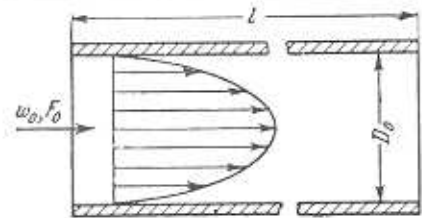
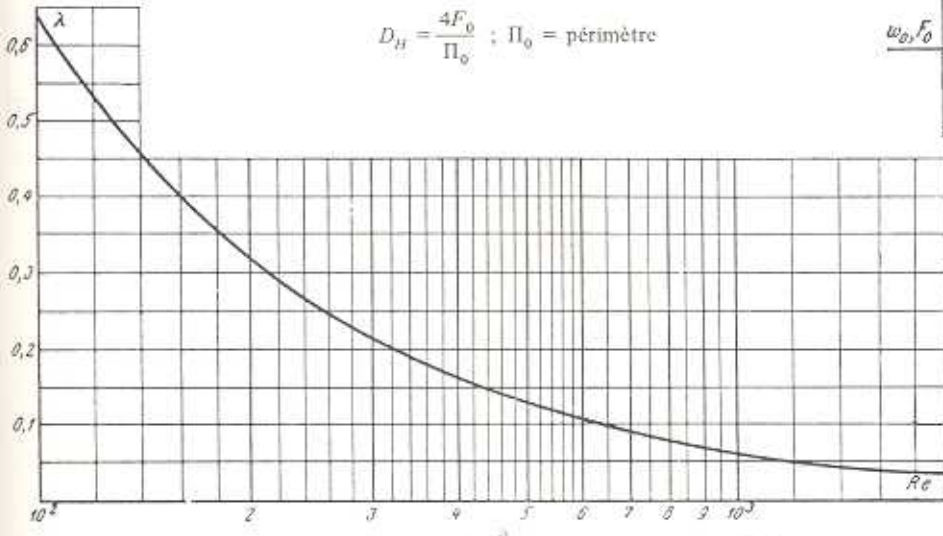


2.5. DIAGRAMMES DES COEFFICIENTS DE PERTE DE CHARGE PAR FROTTEMENT

Conduite (Canal). Coefficient de perte de charge par frottement en régime laminaire $Re < 2\ 000$

Chapitre II
Diagramme 2.1



1) Section circulaire :

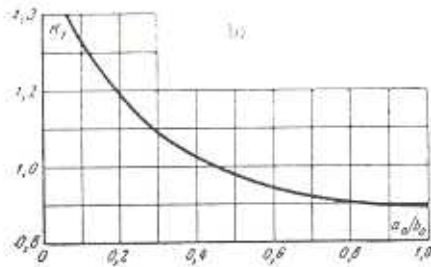
$$\lambda = \frac{\Delta H}{\frac{\gamma w_0^2}{2g} \cdot \frac{l}{D_H}} = \frac{64}{Re}$$

(graphique a).

2) Section rectangulaire (rapport des côtés a_0/b_0 compris entre 0 et 1) :

$$\lambda_{rect} = k_1 \lambda$$

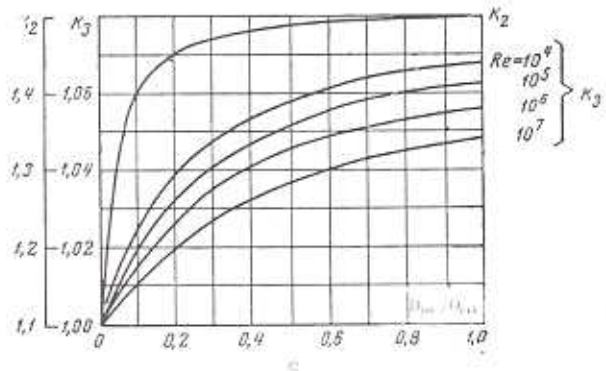
où k_1 est exprimé en fonction de a_0/b_0 sur le graphique b.



