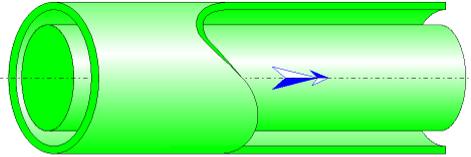




Tuyau rectiligne Section annulaire et parois à rugosité homogène (IDELCHIK)



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 uniforme (tuyauterie utilisée par Nikuradse pour ses données expérimentales).

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 de Nikuradse (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 (m^3) :

$$V = F_0 \cdot l$$

Masse de fluide dans le tuyau (kg) :

$$M = V \cdot \rho$$

Nombre de Reynolds :

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

Rugosité relative :

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

Excentricité relative :

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

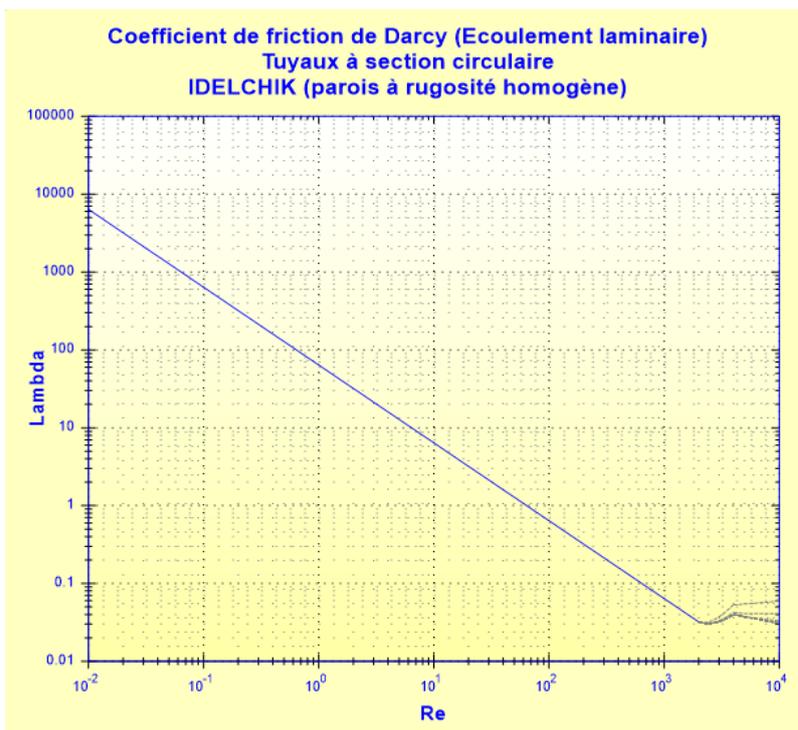
Coefficient de friction de Darcy pour section circulaire :

■ régime laminaire ($Re \leq 2000$) :

loi de Hagen-Poiseuille

$$\lambda_{circ} = \frac{64}{Re}$$

([1] diagramme 2.1)



■ régime turbulent - zone de transition et zone de turbulence complète ($Re \geq 4000$) :

équation de Nikuradse

$$\lambda_{circ} = \frac{1}{\left[a_1 + b_1 \cdot \log(\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}) + c_1 \cdot \log(\bar{\Delta}) \right]^2}$$

([1] diagramme 2.2)

où les valeurs de a_1 , b_1 et c_1 sont données ci-dessous :

$\bar{\Delta} \cdot \text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}$	a_1	b_1	c_1
3.6 - 10	-0.800	2.000	0.000
10 - 20	0.068	1.130	-0.870
20 - 40	1.538	0.000	-2.000
40 - 191.2	2.471	-0.588	-2.588
> 191.2	1.138	0.000	-2.000

