



FORMULAIRE

Ce fascicule constitue un extrait du formulaire PONT-A-MOUSSON
dont la version complète est éditée aux Editions Lavoisier-TEC & DOC,
11, rue Lavoisier - F-75381 PARIS CEDEX 08

© 1989

SOMMAIRE

HYDRAULIQUE - AÉRAULIQUE	6
<i>Régimes d'écoulement en charge des fluides dans les tubes</i>	6
Nombre de Reynolds	6
<i>Pertes de charge dans les conduites pleines</i>	7
Formules de pertes de charge	7
Formule de Darcy	7
Formule de Manning	7
Formule de Williams et Hazen	8
Formule de Colebrook	8
Tables de pertes de charge dans les conduites d'eau	8
Utilisation des tables pour les fluides de viscosités diverses	19
<i>Aéraulique</i>	20
Pertes de charge dans les conduites de gaz	20
Formule de Renouard	20

HYDRAULIQUE - AÉRAULIQUE (suite)

<i>Hydraulique</i>	24
Section mouillée - Périmètre mouillé - Rayon hydraulique	24
Théorème de Bernoulli	24
Hauteur et ligne piézométriques - Charge et ligne de charge	25
Pertes de charge singulières dans les conduites de liquides à section circulaire	25
Raccordement d'une conduite avec un grand réservoir	25
Coudes	27
Tés	27
Cônes	28
Changement brusque de diamètre	29
Appareils de robinetterie	30
Conduites en parallèle : comparaison des débits	31
Conduites de refoulement : diamètre économique	32
Formule de Vibert	32
Méthode de Labye	32

HYDRAULIQUE - AÉRAULIQUE (suite)

Coups de bélier	32
Vitesse de propagation, ou célérité	32
Valeur de la surpression et de la dépression : formules d'Allievi et de Michaut	33
Calcul complet : méthode de Bergeron	33
Rayons hydrauliques des collecteurs à section circulaire non pleins en fonction du remplissage	34
Débits et vitesses dans des collecteurs non pleins en fonction du remplissage	34
Débits des égouts	35
Débits des canaux et des cours d'eau	35
Formule de Bazin	35
Formule de Manning-Strickler	37
Débits des conduites fermées non pleines et des canaux et cours d'eau : champ d'application des diverses formules	37
Débits des déversoirs rectangulaires	38

HYDRAULIQUE - AÉRAULIQUE (suite)

Sans contraction latérale	38
Formule de Bazin	38
Formule de la SIAS	39
Avec contraction latérale	39
Correction à apporter au calcul selon les formules de Bazin ou de la SIAS	39
Formule de Hégly	40

HYDRAULIQUE - AÉRAULIQUE

RÉGIMES D'ÉCOULEMENT EN CHARGE DES FLUIDES DANS LES TUBES

Nombre de Reynolds

Régime laminaire : chaque particule fluide se déplace parallèlement à l'axe du tube et avec une vitesse constante.

Régime turbulent : les diverses particules fluides se déplacent dans des directions et à des vitesses variables et il se forme des tourbillons.

Ces régimes d'écoulement sont caractérisés par la valeur que prend le **nombre de Reynolds** défini par la formule

$$Re = \frac{VD}{\nu},$$

dans laquelle

V est la vitesse moyenne du fluide dans la section considérée du tube, en mètres par seconde,

D le diamètre intérieur du tube en mètres,

ν la viscosité cinématique du fluide en mètres carrés par seconde.

En régime laminaire, Re est inférieur à 2 400*;

en régime turbulent, Re est supérieur à 2 400*.

Lorsque Re est voisin de 2 400, le régime est instable et oscille entre le laminaire et le turbulent.

A remarquer qu'en pratique le régime laminaire se limite aux cas particuliers des vitesses très faibles, tubes de très petit diamètre, viscosités très fortes.

* C'est cette valeur qui est généralement prise comme limite.