Re	100	200	300	400	500	600
λ	0,640	0,320	0,213	0,160	0,128	0,107
Re	700	800	900	1000	1100	1200
λ	0,092	0,080	0,071	0,064	0,058	0,053
Re	1300	1400	1500	1600	1700	1800
λ	0,049	0,046	0,043	0,040	0,038	0,036
Re	1900	2000				
λ	0,034	0,032				

a_0/b_0	k_1
0	1,50
0,1	1,34
0,2	1,20
0,4	1,02
0,6	0,94
0,8	0,90
1,0	0,89

$\frac{D_{int}}{D_{ext}}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
$Re < 2 \cdot 10^2$										
k_2	1,0	1,40	1,45	1,47	1,48	-	1,49	-	-	1,50
$Re = 10^3$										
k_2	1,0	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07
$Re = 10^4$										
k_2	1,0	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06
$Re = 10^5$										
k_2	1,0	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,05	1,06
$Re = 10^7$										
k_2	1,0	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05



3) Section annulaire (D_{int} diamètre du cylindre intérieur, D_{ext} diamètre du cylindre extérieur) :

$$\lambda_{ann} = k_2 \lambda,$$

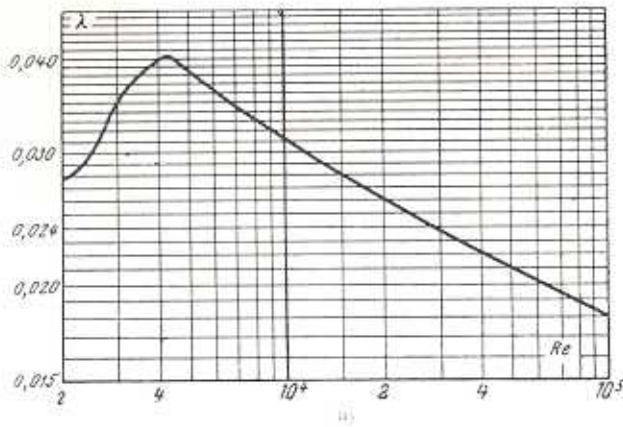
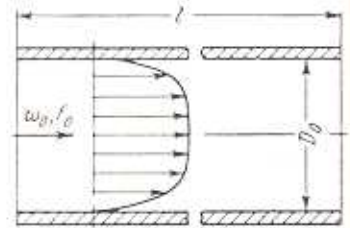
où k_2 est exprimé en fonction de D_{int}/D_{ext} sur le graphique c ; $Re = w_0 D_H / \nu$;

Les valeurs de ν sont données dans le paragraphe 1.3. b).

**Conduite (Canal) à parois lisses.
Coefficient de perte de charge par frottement pour $Re > 2000$**

**Chapitre II
Diagramme 2.2**

$$D_H = 4F_0/\Pi_0 ; \Pi_0 : \text{périmètre}$$



1) Section circulaire et rectangulaire ($a_0/b_0 \cong 0,5$ à 2).

1) $2000 \leq Re \leq 4000$. λ est déterminé d'après la graphique a).

2) $4000 < Re < 100000$

$$\lambda = \frac{\Delta H}{\frac{\gamma w_0^2 l}{2g D_H}} = \frac{0,3164}{\sqrt{Re}}$$

est déterminé d'après le graphique a).

3) $Re > 4000$

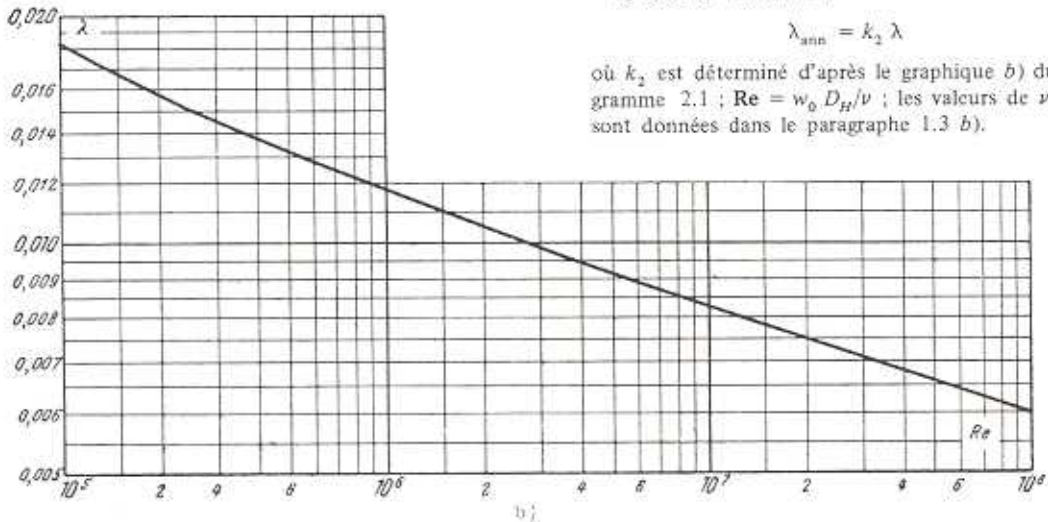
$$\lambda = \frac{\Delta H}{\frac{\gamma w_0^2 l}{2g D_H}} = \frac{1}{(1,8 \log Re - 1,64)^2}$$

