



The title (العنوان):

Guide d'hydraulique.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : P 627 KLM

APA Citation ( توثيق APA):

Klimov, V. (1981). Guide d'hydraulique. Institut d'hydretechnique Tipasa.

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بثمين لإنتاج العلمي لأساتذة باحثي المدرسة

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (طروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب...) بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا .

P 627 KLM/01

MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE

INSTITUT D'HYDROTECHNIQUE ET DE BONIFICATION

CHAIRE D'HYDRAULIQUE



المدرسة الوطنية العليا للري  
المكتبة  
رقم الجرد 0410/01  
التاريخ 31-12-2000

# GUIDE D'HYDRAULIQUE

Par V. KLIMOV

professeur d'hydraulique

TIPASA - 1981

المدرسة الوطنية العليا  
للري  
لا يستعار

Unités de mesure, utilisées dans l'hydraulique.

Grandeurs	Unités du Système International	Unités du système technique	Unités hors système
Accélération	$\frac{\text{m}}{\text{seconde}^2}$	$\frac{\text{m}}{\text{seconde}^2}$	
Charge	m	m	
Débit	$\frac{\text{m}^3}{\text{seconde}}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{seconde}}$	$\frac{\text{litre}}{\text{seconde}}$
Densité	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{kg-force} \times \text{seconde}^2}{\text{mètre}^4}$	$\frac{\text{kgfxs}^2}{\text{m}^4}$
Force, poids	N	kilogramme-force	kgf
Longueur	m	m	m
Masse	kg	$\frac{\text{kg-force} \times \text{seconde}^2}{\text{mètre}}$	$\frac{\text{kgfxs}^2}{\text{m}}$
Modul d'élasticité	Pa	$\frac{\text{kilogramme-force}}{\text{mètre}^2}$	$\frac{\text{kilogramme-force}}{\text{centimètre carré}}$
Poids spécifique	$\frac{\text{N}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{kilogramme-force}}{\text{mètre cube}}$	$\frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$
Pression, contrainte	Pa	$\frac{\text{kilogramme-force}}{\text{mètre carré}}$	$\frac{\text{kilogramme-force}}{\text{centimètre carré}}$
Surface	$\text{m}^2$	$\text{mètre carré}$	$\text{m}^2$
Temps	s	seconde	s

Grandeurs	Unités du Système International	Unités du système technique	Unités hors système
Travail, énergie	Joule J	kg-force x mètre kgf x m	
Viscosité dynamique	pascal-seconde Pa.s	$\frac{\text{kg-force} \cdot \text{seconde}}{\text{mètre}^2}$	Po (système CGS)
Viscosité cinématique	$\frac{\text{mètre}^2}{\text{seconde}}$	$\frac{\text{mètre}^2}{\text{seconde}}$	St (système CGS)
Vitesse	$\frac{\text{mètre}}{\text{seconde}}$	$\frac{\text{mètre}}{\text{seconde}}$	
Vitesse angulaire	$\frac{\text{radian}}{\text{seconde}}$		$\frac{\text{tour}}{\text{minute}}$
Volume	mètre cube m <sup>3</sup>	mètre cube m <sup>3</sup>	Litre l

RAPPORTS DES CERTAINES UNITES

- 1 kgf = 9,81 N
- 1 m<sup>2</sup> = 10000 cm<sup>2</sup>
- 1 m<sup>3</sup> = 1000 l
- 1 l = 1000 ml = 1000 cm<sup>3</sup>
- 1 St = 100 cst = 1 cm<sup>2</sup>/s = 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s
- 1 MPa = 1000 kPa = 1000000 Pa
- 1 kgf/cm<sup>2</sup> = 10000 kgf/m<sup>2</sup> = 98,1 kPa

Pression 1 kgf/cm<sup>2</sup> correspond à 10m de la colonne d'eau,

ou à 0,735m de la colonne de mercure



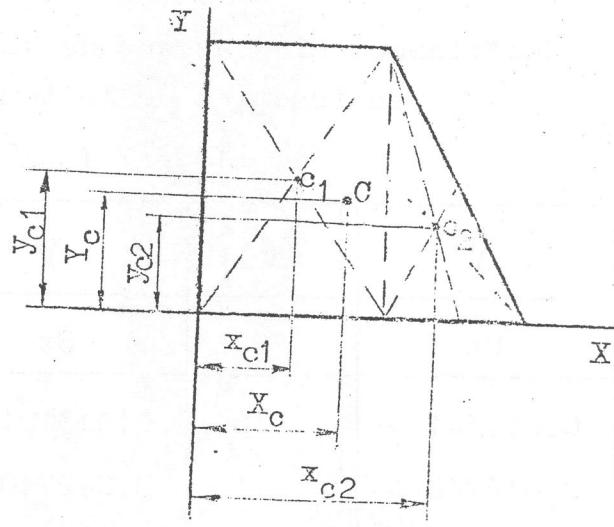
Caractéristiques mécaniques des certains corps  
physiques

Corps physique	Poids spécifique	Modul d'élasticité longitudinale E	Modul d'élasticité volumétrique K
	kN/m <sup>3</sup>	Pa	Pa
Eau	9,81		2,65 · 10 <sup>9</sup>
Eau de mer	10,10		2,70 · 10 <sup>9</sup>
Essence	6,87		1,45 · 10 <sup>9</sup>
Kérosène	7,46		1,40 · 10 <sup>9</sup>
Huile	7,85		1,35 · 10 <sup>9</sup>
Pétrole	7,85		1,35 · 10 <sup>9</sup>
Mercure	133,4		33,0 · 10 <sup>9</sup>
Liège	2,4		
Pin, bouleau	6,0	0,09 · 10 <sup>11</sup>	
Chêne	8,0	0,16 · 10 <sup>11</sup>	
Duralumin	27,0	0,70 · 10 <sup>11</sup>	
Acier	76,8	2,1 · 10 <sup>11</sup>	
Fonte	74,5	0,8 · 10 <sup>11</sup>	
Cuivre	88,0	1,1 · 10 <sup>11</sup>	
Plomb	111,0	0,17 · 10 <sup>11</sup>	
Béton	23,5	0,2 · 10 <sup>11</sup>	

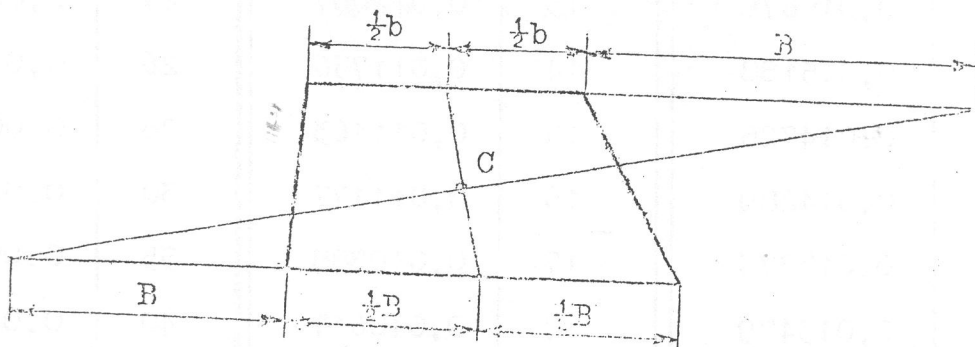
Détermination analytique des coordonnées  $X_c, Y_c$   
 du centre de gravité de la figure géométrique complexe

$$X_c = \frac{x_{c1} \cdot S_1 + x_{c2} \cdot S_2}{S_1 + S_2} \quad Y_c = \frac{y_{c1} \cdot S_1 + y_{c2} \cdot S_2}{S_1 + S_2}$$