PERTES DE CHARGE DANS LES CONDUITES PLEINES*

Formules de pertes de charge

Notation	Désignation	Dimensions
J	Perte de charge en mètres de hauteur du fluide circulant dans la conduite par mètre de celle-ci	Sans
λ	Coefficient de perte de charge	Sans
D	Diamètre intérieur de la conduite en mètres	L
V	Vitesse moyenne du fluide dans la section considérée, en mètres par seconde	LT ⁻¹
g	Accélération de la pesanteur en mètres par seconde	LT ⁻²
k	Coefficient de rugosité équivalente en mètres (formule de Colebrook)	L
Re	Nombre de Reynolds $Re = \frac{VD}{\nu}$	Sans
ν	Viscosité cinématique en mètres carrés par seconde	L ² T ⁻¹
R	Rayon hydraulique = $\frac{S}{P}$ en mètres	L
S	Section mouillée en mètres carrés	L ²
P	Périmètre mouillé en mètres	L
n	Coefficient de rugosité dans la formule de Manning	Sans
C_{wh}	Coefficient de perte de charge dans la formule de Williams et Hazen	Sans

Pertes de charge dans les conduites pleines

FORMULES DE PERTES DE CHARGE

On a utilisé jusqu'en 1950 environ une très grande variété de formules de pertes de charge, plus ou moins empiriques. La plupart d'entre elles ont été abandonnées peu à peu en faveur notamment de la formule de Colebrook, qui a l'avantage d'être rationnelle et, de plus, applicable à tous les fluides ; son seul inconvénient est son expression mathématique complexe, et c'est pourquoi quelques formules empiriques équivalentes sont encore en usage.

FORMULE DE DARCY

Appelée également quelquefois formule de Darcy-Weisbach, c'est la formule fondamentale qui définit la perte de charge d'une canalisation.

$$J = \frac{\lambda V^2}{2 g D}$$

FORMULE DE MANNING

Elle est surtout utilisée dans les collecteurs à écoulement à surface libre, et a pour expression de base :

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

La perte de charge pour un écoulement à pleine section s'écrit :

$$J = 6,35 (n \cdot v)^2 \cdot D^{-\frac{4}{3}}$$

* Il s'agit des pertes de charge, dites linéaires ou courantes, qui se produisent dans les conduites sensiblement rectilignes et de section uniforme. Le mode de calcul des pertes de charge singulières dans les conduites de liquides est donné aux pages 146 et suivantes.

Valeurs moyennes usuelles du coefficient η pour quelques matériaux :

PVC-PRV : 0,009 à 0,013

Fonte neuve revêtue : 0,010 à 0,013

Fonte encrassée : 0,015

Tuyaux en béton : 0,012 à 0,015

Acier revêtu : 0,012

FORMULE DE WILLIAMS ET HAZEN

C'est la plus utilisée des formules empiriques, toujours en usage dans certains pays, notamment aux U.S.A. et au Japon. La perte de charge est exprimée en fonction de son coefficient C_{wh} , variable selon le diamètre des conduites et, surtout, selon l'état de leur surface intérieure.

L'expression fondamentale est :

$$V = 0849 \quad C_{wh} \cdot R^{0,63} \cdot J^{0,54}$$

soit encore, à pleine section :

$$J = 6,819 \left(\frac{V}{C_{wh}} \right)^{1,852} \cdot D^{-1,167}$$

Valeurs usuelles du coefficient C_{wh} pour quelques matériaux :

PVC-PRV : 140 à 150

Fonte revêtue : 135 à 150

Fonte encrassée : 80 à 120

Béton -AmC, acier revêtu : 130 à 150

Elle s'applique à des fluides quelconques, liquides, gaz, lorsque le régime est turbulent ($Re > 2\,400$). Toutefois, elle n'est pas valable pour les suspensions et son emploi est difficile dans le cas du transport de gaz à grande distance.

FORMULE DE COLEBROOK

Celle-ci s'écrit :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left[\frac{k}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{Re} \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \right]$$

et donne la valeur de λ à porter dans la formule fondamentale de Darcy

$$J = \frac{\lambda V^2}{2 g D}$$

Tables de pertes de charge dans les conduites d'eau

Les formules empiriques de pertes de charge utilisées jusque vers 1950 comportaient une marge de sécurité prudente ; la formule de Colebrook, qui leur a succédé, a donné une base scientifique nouvelle à l'étude des pertes de charge et permis une précision plus grande dans leur calcul. En même temps, il est devenu possible d'unifier et de réduire les marges de sécurité grâce à l'emploi généralisé des revêtements centrifugés modernes, qui présentent de hautes qualités hydrauliques et les conservent dans le temps. Ainsi, le maître de l'œuvre est en mesure d'apprécier de façon plus efficace l'influence de la qualité des eaux.