est déterminé sur les graphiques a) et b).

2) Section annulaire :

$$\lambda_{ann} = k_2 \lambda$$

où k_2 est déterminé d'après le graphique b) du diagramme 2.1 ; $Re = w_0 D_H/\nu$; les valeurs de ν sont données dans le paragraphe 1.3 b).



Re	$2 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	10^4	$1,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	
λ	0,052	0,046	0,045	0,041	0,038	0,036	0,033	0,032	0,028	0,026	0,024	0,022	
Re	$5 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$	10^5	$1,5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	10^6	
λ	0,021	0,020	0,019	0,018	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	
Re	$1,5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^6$	10^7	$1,5 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	10^8
λ	0,011	0,011	0,010	0,010	0,009	0,009	0,008	0,008	0,008	0,007	0,007	0,007	0,006

Conduite (Canal) à rugosité homogène des parois
Coefficient de perte de charge par frottement pour $Re > 2000$

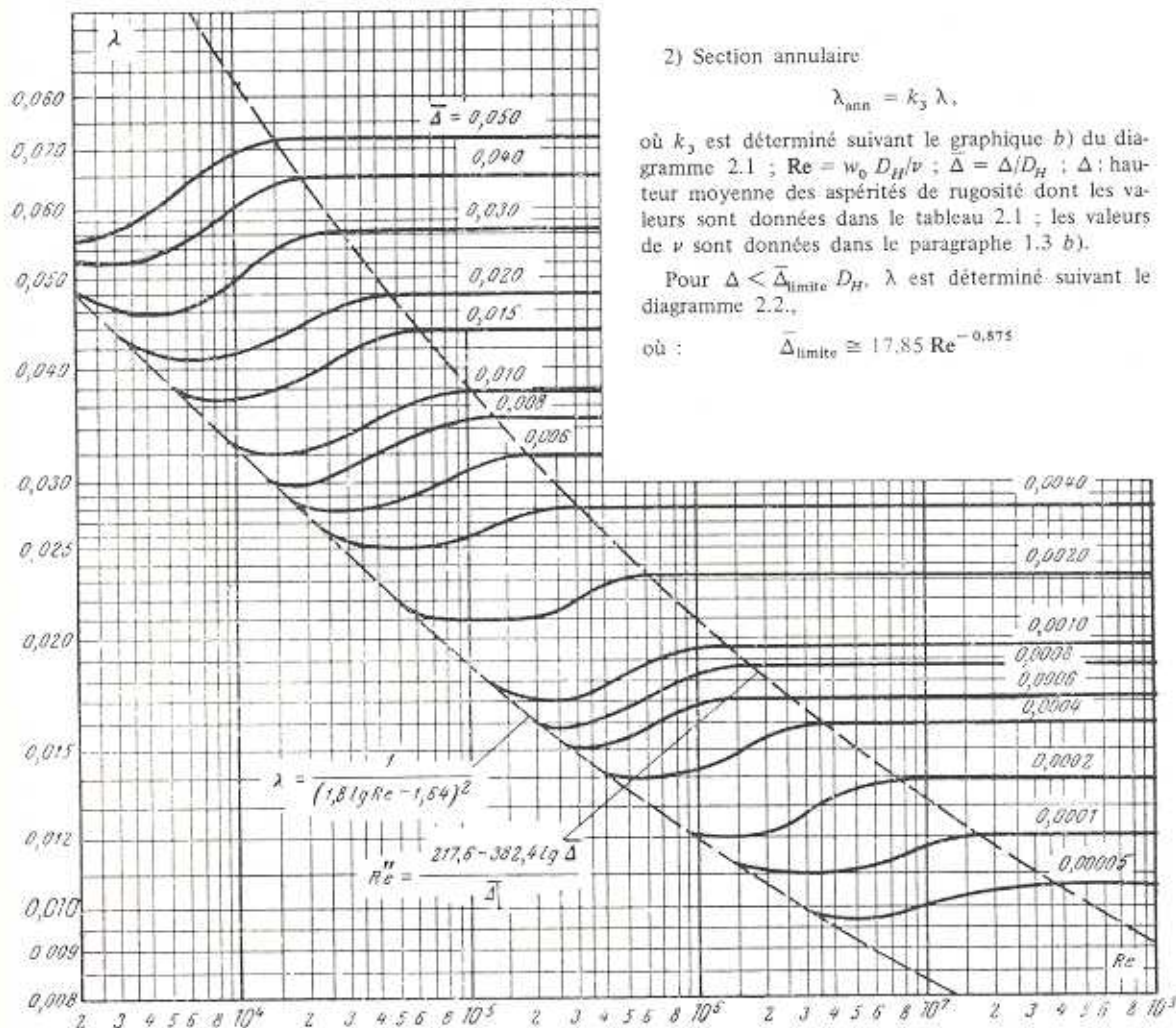
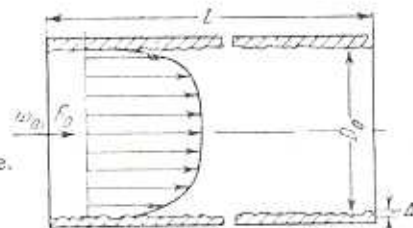
Chapitre II
Diagramme 2.3