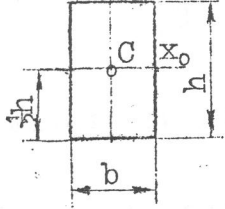
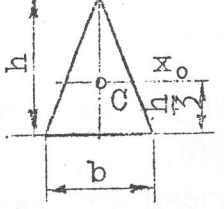
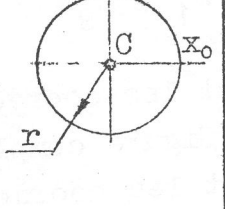
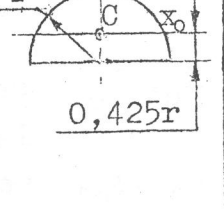
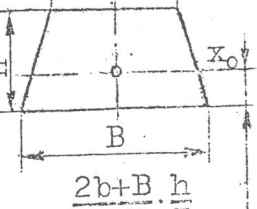
ou:  $X_c, Y_c$  sont les coordonnées du centre de gravité de la figure complexe,  
 $x_{c1}, y_{c1}$  sont les coordonnées du centre de gravité de la première (deuxième) composante de la figure,  
 $(x_{c2}, y_{c2})$  est la surface de la première (deuxième) composante de la figure,  
 $S_1 (S_2)$  sont les centres de gravité des composantes,  
 $C_1, C_2$  est le centre de gravité de la figure complexe,



Détermination graphique du centre de gravité du trapèze



Positions des centres de gravité C et moments d'inertie  $I_{x_0}$  des figures géométriques

	Rectangle	Triangle	Cercle	Demi-cercle	Trapèze
Dess.					
$I_{x_0}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi d^4}{64}$		

Coefficient cinématique de viscosité de l'eau  $\nu$  en fonction de la température

1 St = 1 cm<sup>2</sup>/s

T	$\nu$	T	$\nu$	T	$\nu$
°C	St	°C	St	°C	St
1	0,017321	10	0,013101	19	0,010356
2	0,016740	11	0,012740	20	0,010105
3	0,016193	12	0,012396	22	0,009892
4	0,015676	13	0,012067	24	0,009186
5	0,015188	14	0,011756	26	0,008774
6	0,014726	15	0,011463	28	0,008394
7	0,014289	16	0,011177	30	0,008032
8	0,013873	17	0,010888	35	0,007251
9	0,013479	18	0,010617	40	0,006587

Valeurs  $H = \frac{v^2}{2g}$

H en m, v en m/s

v	H	v	H	v	H	v	H
0,10	0,0005	1,10	0,062	2,10	0,225	3,10	0,490
0,20	0,002	1,20	0,073	2,20	0,247	3,20	0,522
0,30	0,005	1,30	0,086	2,30	0,270	3,30	0,555
0,40	0,008	1,40	0,100	2,40	0,294	3,40	0,589
0,50	0,013	1,50	0,115	2,50	0,319	3,50	0,624
0,60	0,018	1,60	0,130	2,60	0,345	3,60	0,661
0,70	0,025	1,70	0,147	2,70	0,372	3,70	0,698
0,80	0,033	1,80	0,165	2,80	0,400	3,80	0,736
0,90	0,041	1,90	0,184	2,90	0,429	3,90	0,775
1,00	0,051	2,00	0,204	3,00	0,459	4,00	0,816

Valeurs  $v = \sqrt{2gH}$

H en m, v en m/s

H	v	H	v	H	v	H	v
0,0001	0,044	0,0015	0,171	0,018	0,594	0,12	1,534
0,0002	0,063	0,0025	0,221	0,030	0,767	0,14	1,657
0,0003	0,077	0,0035	0,262	0,040	0,886	0,16	1,77
0,0004	0,089	0,0045	0,297	0,050	0,990	0,18	1,88
0,0005	0,099	0,0060	0,348	0,060	1,085	0,20	1,98
0,0006	0,108	0,0080	0,395	0,070	1,172	0,30	2,43
0,0007	0,117	0,010	0,443	0,080	1,253	0,40	2,80
0,0008	0,125	0,012	0,485	0,090	1,329	0,50	3,13
0,0009	0,133	0,014	0,524	0,100	1,401	0,60	3,43
0,0010	0,140	0,015	0,542	0,110	1,468	0,70	3,71

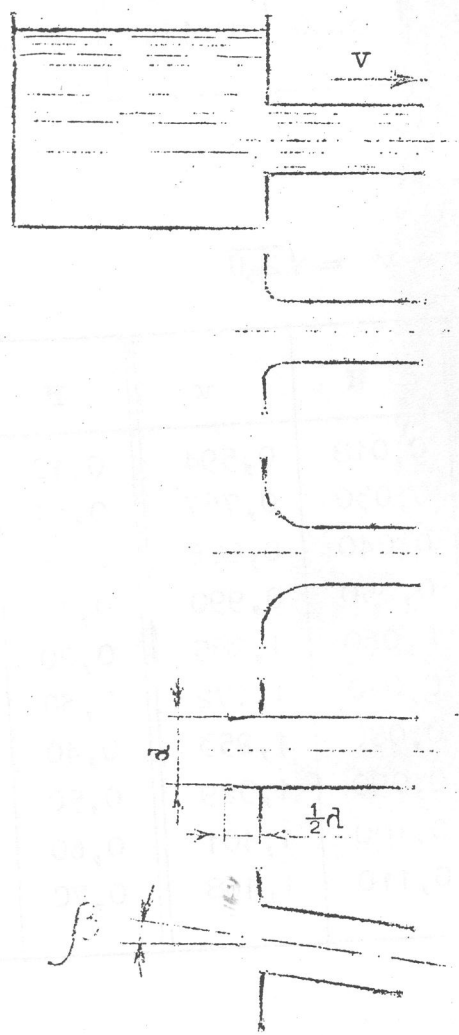


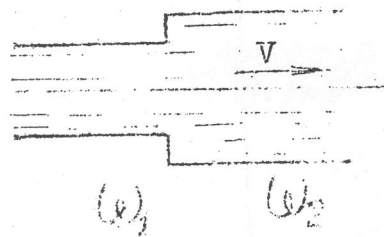
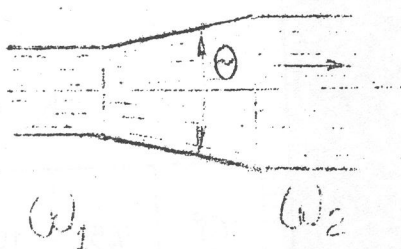
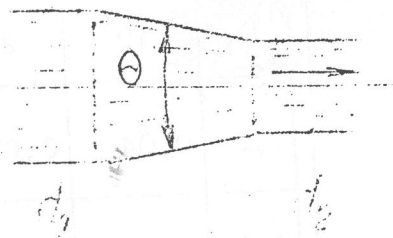
COEFFICIENTS DES RESISTANCES LOCALES