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

$$\text{Re}'_{lim} = \frac{26.9}{\bar{\Delta}^{-1.143}}$$

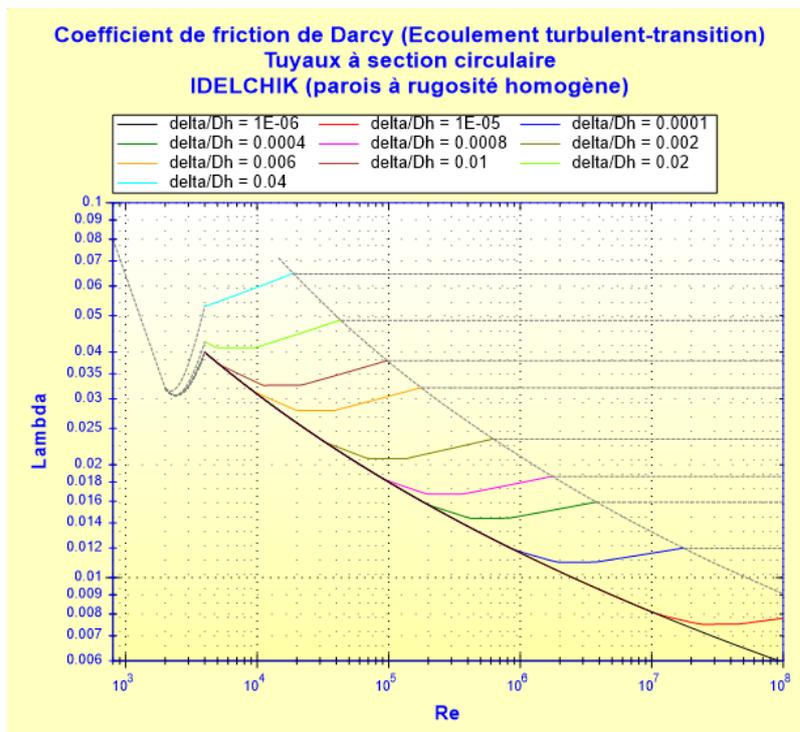
([1] §2.17)

Nombre de Reynolds correspondant au début de la turbulence complète :

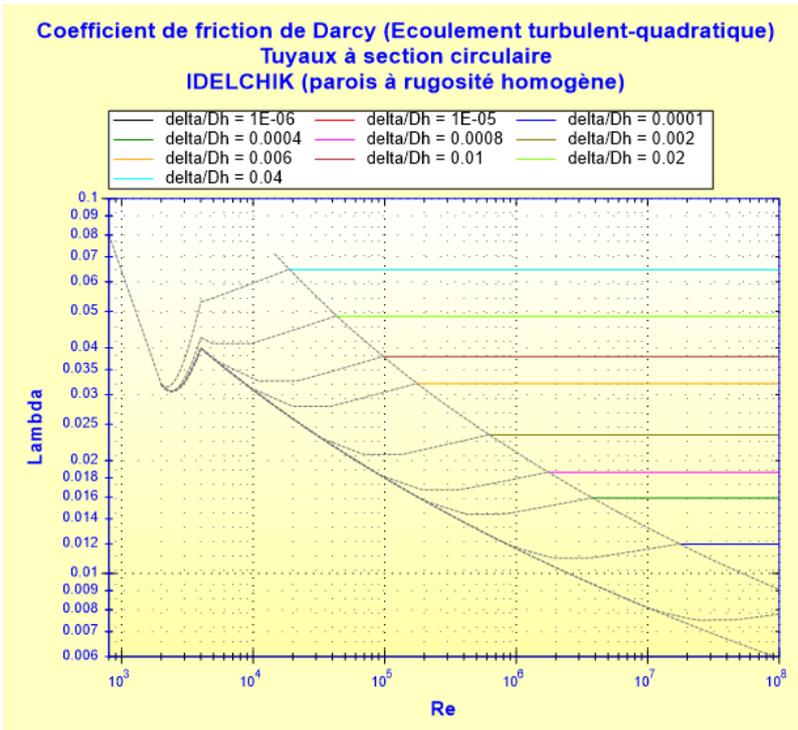
$$\text{Re}''_{lim} = \frac{217.6 - 382.4 \cdot \log(\bar{\Delta})}{\bar{\Delta}}$$

([1] diagramme 2.2)

Zone de transition



Zone de turbulence complète



■ régime critique ($2000 < Re < 4000$) :