1) Section circulaire et rectangulaire ($a_0/b_0 \cong 0,5$
à 2) :

$$\lambda = \frac{\Delta H}{\frac{\gamma w_0^2}{2g} \frac{l}{D_H}} = \frac{1}{[a_1 + b_1 \log(Re \sqrt{\lambda}) + c_1 \log \Delta]^2}$$

λ est déterminé suivant le graphique a) et le tableau 2.2 (Cf. page 70) ; les valeurs a_1, b_1, c_1 sont données dans le tableau ci-dessous.

$D_H = 4F_0/\Pi_0$; Π_0 : périmètre.



2) Section annulaire

$\lambda_{ann} = k_3 \lambda,$

où k_3 est déterminé suivant le graphique b) du diagramme 2.1 ; $Re = w_0 D_H/\nu$; $\Delta = \Delta/D_H$; Δ : hauteur moyenne des aspérités de rugosité dont les valeurs sont données dans le tableau 2.1 ; les valeurs de ν sont données dans le paragraphe 1.3 b).

Pour $\Delta < \bar{\Delta}_{limite} D_H$, λ est déterminé suivant le diagramme 2.2.,

où : $\bar{\Delta}_{limite} \cong 17,85 Re^{-0,875}$

$\bar{\Delta} Re \sqrt{\lambda}$	a_1	b_1	c_1
3,6 - 10	-0,800	2,000	0
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	-2,000

Conduite (Canal) à rugosité homogène des parois
 Coefficient de perte de charge par frottement pour $Re > 2\,000$
 (suite au diagramme 2.3)

Chapitre II

Tableau 2.2

Ce tableau donne les valeurs de λ pour diverses valeurs de $Re \geq 2 \cdot 10^3$ et pour diverses valeurs de $\bar{\Delta} = \Delta/D_H$ comprises entre 0,05 et 0,00005.