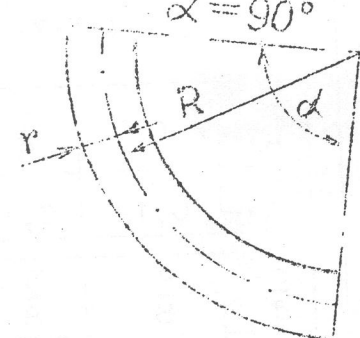
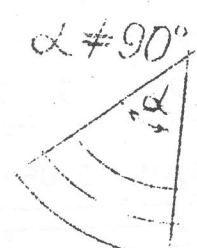
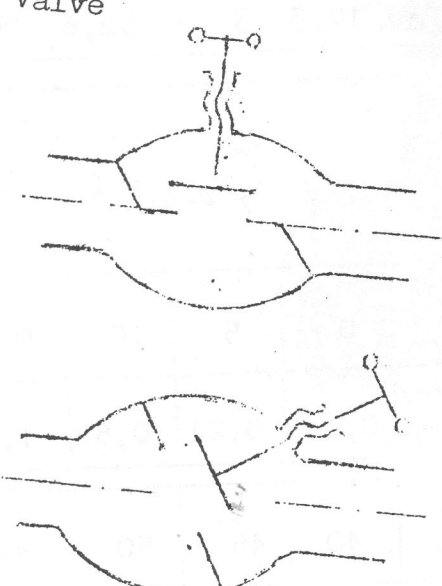
La perte de charge due à la résistance locale est calculée d'après la formule suivante

$$h = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

ou  $v$  - vitesse du liquide après la résistance  
(sauf le cas: la sortie de la conduite)

N°N°	Schéma de résistance	Coefficient de résistance
1	2	3
1	<p data-bbox="316 952 755 985">Entrée dans la conduite</p> 	<p data-bbox="1047 1097 1201 1153"><math>\zeta = 0,5</math></p> <p data-bbox="1047 1288 1201 1344"><math>\zeta = 0,2</math></p> <p data-bbox="1047 1512 1226 1568"><math>\zeta = 0,05</math></p> <p data-bbox="1047 1702 1226 1758"><math>\zeta = 0,61</math></p> <p data-bbox="868 1881 1477 1960"><math>\zeta = 0,5 + 0,303 \sin^2 \beta + 0,226 \sin^4 \beta</math></p>

1	2	3																				
2	<p>Elargissement brusque</p>  <p style="text-align: center;"><math>d_1</math>      <math>d_2</math></p>	$\zeta_{el} = \left( \frac{v_2}{v_1} - 1 \right)^2$																				
3	<p>Diffuseur</p>  <p style="text-align: center;"><math>d_1</math>      <math>d_2</math></p>	$\zeta_d = K_d \left( \frac{v_2}{v_1} - 1 \right)^2$ $K_d = f \left( \frac{d_1}{d_2}, \theta \right)$ <table border="1" data-bbox="917 1187 1534 1422"> <thead> <tr> <th><math>\theta^\circ</math></th> <th>7,5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>K_d</math></td> <td>0,14</td> <td>0,16</td> <td>0,27</td> <td>0,43</td> <td>0,81</td> </tr> </tbody> </table>	$\theta^\circ$	7,5	10	15	20	30	$K_d$	0,14	0,16	0,27	0,43	0,81								
$\theta^\circ$	7,5	10	15	20	30																	
$K_d$	0,14	0,16	0,27	0,43	0,81																	
4	<p>Confuseur</p>  <p style="text-align: center;"><math>d_1</math>      <math>d_2</math></p>	$\zeta_{con} = f \left( \frac{d_1}{d_2}, \theta \right)$ <table border="1" data-bbox="909 1680 1542 2094"> <thead> <tr> <th><math>\frac{d_1}{d_2} \backslash \theta^\circ</math></th> <th>10°</th> <th>20°</th> <th>30°</th> <th>40°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>0,04</td> <td>0,05</td> <td>0,07</td> <td>0,08</td> </tr> <tr> <td>2,0</td> <td>0,07</td> <td>0,09</td> <td>0,12</td> <td>0,14</td> </tr> <tr> <td>3,0</td> <td>0,08</td> <td>0,10</td> <td>0,14</td> <td>0,17</td> </tr> </tbody> </table>	$\frac{d_1}{d_2} \backslash \theta^\circ$	10°	20°	30°	40°	1,2	0,04	0,05	0,07	0,08	2,0	0,07	0,09	0,12	0,14	3,0	0,08	0,10	0,14	0,17
$\frac{d_1}{d_2} \backslash \theta^\circ$	10°	20°	30°	40°																		
1,2	0,04	0,05	0,07	0,08																		
2,0	0,07	0,09	0,12	0,14																		
3,0	0,08	0,10	0,14	0,17																		

1	2	3																								
8	<p>Coude circulaire <math>\alpha = 90^\circ</math></p> 	<p><math>\xi = f \left( \frac{r}{R} \right)</math></p> <table border="1" data-bbox="941 616 1575 806"> <tr> <td><math>\frac{r}{R}</math></td> <td>0,1</td> <td>0,2</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td><math>\xi_{\text{cir}}</math></td> <td>0,131</td> <td>0,138</td> <td>0,158</td> <td>0,206</td> <td>0,294</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="941 806 1575 985"> <tr> <td><math>\frac{r}{R}</math></td> <td>0,6</td> <td>0,7</td> <td>0,8</td> <td>0,9</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td><math>\xi_{\text{cir}}</math></td> <td>0,440</td> <td>0,661</td> <td>0,977</td> <td>1,408</td> <td>1,978</td> </tr> </table>	$\frac{r}{R}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	$\xi_{\text{cir}}$	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294	$\frac{r}{R}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	$\xi_{\text{cir}}$	0,440	0,661	0,977	1,408	1,978
$\frac{r}{R}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5																					
$\xi_{\text{cir}}$	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294																					
$\frac{r}{R}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0																					
$\xi_{\text{cir}}$	0,440	0,661	0,977	1,408	1,978																					
9	<p>Coude circulaire <math>\alpha \neq 90^\circ</math></p> 	<p><math>\xi_{\text{cir}} = \xi_{\text{cir}90^\circ} \times \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}</math></p> <p><math>\xi_{\text{cir}} \Rightarrow</math> voir p. 8</p>																								
10	<p>Valve</p> 	<p><math>\xi_v = 3 \dots 5,5</math></p> <p><math>\xi_v = 1,4 \dots 1,9</math></p>																								