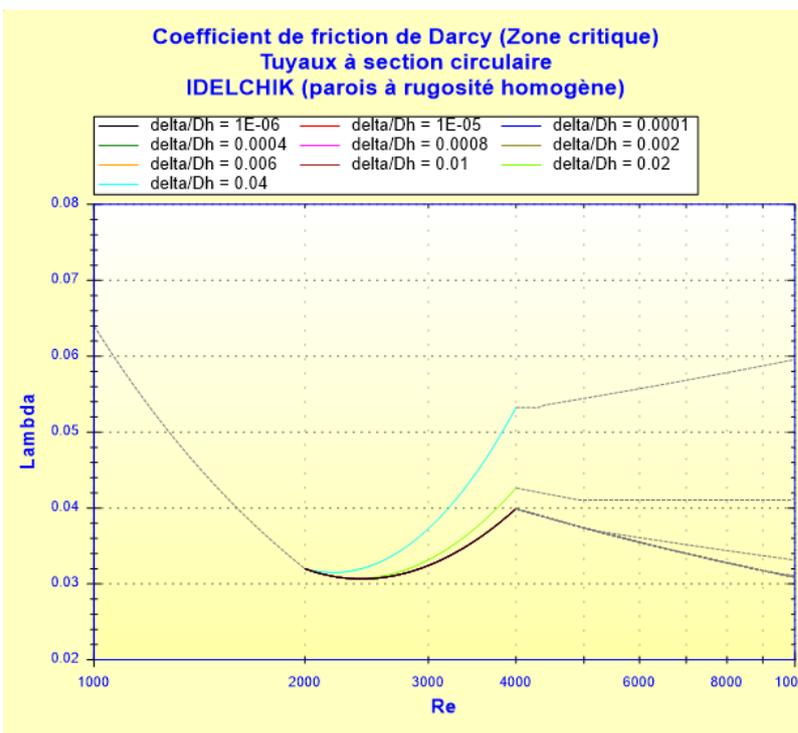
interpolation linéaire

$$\lambda_{circ} = \lambda_L \cdot \left(1 - \frac{Re - 2000}{2000}\right) + \lambda_T \cdot \left(\frac{Re - 2000}{2000}\right)$$

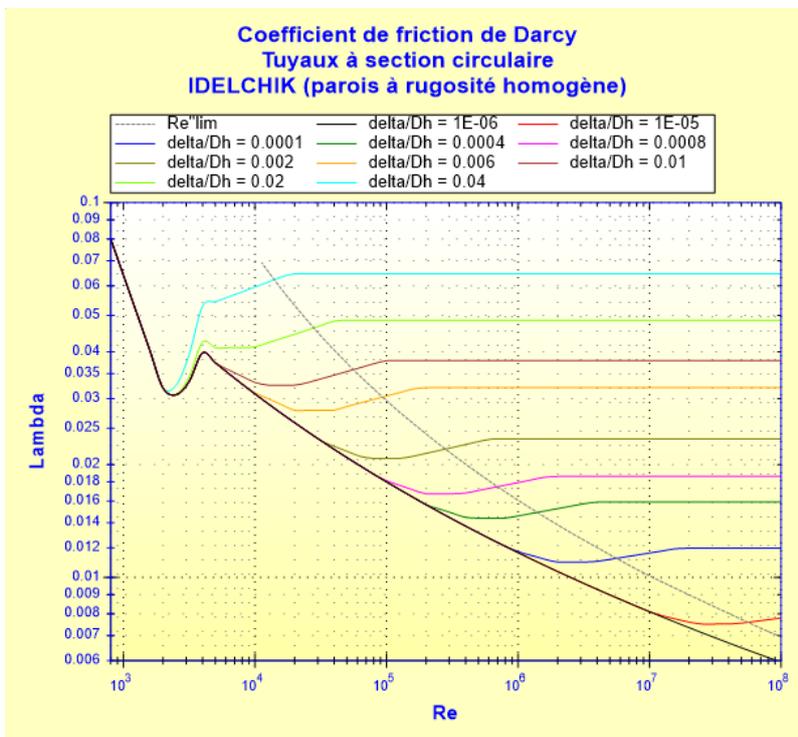
avec :