valeurs de λ

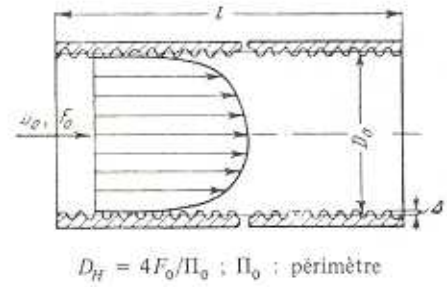
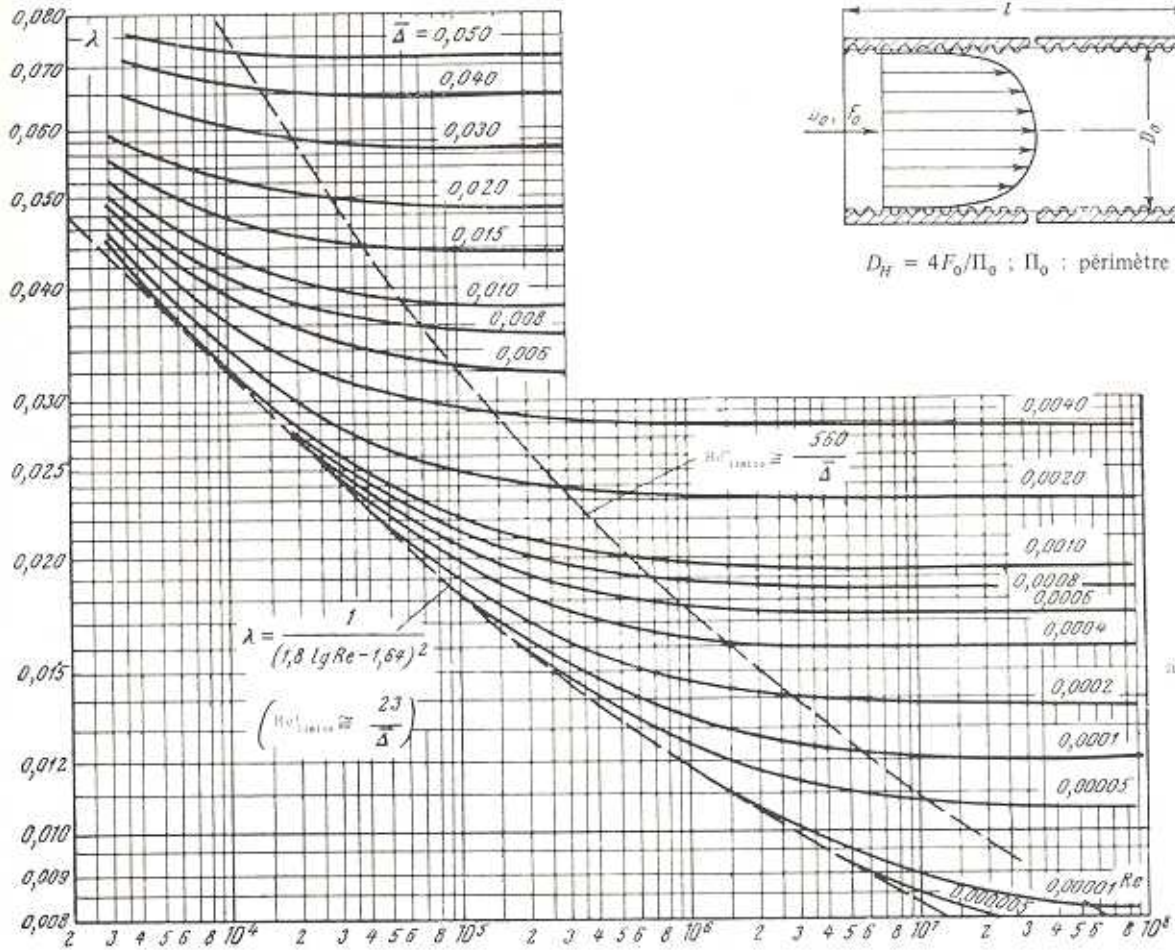
$\bar{\Delta} = \Delta/D_H \backslash Re$	$2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	10^4	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$
0,05	0,056	0,060	0,063	0,069	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072
0,04	0,053	0,053	0,055	0,060	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
0,03	0,048	0,046	0,046	0,050	0,056	0,057	0,057	0,057	0,057
0,02	0,048	0,042	0,041	0,042	0,044	0,048	0,049	0,049	0,049
0,015	0,048	0,042	0,038	0,037	0,039	0,042	0,044	0,044	0,044
0,010	0,048	0,042	0,038	0,033	0,032	0,035	0,036	0,038	0,038
0,008	0,048	0,042	0,038	0,033	0,030	0,032	0,033	0,035	0,035
0,006	0,048	0,042	0,038	0,033	0,028	0,028	0,029	0,030	0,032
0,004	0,048	0,042	0,038	0,033	0,027	0,025	0,025	0,026	0,028
0,002	0,048	0,042	0,038	0,033	0,027	0,023	0,021	0,021	0,021
0,001	0,048	0,042	0,038	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,017
0,0008	0,048	0,042	0,038	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,016
0,0006	0,048	0,042	0,038	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,016
0,0004	0,048	0,042	0,038	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,016
0,0002	0,048	0,042	0,038	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,016
0,0001	0,048	0,042	0,038	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,016
0,00005	0,048	0,042	0,038	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,016