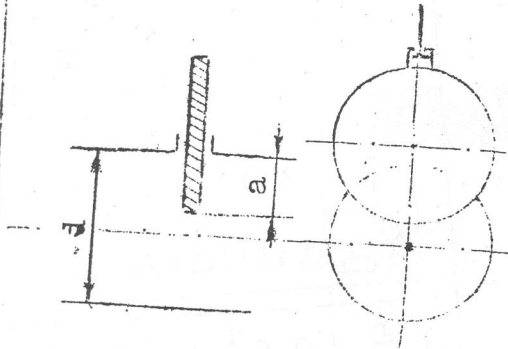
1

2

3

11

Robinet vanne

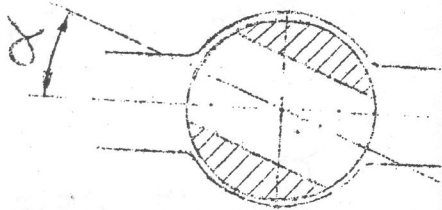


$$\zeta_{r.v.} = f \left( \frac{a}{d} \right)$$

$\frac{a}{d}$	0	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$
$\zeta_{rv}$	0,12	0,16	0,26	0,81
$\frac{a}{d}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$
$\zeta_{rv}$	2,06	5,25	17,0	97,8

12

Robinet à boisseau

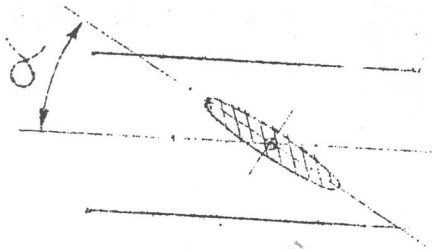


$$\zeta_{r.b.} = f(\alpha)$$

$\alpha^\circ$	0	5	10	20	30
$\zeta_{rb}$	0,01	0,05	0,29	1,56	5,47
$\alpha^\circ$	40	45	50	60	65
$\zeta_{rb}$	17,3	31,2	52,6	206	490

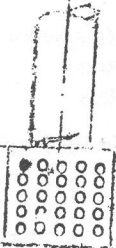
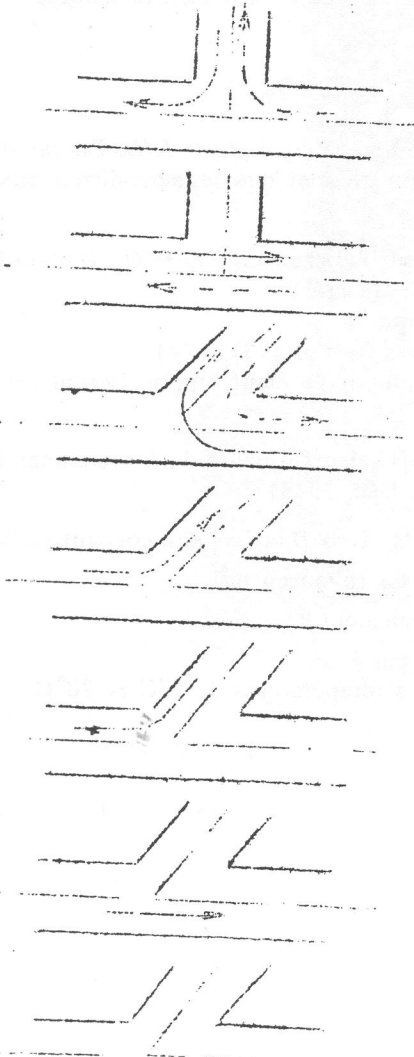
13

Robinet papillon



$$\zeta_{r.p.} = f(\alpha)$$

$\alpha^\circ$	0	5	10	20	30
$\zeta_{rp}$	0,1	0,24	0,52	1,54	3,9
$\alpha^\circ$	40	45	50	60	70
$\zeta_{rp}$	10,8	18,7	32,6	118	750

1	2	3
14	<p>Clapet antiretour à crépine</p> 	<p><math>\zeta_{cl} = 10</math></p> <p>Sans clapet antiretour</p> <p><math>\zeta_{cr} = 5...6</math></p>
15	<p>Branchements</p> 	<p><math>\zeta = 1,5</math></p> <p><math>\zeta = 0,1</math></p> <p><math>\zeta = 3,0</math></p> <p><math>\zeta = 1,0</math></p> <p><math>\zeta = 0,5</math></p> <p><math>\zeta = 0,15</math></p>

LA FORMULE DE COLEBROOK

$$\frac{J}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{K}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right] \quad (1)$$

détermine le coefficient de perte de charge  $\lambda$  qui, reporté dans la formule universelle :

$$J = \lambda \frac{U^2}{2gD} \quad (2)$$

donne la perte de charge  $J$  en mètres par mètre.

Les variables entrant dans ces formules sont :

$D$  : Diamètre de la conduite en mètres.

$U$  : Vitesse moyenne du fluide considéré en mètres par seconde.

$K$  : Coefficient de rugosité des parois en mètres.

$Re$  : Nombre de Reynolds relatif à l'écoulement du fluide considéré.

$$Re = \frac{UD}{\nu} \times 10^4 \quad \left\{ \begin{array}{l} U \text{ en mètres/seconde} \\ D \text{ en mètres} \\ \nu \text{ en stokes} \end{array} \right. \quad (3)$$

$\nu$  : Coefficient de viscosité cinématique du fluide. Pour un liquide incompressible donné  $\nu$  est fonction de la température centigrade  $\theta$ . Pour l'eau :

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 + 0,0368 \theta + 0,000221 \theta^2} \quad (\nu_0 = 0,018 \text{ stokes}) \quad (4)$$

La formule de Colebrook tient compte à la fois de la rugosité des parois et de la viscosité du fluide transporté. Elle présente donc un caractère général et offre à ce titre un intérêt considérable. Les difficultés résultant de sa forme logarithmique disparaissent par l'emploi d'abaques tels que ceux présentés ci-après.

UTILISATION DES ABAQUES

ABAQUE I. — Il traduit la formule (1).  $\lambda$  est lu sur l'alignement :  $Re \leftrightarrow K/D$ . En cas d'imprécision pour les faibles valeurs de  $\lambda$ , utiliser les abaques I<sup>BIS</sup> ou I<sup>TER</sup> qui ne sont que des agrandissements successifs de la partie inférieure de l'abaque I.