λ_L = coefficient de friction laminaire obtenu avec $Re = 2000$

λ_T = coefficient de friction turbulent obtenu avec $Re = 4000$



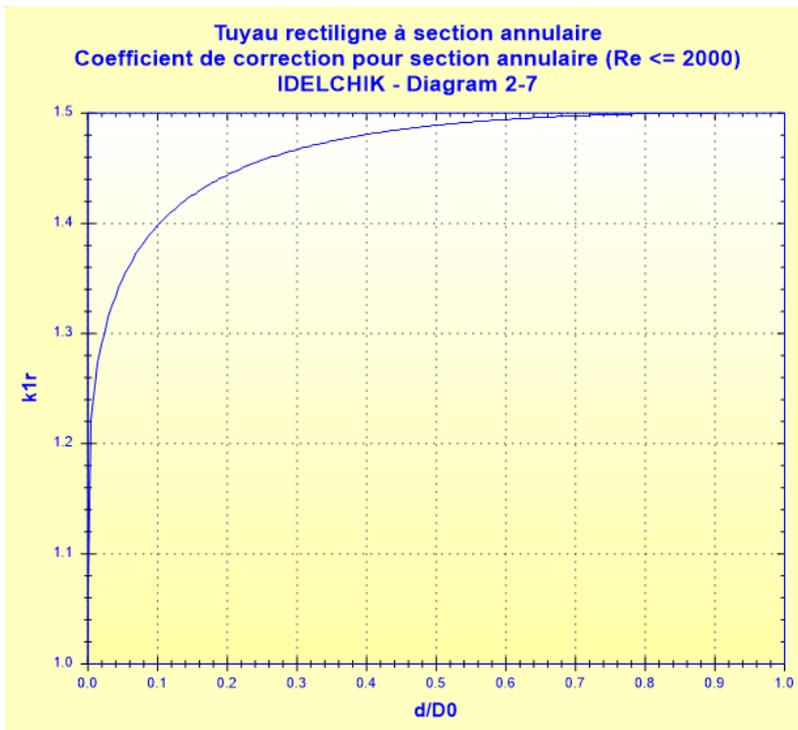
■ tous régimes d'écoulement :



Correction du coefficient de friction de Darcy pour section annulaire :

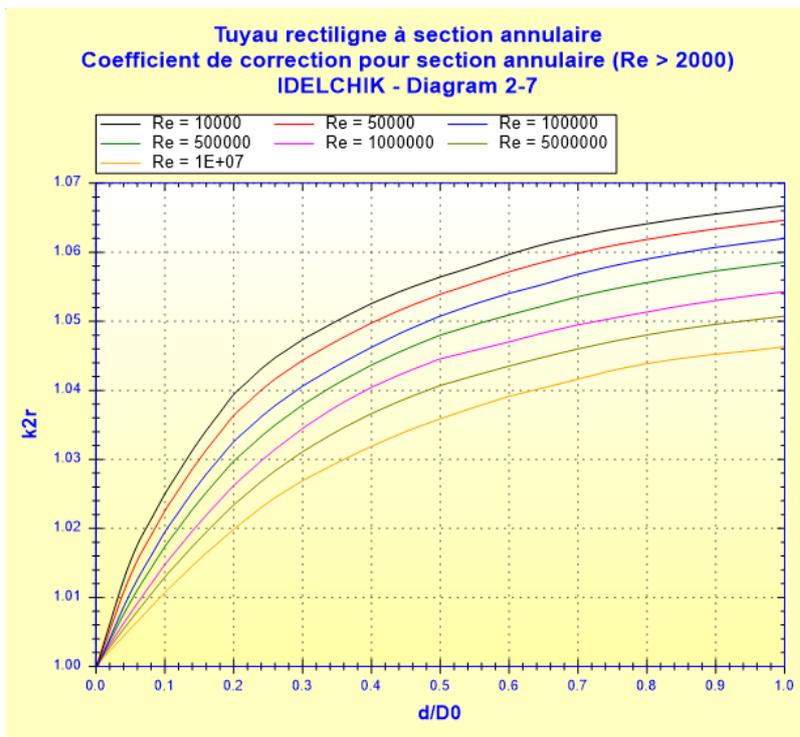
■ régime laminaire ($Re \leq 2000$) :

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



■ régime turbulent ($Re > 2000$) :

