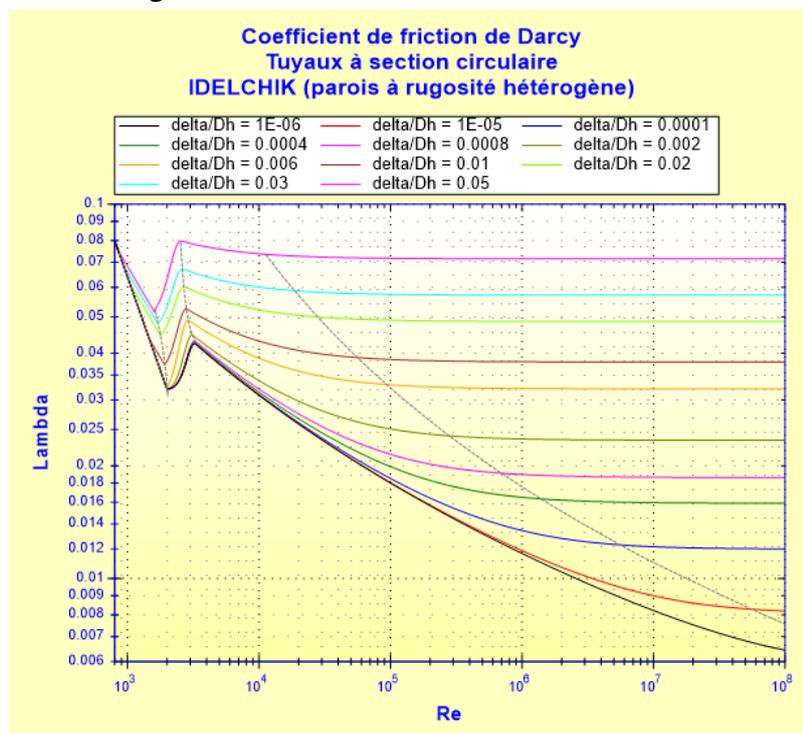
Nombre de Reynolds de fin de la zone critique :

$$Re_2 = 2090 \left(\frac{1}{\Delta}\right)^{0.0635} \quad ([1] \text{ §2.22})$$

**Coefficient de friction de Darcy (Zone critique)
Tuyaux à section circulaire
IDELCHIK (parois à rugosité hétérogène)**



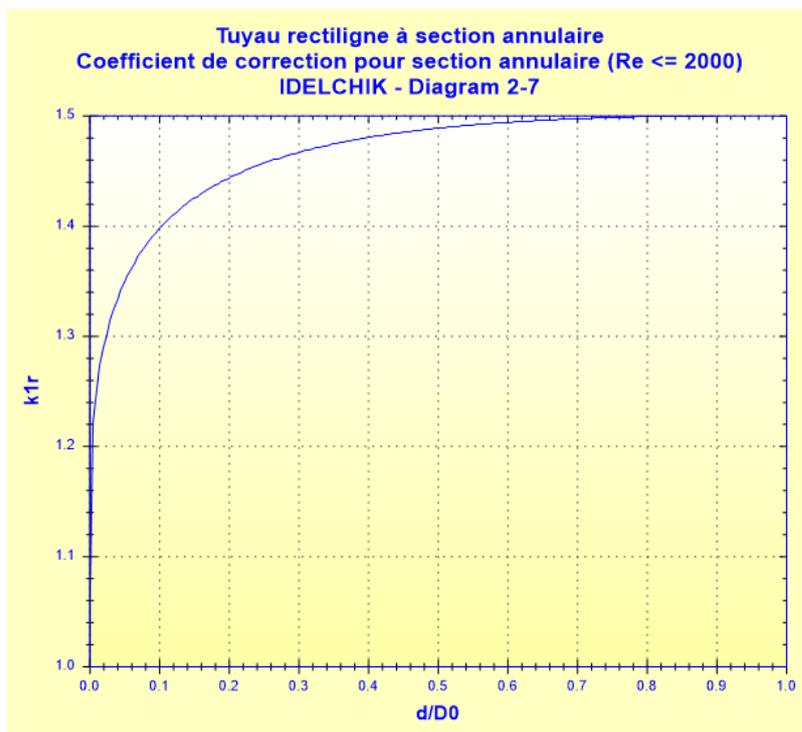
■ tous régimes d'écoulement :