Point Re  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Eau à } 10^\circ\text{C ou à } 15^\circ\text{C. — } Re \text{ est lu directement sur l'alignement : } D \leftrightarrow U \text{ (} U \text{ étant lue sur l'échelle correspondant à la température désirée)} \\ \text{Eau à } 5^\circ\text{C ou à } 20^\circ\text{C. — } Re \text{ est donné par l'abaque II.} \\ \text{Eau à d'autres températures. — Calculer } Re \text{ par les formules (3) et (4).} \\ \text{Autres fluides. — Calculer } Re \text{ par la formule (3) } \nu \text{ étant supposé connu par ailleurs.} \end{array} \right.$

Point K/D  $\left\{ \begin{array}{l} K/D \text{ est lu sur l'alignement } D \leftrightarrow K. \\ \text{Sur l'échelle de rugosité } K, \text{ sont repérées les trois valeurs usuelles de } K \text{ recommandées par MM. Koch et Vibert (Technique Sanitaire et Municipale, Nov. Déc. 1948)} \end{array} \right.$

ABAQUE II. — Il traduit la formule (2). Les alignements :  $U \leftrightarrow D$  et  $J \leftrightarrow \lambda$  se coupent sur la charnière.

L'échelle  $D$  comporte une graduation  $S =$  section du tuyau en  $m^2$ .

Le prolongement de l'alignement  $U \leftrightarrow D$  donne également :

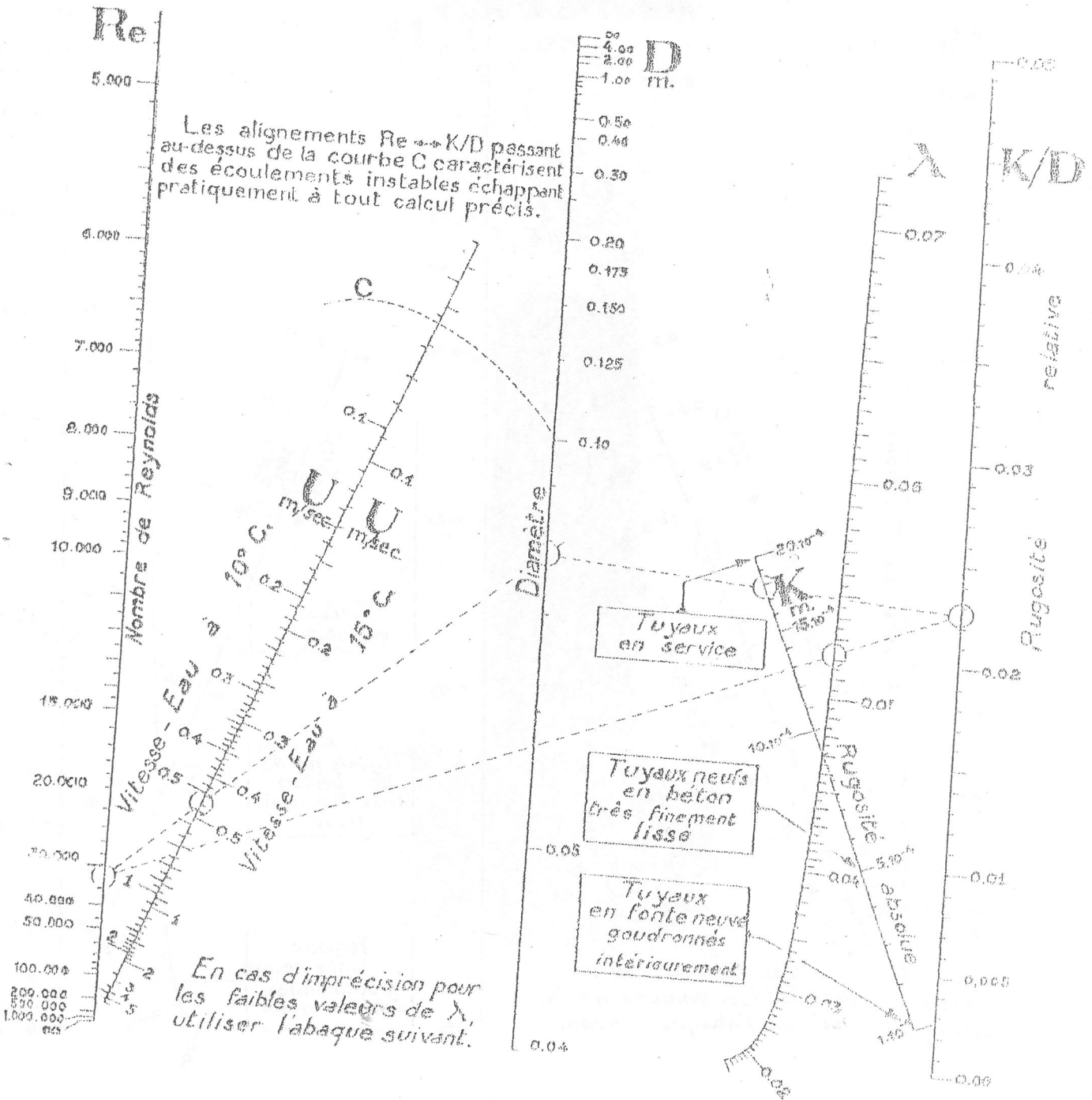
— le débit  $Q$  en litres par seconde et en  $m^3$  par jour.

— le nombre de Reynolds  $Re$  pour l'eau à des températures de  $5^\circ\text{C}$  et  $20^\circ\text{C}$ .

CALCUL DU COEFFICIENT DE PERTE DE CHARGE  $\lambda$   
 PAR LA FORMULE DE COLEBROOK :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{K}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right]$$