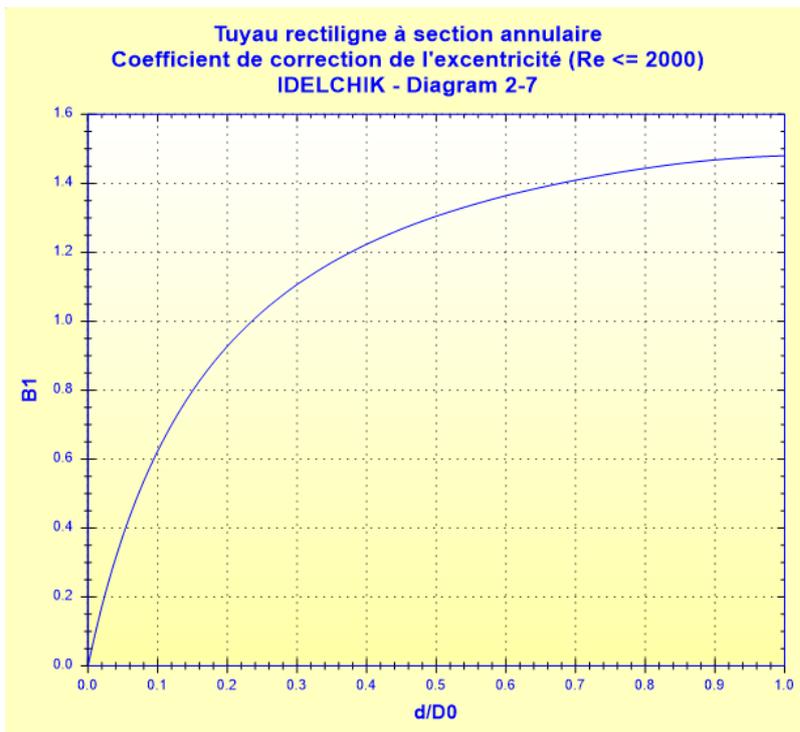
$$k_{2r} = f(d/D_0, Re) \quad ([1] \text{ diagramme 2.7})$$



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

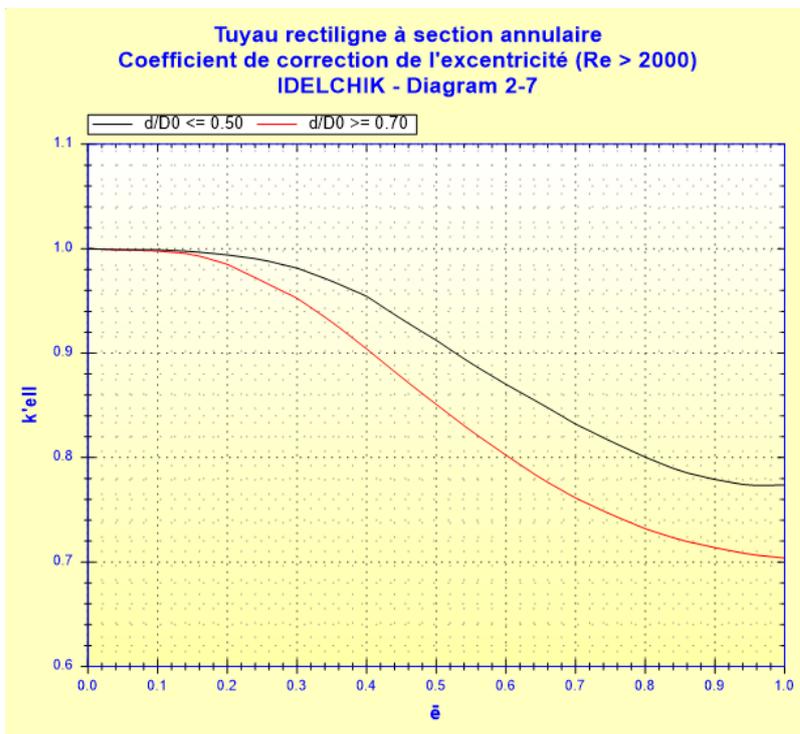
■ régime laminaire (Re ≤ 2000) :

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



■ 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)
$\bar{\Delta}$	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' _{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 homogène - 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 Diagramme de Moody Calculer

Perte de pression ΔP 0.01684124 bar
 ΔH 0.1720 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	Δ	0.0003676471	
Excentricité relative	\bar{e}	0	
Nombre de Reynolds	Re	55949.25	
<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient de friction pour section circulaire	λ_{circ}	0.02038022	
<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}	0.02154549	
Perte de pression linéique		0.01684124	bar/m
Coefficient perte pression (basé sur vitesse moyenne tuyau)	ζ	0.7921135	
Perte de puissance hydraulique	W_h	8.420619	W

Références :

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