valeurs de λ

$\bar{\Delta} = \Delta/D_H \backslash Re$	$4 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	10^6	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	10^7	$2 \cdot 10^7$	$> 10^8$
0,05	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072
0,04	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
0,03	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057
0,02	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049
0,015	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044
0,010	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038
0,008	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
0,006	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
0,004	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028
0,002	0,022	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
0,001	0,018	0,018	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
0,0008	0,016	0,017	0,018	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
0,0006	0,015	0,016	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
0,0004	0,014	0,014	0,014	0,015	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
0,0002	0,014	0,013	0,012	0,012	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014
0,0001	0,014	0,013	0,012	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012
0,00005	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011

Conduite (Canal) à rugosité hétérogène des parois
(Conduites industrielles). Coefficient de perte de charge par frottement

Chapitre II
Diagramme 2.4



1) Section circulaire ou rectangulaire ($a_0/b_0 = 0,5$ à 2)

$$\lambda = \frac{\Delta H}{\frac{\gamma w_0^2}{2g} \cdot \frac{l}{D_H}} = \frac{1}{\left[-2 \log \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,7} \right]^2}$$

ou dans l'intervalle $0,00008 < \Delta < 0,0125$:

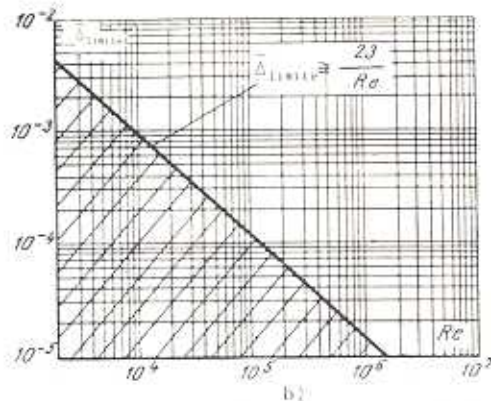
$$\lambda = 0,1 \left(1,46 \Delta + \frac{100}{Re} \right)^{0,25}$$

λ est déterminé suivant le graphique a) ou le tableau 2.3 (page 72).

2) Section annulaire :

$$\lambda_{ann} = k_3 \lambda$$

où k_3 est déterminé suivant le graphique c) du diagramme 2.1 ; $Re = w_0 D_H/\nu$; $\Delta = \Delta/D_H$; Δ : hauteur moyenne des aspérités de rugosité, dont les valeurs sont données dans le tableau 2.1 ; les valeurs de ν sont données dans le paragraphe 1.3, b).



Pour $\Delta < \Delta_{limite} D_H$, λ est déterminé suivant le diagramme 2.2 ; Δ_{limite} est déterminé sur le graphique b) en fonction de Re .

Conduite (Canal) à rugosité hétérogène (Conduites industrielles).
Coefficient de perte de charge par frottement pour $Re > 2000$
(suite au diagramme 2.4)

Chapitre II

Tableau 2.3

Ce tableau donne les valeurs de λ pour diverses valeurs de $Re \geq 3 \cdot 10^3$ et pour diverses valeurs de $\bar{\Delta} = \Delta/D_H$ comprises entre 0,05 et 0,000005.

valeurs de λ

Re $\bar{\Delta} = \Delta/D_H$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	10^4	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$
0,05	0,077	0,076	0,074	0,073	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072
0,04	0,072	0,071	0,068	0,067	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
0,03	0,065	0,064	0,062	0,061	0,059	0,057	0,057	0,057	0,057
0,02	0,059	0,057	0,054	0,052	0,051	0,050	0,049	0,049	0,049
0,015	0,055	0,053	0,050	0,048	0,046	0,045	0,044	0,044	0,044
0,010	0,052	0,049	0,046	0,043	0,041	0,040	0,039	0,038	0,038
0,008	0,050	0,047	0,044	0,041	0,038	0,037	0,036	0,035	0,035
0,006	0,049	0,046	0,042	0,039	0,036	0,034	0,033	0,033	0,032
0,004	0,048	0,044	0,040	0,036	0,033	0,031	0,030	0,030	0,028
0,002	0,045	0,042	0,038	0,034	0,030	0,027	0,026	0,026	0,024
0,001	0,044	0,042	0,037	0,032	0,028	0,025	0,024	0,023	0,021
0,0008	0,043	0,040	0,036	0,032	0,027	0,024	0,023	0,022	0,020
0,0006	0,040	0,040	0,036	0,032	0,027	0,023	0,022	0,021	0,018
0,0004	0,036	0,040	0,036	0,032	0,027	0,023	0,022	0,020	0,018
0,0002	0,036	0,040	0,036	0,032	0,027	0,022	0,021	0,019	0,017
0,0001	0,036	0,040	0,036	0,032	0,027	0,022	0,021	0,019	0,017
0,00005	0,036	0,040	0,036	0,032	0,027	0,022	0,021	0,019	0,016
0,00001	0,036	0,040	0,036	0,032	0,027	0,022	0,021	0,019	0,016
0,000005	0,036	0,040	0,036	0,032	0,027	0,022	0,021	0,019	0,016