Correction du coefficient de friction de Darcy pour section annulaire :

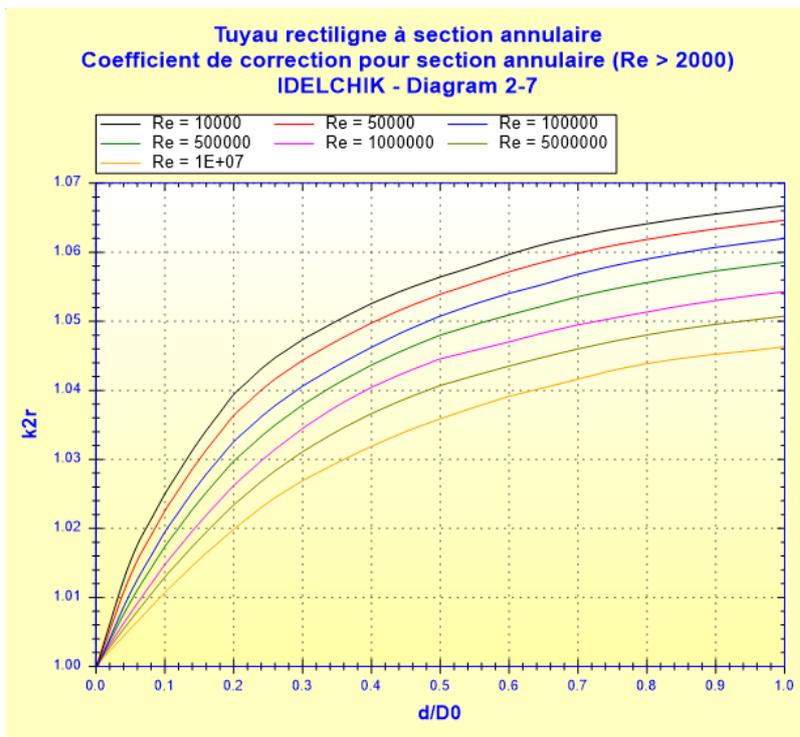
■ régime laminaire ($Re \leq 2000$) :

$$k_{1r} = f(d/D_0) \quad ([1] \text{ diagramme 2.7})$$



■ régime turbulent ($Re > 2000$) :

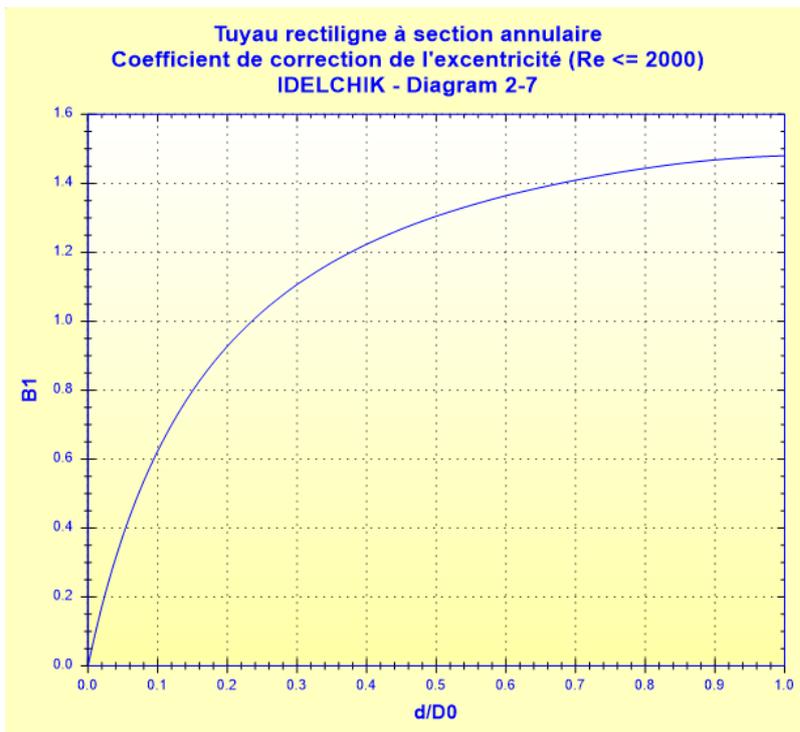
$$k_{2r} = f(d/D_0, Re) \quad ([1] \text{ diagramme 2.7})$$