ABAQUE DE M. BARDIN

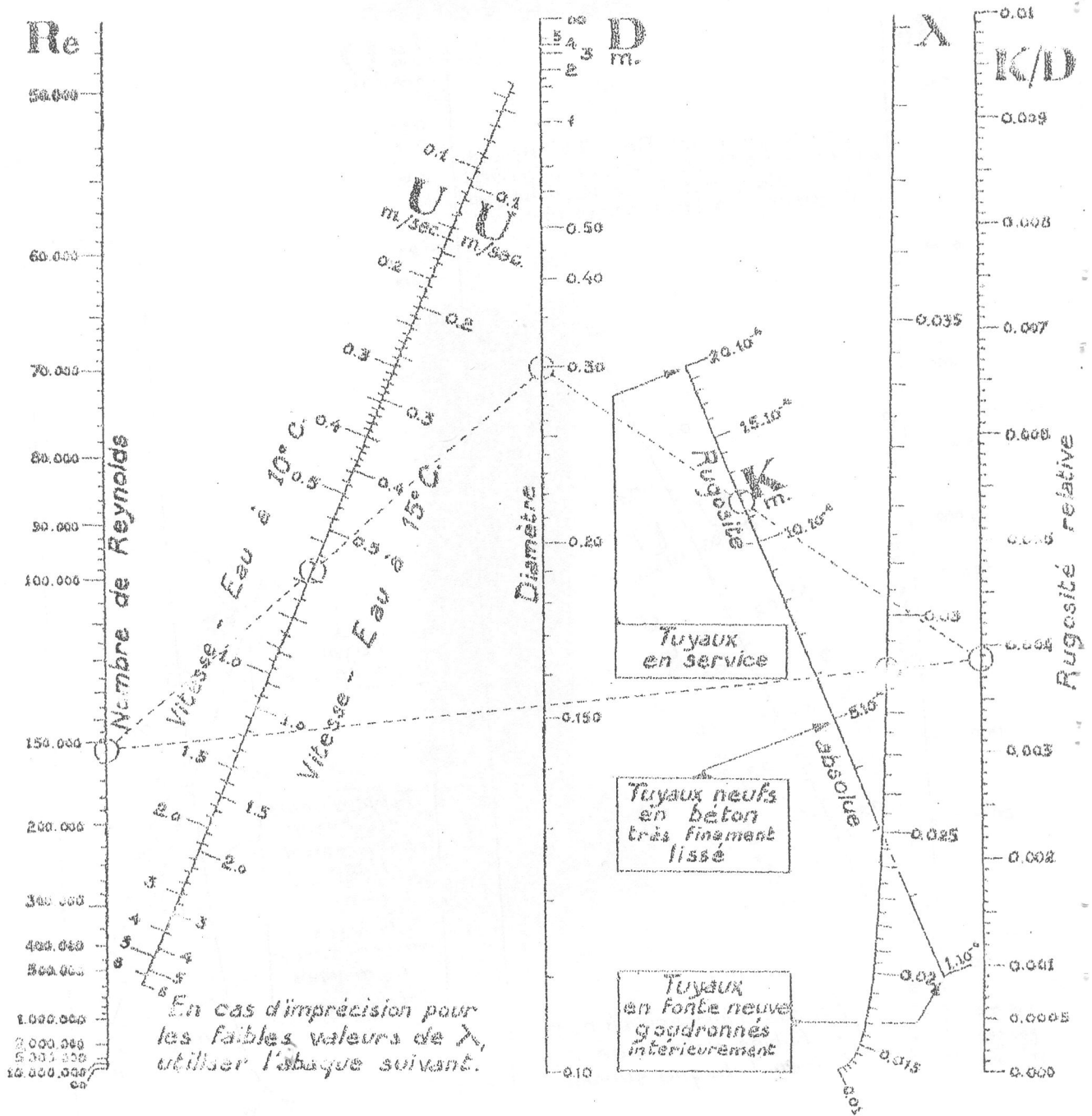


BIS

CALCUL DU COEFFICIENT DE PERTE DE CHARGE  $\lambda$   
PAR LA FORMULE DE COLEBROOK :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{K}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right]$$

ABaque DE M. BARDIN





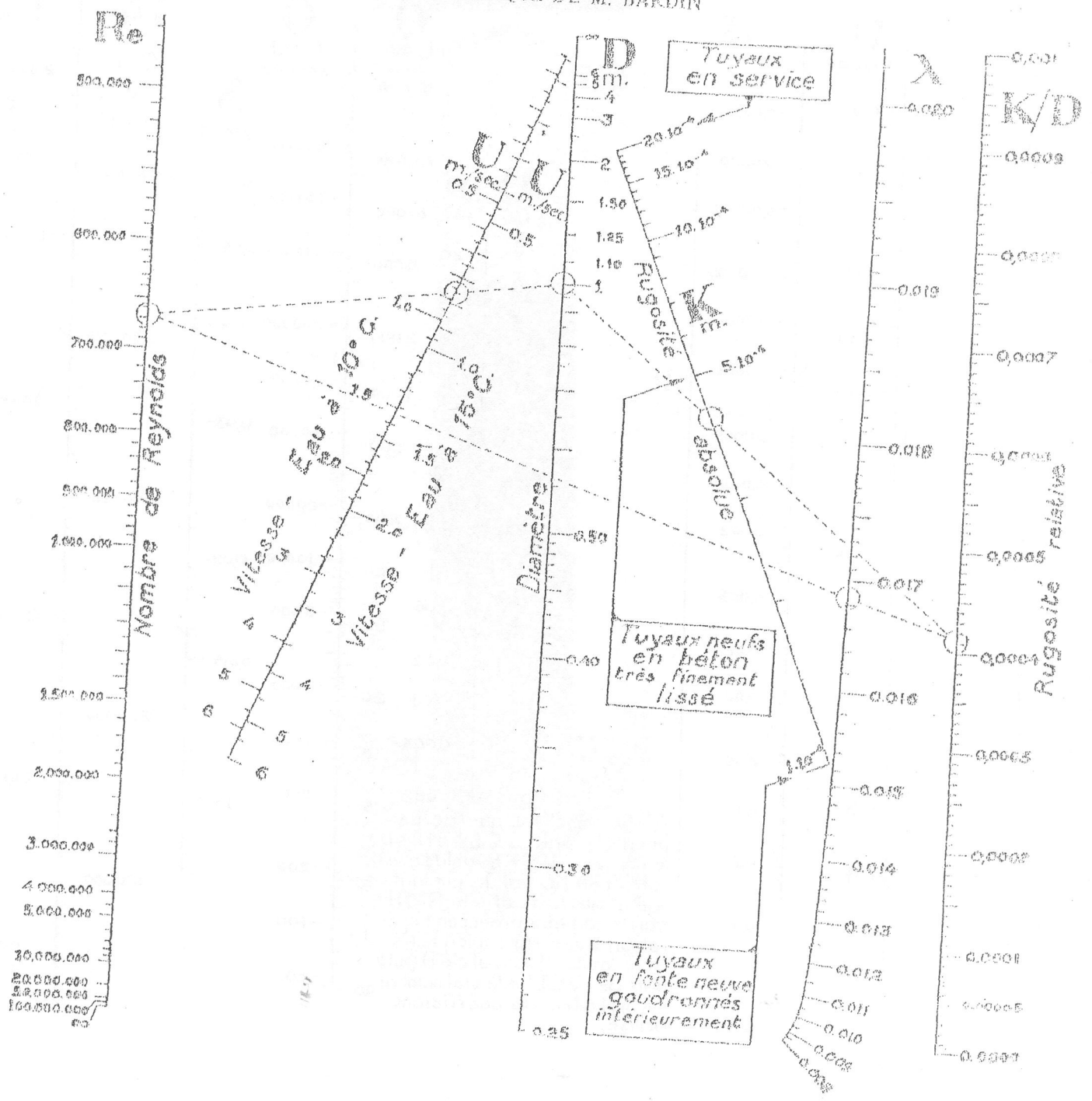


ITER

CALCUL DU COEFFICIENT DE PERTE DE CHARGE  $\lambda$   
 PAR LA FORMULE DE COLEBROOK :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{K}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right]$$