valeurs de λ

Re $\bar{\Delta} = \Delta/D_H$	$4 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	10^6	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	10^7	$2 \cdot 10^7$	$> 10^8$
0,05	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072
0,04	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
0,03	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057
0,02	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049
0,015	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044
0,010	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038
0,008	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
0,006	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
0,004	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028
0,002	0,024	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
0,001	0,021	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
0,0008	0,020	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
0,0006	0,018	0,018	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
0,0004	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
0,0002	0,016	0,015	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
0,0001	0,015	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
0,00005	0,014	0,013	0,013	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
0,00001	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009
0,000005	0,014	0,013	0,012	0,011	0,009	0,009	0,009	0,008	0,008

Conduite (Canal) à parois rugueuses.
Coefficient de perte de charge par frottement
Régime de la loi quadratique de perte de charge ($Re_{lim} > 560/\bar{\Delta}$)

Chapitre II

Diagramme 2.5

1) Section circulaire et rectangulaire ($a_0/b_0 \cong 0,5$
à 2) :

$$\lambda = \frac{\Delta H}{\frac{\gamma w_0^2}{2g} \cdot \frac{l}{D_H}} = \frac{1}{\left(2 \log \frac{3,7}{\bar{\Delta}}\right)^2}$$

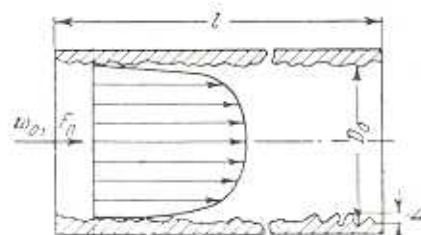
est déterminé sur la courbe $\lambda = f(\bar{\Delta})$

2) Section annulaire :

$$\lambda_{ann} = k_3 \lambda,$$

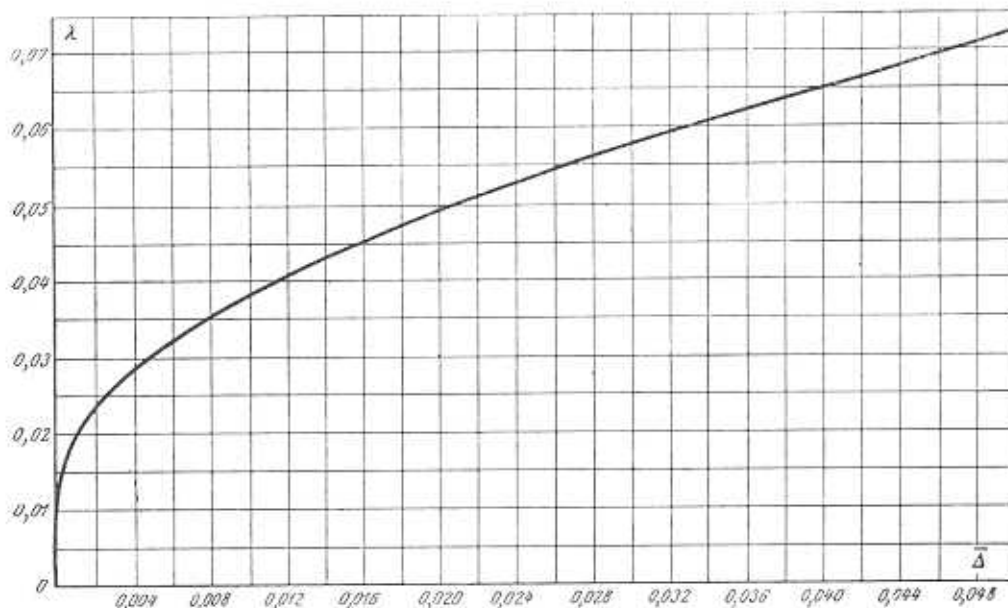
où k_3 est déterminé suivant le graphique c) du diagramme 2.1 ; $\bar{\Delta} = \Delta/D_H$; Δ : hauteur moyenne des aspérités de rugosité, dont les valeurs sont données dans le tableau 2.1 ;