Correction du coefficient de friction de Darcy pour l'excentricité des axes :

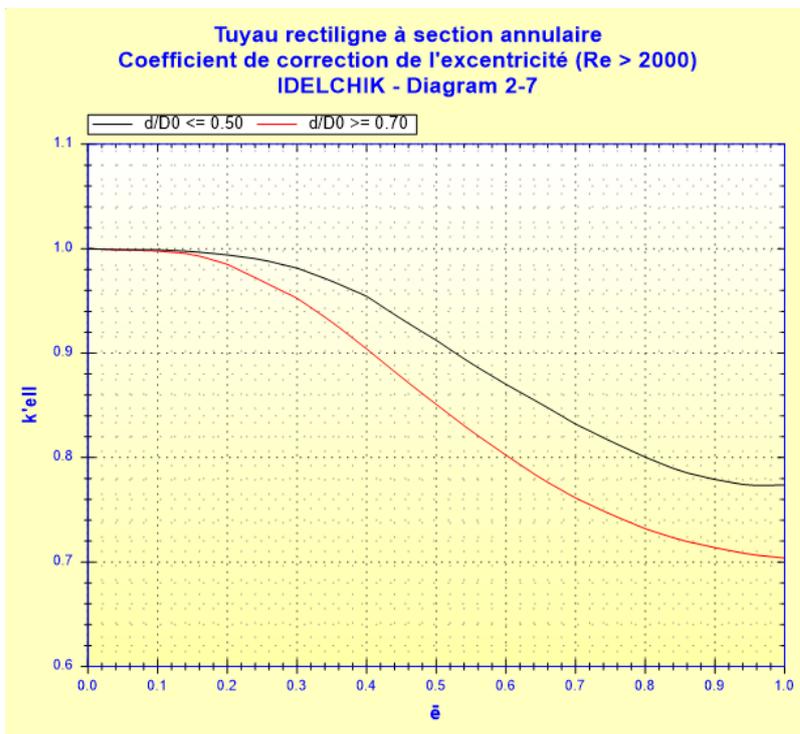
■ régime laminaire (Re ≤ 2000) :

$$B_1 = f(d/D_0) \quad ([1] \text{ diagramme 2.7})$$



■ régime turbulent (Re > 2000) :

$$k'_{ell} = f(\bar{e}, d/D_0) \quad ([1] \text{ diagramme 2.7})$$



Coefficient de friction de Darcy pour section annulaire :

- régime laminaire (Re ≤ 2000) :

$$\lambda_{annu} = \lambda_{circ} \cdot k_{1r} \cdot B_1$$

- régime turbulent (Re > 2000) :

$$\lambda_{annu} = \lambda_{circ} \cdot k_{2r} \cdot k'_{ell}$$

Correction totale du coefficient de friction de Darcy pour section non circulaire :

- régime laminaire (Re ≤ 2000) :

$$K_{non-c} = k_{1r} \cdot B_1$$

- régime turbulent (Re > 2000) :

$$K_{non-c} = k_{2r} \cdot k'_{ell}$$

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

$$\zeta = \lambda_{circ} \cdot k_{non-c} \cdot \frac{l}{D_h} \quad ([1] \text{ diagram 2.7})$$

Perte de pression totale (Pa) :

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot W_0^2}{2} \quad ([1] \text{ diagram 2.7})$$