ABaque de M. BARDIN

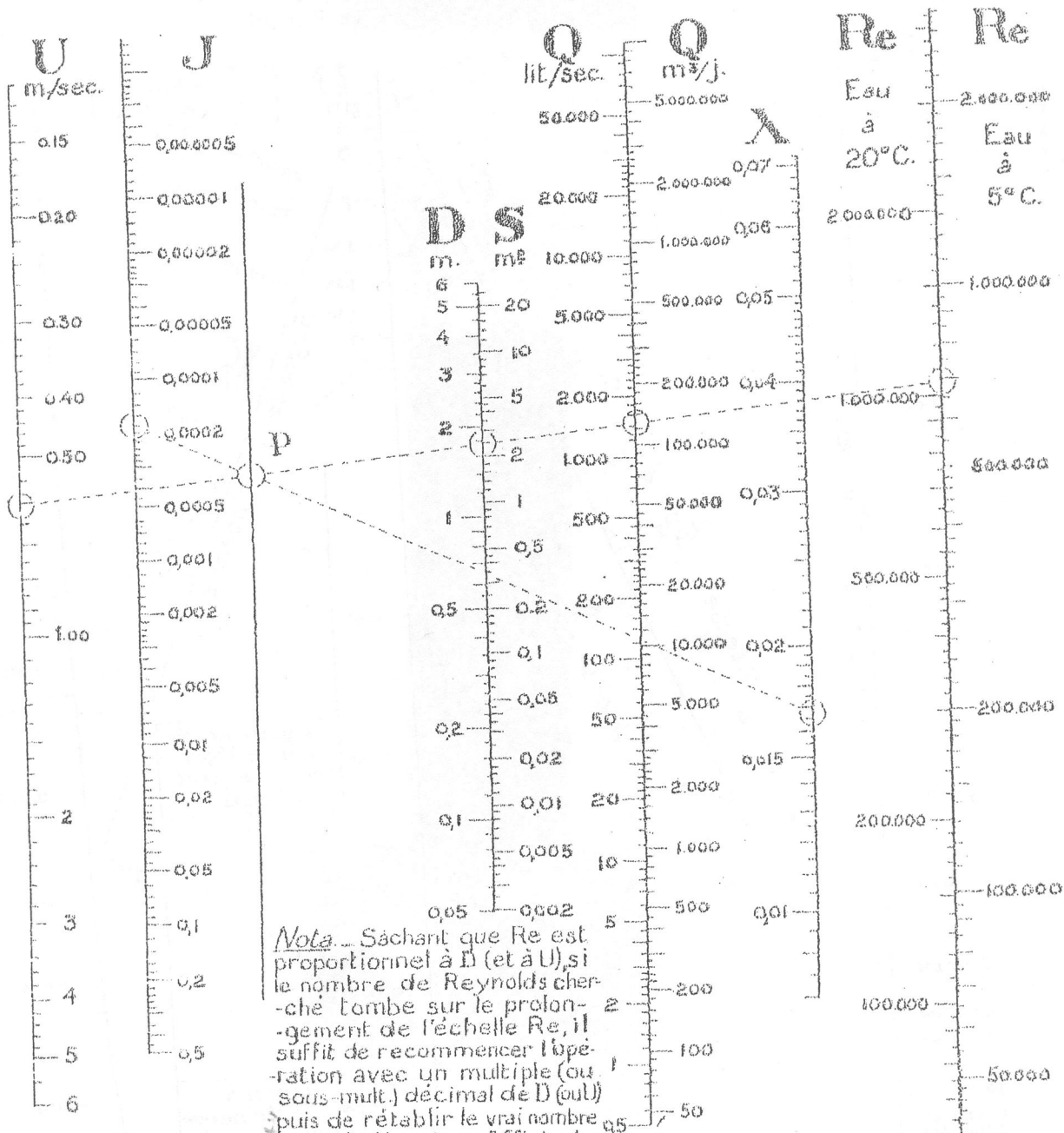


II

DÉTERMINATION DE LA PERTE DE CHARGE

$$J = \lambda \frac{U^2}{2gD}$$

ABAQUE DE M. BARDIN



*Nota.* - Sachant que Re est proportionnel à D (et à U), si le nombre de Reynolds cherché tombe sur le prolongement de l'échelle Re, il suffit de recommencer l'opération avec un multiple (ou sous-mult.) décimal de D (ou U) puis de rétablir le vrai nombre par application du coefficient utilisé.

III  
EXEMPLES NUMÉRIQUES  
D'UTILISATION DES ABAQUES

ABAQUE I	1 <sup>er</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} D = 0,078 \text{ m} \\ K = 17,8 \times 10^{-4} \text{ m} \end{array} \right.$	on obtient $\frac{K}{D} = 0,0227$
	2 <sup>ème</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} U = 0,46 \text{ m/s à } 15^{\circ}\text{C} \\ U = 0,53 \text{ m/s à } 10^{\circ}\text{C} \\ D = 0,078 \text{ m} \end{array} \right.$	on obtient $Re = 32.500$
	3 <sup>ème</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} Re = 32.500 \\ \frac{K}{D} = 0,0227 \end{array} \right.$	on obtient $\lambda = 0,0522$
ABAQUE I <sup>BIS</sup>	1 <sup>er</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} D = 0,300 \text{ m} \\ K = 11,8 \times 10^{-4} \text{ m} \end{array} \right.$	on obtient $\frac{K}{D} = 0,00386$
	2 <sup>ème</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} U = 0,58 \text{ m/s à } 15^{\circ}\text{C} \\ U = 0,67 \text{ m/s à } 10^{\circ}\text{C} \\ D = 0,300 \text{ m} \end{array} \right.$	on obtient $Re = 155.000$
	3 <sup>ème</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} Re = 155.000 \\ \frac{K}{D} = 0,00386 \end{array} \right.$	on obtient $\lambda = 0,0288$
ABAQUE I <sup>TER</sup>	1 <sup>er</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} D = 1 \text{ m} \\ K = 4,2 \times 10^{-4} \text{ m} \end{array} \right.$	on obtient $\frac{K}{D} = 0,00041$
	2 <sup>ème</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} U = 0,75 \text{ m/s à } 15^{\circ}\text{C} \\ U = 0,87 \text{ m/s à } 10^{\circ}\text{C} \\ D = 1 \text{ m} \end{array} \right.$	on obtient $Re = 665.000$
	3 <sup>ème</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} Re = 665.000 \\ \frac{K}{D} = 0,00041 \end{array} \right.$	on obtient $\lambda = 0,01685$
ABAQUE II	1 <sup>er</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} D = 1,80 \text{ m} \\ U = 0,60 \text{ m/s} \end{array} \right.$	on obtient $\left\{ \begin{array}{l} Q = 14001 \text{ /s} \\ \text{A } 20^{\circ}\text{C } Re = 1.050.000 \\ \text{A } 5^{\circ}\text{C } Re = 690.000 \\ \text{Point } P \end{array} \right.$
	2 <sup>ème</sup> Alignement	Connaissant $\left\{ \begin{array}{l} \text{Le point } P \\ \lambda = 0,0168 \end{array} \right.$	on obtient $J = 0,00018$