Les valeurs de ν sont données dans le paragraphe 1.3, b).



$$D_H = 4F_0/\Pi_0 ; \Pi_0 : \text{périmètre}$$

$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{D_H}$	0,00005	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009	0,001	0,002		
λ	0,010	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019	0,020	0,023		
$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{D_H}$	0,003	0,004	0,005	0,006	0,008	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050
λ	0,026	0,028	0,031	0,032	0,035	0,038	0,044	0,049	0,053	0,057	0,061	0,065	0,068	0,072



Tuyau à joints soudés.
Coefficient de perte de charge par frottement

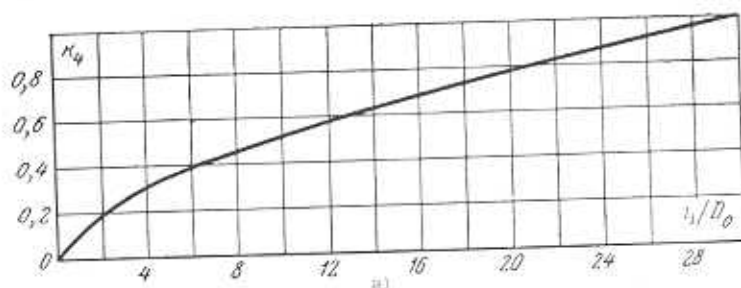
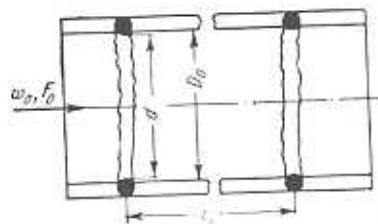
Chapitre II
Diagramme 2.6

$$\xi = \frac{\Delta H}{\frac{\gamma w_0^2}{2g}} = z \left(\lambda \frac{l_j}{D_0} + \xi_j \right)$$

où : z = nombre de joints dans le tronçon,

λ = coefficient de perte de charge par frottement, exprimé en fonction de $Re = w_0 D_0 / \nu$ et $\bar{\Delta} = \Delta / D_0$ dans les diagrammes 2.2 et 2.5,

ξ_j = coefficient de perte de charge d'un joint :



1) pour $l_j/D_0 < 30$,

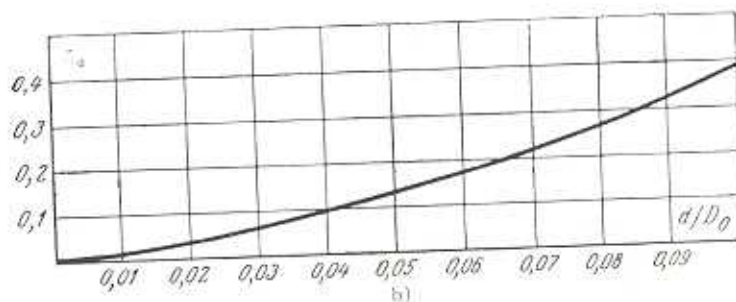
$$\xi_j = \Delta H \frac{\gamma w_0^2}{2g} = k_a \xi_d$$

où : k_a est déterminé sur le graphique a) en fonction de l_j/D_0 .

ξ_d est déterminé sur le graphique b) en fonction de d/D_0 .

l_j/D_0	k_a
4	0,30
8	0,45
12	0,58
16	0,68
20	0,78
24	0,87
30	1,00

d/D_0	ξ_d
0,01	0,015
0,02	0,035
0,03	0,06
0,04	0,09
0,05	0,13
0,06	0,17
0,07	0,27
0,08	0,26
0,09	0,32
0,10	0,38



2) pour $l_j/D_0 \geq 30$,

$$\xi_j = \Delta H \frac{\gamma w_0^2}{2g} = \xi_d$$