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	Diamètre intérieur de l'anneau (m)
D ₀	Diamètre extérieur de l'anneau (m)
D _h	Diamètre hydraulique (m)
F ₀	Section transversale de passage (m ²)
Q	Débit volumique (m ³ /s)
w ₀	Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)
G	Débit massique (kg/s)
l	Longueur du tuyau (m)
V	Volume de fluide dans le tuyau (m ³)
M	Masse de fluide dans le tuyau (kg)
Re	Nombre de Reynolds ()
Δ	Rugosité absolue des parois intérieures du tuyau (m)
$\frac{\Delta}{D}$	Rugosité relative des parois intérieures du tuyau ()
e	Excentricité des tuyaux (m)
\bar{e}	Excentricité relative ()
λ_{circ}	Coefficient de friction de Darcy pour section circulaire ()
Re ₀	Nombre de Reynolds de début de la zone critique ()
Re ₂	Nombre de Reynolds de fin de la zone critique ()
Re' _{lim}	Limite du nombre de Reynolds pour loi hydrauliquement lisse ()
Re'' _{lim}	Limite du nombre de Reynolds pour loi quadratique ()
K _{1r}	Correction pour section non circulaire (régime laminaire) ()
K _{2r}	Correction pour section non circulaire (régime turbulent) ()
B ₁	Correction pour l'excentricité (régime laminaire) ()
K' _{ell}	Correction pour l'excentricité (régime turbulent) ()
λ_{annu}	Coefficient de friction de Darcy pour section annulaire ()
K _{non-c}	Correction du coefficient de friction de Darcy pour section non circulaire ()
ζ	Coefficient de perte de pression (basé sur la vitesse moyenne dans le tuyau) ()
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 :

- tout régime d'écoulement : laminaire, critique et turbulent ($Re \leq 10^8$)
nota : pour des nombres de Reynolds inférieurs à 10^4 ou supérieurs à 10^7 , le coefficient de correction 'k_{2r}' est extrapolé

- rugosité relative $\bar{\Delta} \leq 0.05$
- écoulement stabilisé

Exemple de données d'entrée et résultats :

HydrauCalc 2019b - [Tuyau rectiligne section annulaire et parois à rugosité hétérogène - 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.

Masse volumique (kg/m³) vs Température (°C) graph showing a decreasing trend from approximately 998 kg/m³ at 20°C to 950 kg/m³ at 100°C.

Caractéristiques géométriques

Aide Info Diagramme de Moody Calculer

Diagram showing a pipe with length $l = 1$ m, mass flow rate $\dot{M} = 4.9910$ kg/s, volumetric flow rate $Q = 0.005$ m³/s, average velocity $w_0 = 2.064$ m/s (Turbulent), relative roughness $\bar{\Delta} = 1.0E-05$ m, eccentricity $e = 0$ m, outer diameter $D_0 = 0.0703$ m, and inner diameter $d = 0.0431$ m.

Perte de pression $\Delta P = 0.01793669$ bar
 $\Delta H = 0.1832$ m de fluide

Résultats complémentaires

Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Diamètre hydraulique	D_h	0.0272	m
Section de l'anneau	F_0	0.002422545	m ²
Volume de l'anneau	V	0.002422545	m ³
Masse de fluide dans l'anneau	M	2.418199	kg
Rapport des diamètres	d/D_0	0.6130868	
Rugosité relative	$\bar{\Delta}$	0.0003676471	
Excentricité relative	e	0	
Nombre de Reynolds	Re	55949.25	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de friction pour section circulaire	λ_{circ}	0.02170587	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de correction pour section annulaire (Diag 2-7)	k_{2r}	1.057176	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de correction de l'excentricité (Diag 2-7)	k'_{ell}	1	
Coefficient de friction pour section annulaire	λ_{annu}	0.02294693	
Perte de pression linéique		0.01793669	bar/m
Coefficient perte pression (basé sur vitesse moyenne tuyau)	ζ	0.8436373	
Perte de puissance hydraulique	W_h	8.968347	W

Références :

[1] Handbook of Hydraulic Resistance, 3rd Edition, I.E. Idelchik (2008)