Valeurs de la rugosité absolue  
des tuyaux en différents matériaux

N°	Matériau et caractère de la surface	K ou $\Delta$ , mm
1	Cuivre, laiton	0,0015...0,010
2	Tuyaux neufs en acier sans joints à exécution soignée	0,04...0,17 0,19
3	Tuyaux en acier après quelques ans d'exploitation	0,12...0,24
4	Tuyaux en acier asphaltés	0,25
5	Tuyaux en acier bien zingués	0,39
6	Tuyaux en acier zingués ordinairement	0,50
7	Tuyaux en acier zingués rudes	0,25...0,42
8	Tuyaux en fonte	0,60...0,67
9	Tuyaux vieux et rouillés	
10	Tuyaux neufs en amiante ciment	0,03...0,05
11	Tuyaux neufs en ciment bien lisses	0,10...0,20
12	Tuyaux en ciment, en béton	0,25...1,0
13	Tuyaux en ciment non travaillés	0,90...2,0
14	Tuyaux en céramique de drainage	0,45...6,0
15	Mortier de ciment	0,45...3,0
16	Douves bien exécutées	0,08...0,35
17	Douves ordinaires	0,25...1,0
18	Planches rabotées	0,25...2,0
19	Planches non rabotées	0,45...3,0
20	Contre-plaqué longitudinale	0,025...0,05
21	Verre	0,0015...0,01
22	Manches en matière plastique lisses	0,0015...0,01
23	Manches en caoutchouc	0,01 ... 0,03

Calcul du coefficient  $\lambda$   
par la formule de Colebrook

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,52)^2}$$

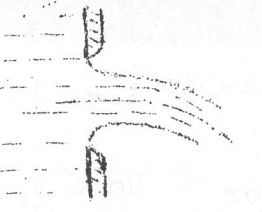
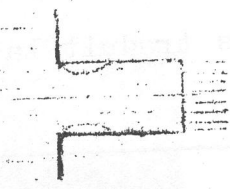
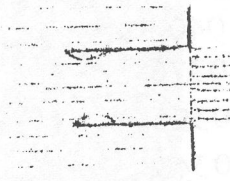
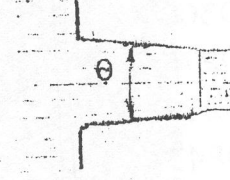
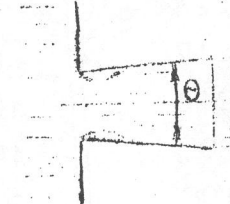
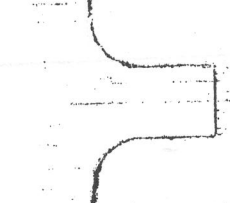
Cette formule est valable pour la zone des tuyaux lisses du régime turbulent:

$$Re_{cr} < Re < 3,0 \cdot 10^6$$

Le tableau ci-dessous traduit la formule de Colebrook.

Re	$\lambda$	Re	$\lambda$
4000	0,0403	100000	0,0178
5000	0,0376	150000	0,0164
6000	0,0356	200000	0,0155
7000	0,0340	250000	0,0148
8000	0,0328	300000	0,0143
10000	0,0308	350000	0,0141
15000	0,0276	400000	0,0136
20000	0,0257	450000	0,0133
25000	0,0243	500000	0,0130
30000	0,0233	600000	0,0126
35000	0,0224	700000	0,0123
40000	0,0217	800000	0,0121
45000	0,0212	1000000	0,0116
50000	0,0207	1500000	0,0108
60000	0,0198	2000000	0,0103
70000	0,0192	2500000	0,0100
80000	0,0186	3000000	0,0096

COEFFICIENTS DE DEBIT  $\mu$ , DE VITESSE  $\varphi$ , ET DE CONTRACTION  $\epsilon$   
DE L'ORIFICE ET DES AJUTAGES

N°	Objet	Schéma	$\mu$	$\varphi$	$\epsilon$
1	Orifice en mince paroi		0,62	0,97	0,64
2	Ajutage cylindrique extérieur		0,82	0,82	1,0
3	Ajutage cylindrique intérieur (ajutage de Borda)		0,71	0,71	1,0
4	Ajutage conique convergent (pour $\Theta = 13^\circ$ )		0,94	0,96	0,98
5	Ajutage conique divergent (pour $\Theta = 6^\circ$ est rapporté à l'orifice de sortie)		0,45	0,45	1,0
6	Ajutage conoidal		0,98	0,98	1,0

Valeurs des caractéristiques de débit K pour la zone quadratique

d, mm	A, dm <sup>2</sup> x 10	Poids de 1 m de longueur		Tuyaux normaux				Tuyaux neufs en acier et en fonte			
		kgf	N	K, l/s	K <sup>2</sup> /1000	1000/K <sup>2</sup>	K, l/s	K <sup>2</sup> /1000	1000/K <sup>2</sup>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
50	1,963	12,0	118	8,313	0,0691	14,472	10,10	0,1020	9,804		
75	4,418	17,0	167	24,770	0,6136	1,6297	29,70	0,8821	1,137		
100	7,854	23,0	226	53,610	2,874	0,34795	63,73	4,061	0,24624		
125	12,272	30,0	294	97,39	9,485	0,10543	115,1	13,248	0,07548		
150	17,671	38,0	373	158,4	25,091	0,03985	186,3	34,708	0,02881		
200	31,416	55,0	539	340,8	116,15	0,00861	398,0	158,40	0,00631		
250	49,087	75,0	735	616,4	379,9	0,00263	716,3	513,09	0,00195		
300	70,686	97,0	951	999,3	998,6	0,00100	1157,0	1339,0	0,00195		
350	96,212	116,0	1140	1503	2259,0	0,443x10 <sup>-3</sup>	1735	3007	0,747x10 <sup>-3</sup>		
400	125,664	142	1392	2140	4580	0,218x10 <sup>-3</sup>	2463	6066	0,333x10 <sup>-3</sup>		
450	159,043	171	1680	2920	8526	0,117x10 <sup>-3</sup>	3354	11249	0,165x10 <sup>-3</sup>		
500	196,350	202	1980	3857	14876	0,672x10 <sup>-4</sup>	4424	19563	0,889x10 <sup>-4</sup>		
									0,511x10 <sup>-4</sup>		

1 2 1

Tableau des vitesses correspondant à la limite de la zone quadratique

Tuyaux	D i a m è t r e d e s t u y a u x, mm					
	50	100	200	300	400	500
	Vitesse V, m/s correspondant au commencement de la région quadratique					
Normaux...	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2
Neufs, en acier et en fonte ...	2,8	3,2	3,5	3,7	3,8	3,9

Tableau des débits et des vitesses limites recommandables

Désignation	D i a m è t r e d e s t u y a u x, mm									
	50	75	100	125	150	200	250	300	400	500
V i t e s s e limite, recommandable, m/s .....	0,75	0,75	0,76	0,82	0,85	0,95	1,02	1,05	1,15	1,25
D é b i t limite, recommandable, l/s .....	1,5	3,3	6,0	10,0	15,0	30	50	74	145	245



Coefficients de correction pour la zone transitoire ( $e_1, e_2$ )

Tuyaux	Coeff.	V i t e s s e , m/s														
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
Normaux	$e_1$	0,84	0,88	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	$e_2$	1,42	1,29	1,19	1,14	1,11	1,08	1,06	1,03	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Neufs en acier et en fonte	$e_1$	0,86	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
	$e_2$	1,35	1,26	1,22	1,18	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,07	1,05	1,04	1,04	1,05	1,02