C'est donc à l'aide de la formule de Colebrook, complétée par celle de Darcy, que les valeurs contenues dans les tables des pages ci-après ont été calculées.

Elles correspondent à une viscosité cinématique de $1,301 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ – très sensiblement celle de l'eau à 10°C – et aux deux coefficients de rugosité équivalente :

$k = 3 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,03 \text{ mm}$;

$k = 10 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,1 \text{ mm}$.

Le coefficient $k = 0,03$ mm correspond à la valeur moyenne des pertes de charge « tuyau seul » mesurées en 1960 par les laboratoires SOGRÉAH, à Grenoble, sur des tuyaux en fonte revêtus de mortier de ciment centrifugé ; ces pertes de charge présentent une marge de sécurité voisine de 7 % par rapport à l'idéalement lisse. Elles ont servi de base à l'accord auquel ont abouti, le 19 mars 1964, les travaux de la Commission technique Pertes de charge de la Chambre syndicale nationale de l'Hygiène publique et qui conclut à l'équivalence hydraulique entre les divers matériaux : acier endoplasté, amiant-ciment, béton centrifugé, fontes pourvues de revêtements centrifugés modernes. PVC rigide.*

Le coefficient $k = 0,1$ mm est celui que les services techniques de PONT-A-MOUSSON S.A. conseillent d'adopter pour les conduites en service et utilisent eux-mêmes pour ces conduites. Il comporte une marge de sécurité moyenne de l'ordre de 20 % par rapport aux pertes de charge correspondant à l'idéalement lisse, et de 13 % par rapport à celles qui correspondent au coefficient $k = 0,03$ mm ; il convient, dans les conditions normales, pour les conduites posées suivant les règles de l'art et transportant des eaux suffisamment filtrées et traitées pour ne pas créer de problèmes de dépôts ni de sédimentations.

A noter qu'à l'idéalement lisse correspondrait un coefficient $k = 0$.

Les tables donnent les valeurs des pertes de charge et des débits pour les diamètres les plus courants. La série de diamètres retenus correspond au cas général à tous matériaux : il s'agit de diamètres **intérieurs** égal aux diamètres nominaux les plus usuels dans les canalisations sous pression, de 40 à 2 000 mm.

Nota : Utilisation des tables pour les fluides de viscosités diverses (se reporter au chapitre correspondant).

* Le rapport établi par cette commission comporte le passage suivant : « La Commission technique propose, en conclusion de ses travaux, d'admettre qu'en pratique, dans la gamme des diamètres considérés, les tuyaux en PVC, amiant-ciment, fonte revêtus intérieurement par centrifugation, béton centrifugé, acier endoplasté sont hydrauliquement équivalents, c'est-à-dire qu'à diamètre égal ils permettent d'assurer le même débit pour la même perte de charge, les écarts calculés d'après les formules préconisées pour chacun de ces matériaux restant de l'ordre des erreurs « probables » des déterminations expérimentales de base. »

Tables de pertes de charge dans les conduites d'eau pleines

Q (l/s)	DN 40			DN 50			DN 60		
	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
0,60	8,514	9,339	0,48						
0,70	11,209	12,399	0,56						
0,80	14,238	15,870	0,64						
0,90	17,596	19,751	0,72						
1,00	21,280	24,039	0,80	7,211	7,901	0,51			
1,10	25,286	28,735	0,88	8,552	9,418	0,56			
1,20	29,610	33,836	0,95	9,998	11,063	0,61			
1,30	34,252	39,343	1,03	11,546	12,834	0,65			
1,40	39,209	45,254	1,11	13,197	14,731	0,71			
1,50	44,479	51,569	1,19	14,949	16,754	0,76	6,173	6,754	0,53
1,60	50,061	58,288	1,27	16,801	18,903	0,81	6,931	7,609	0,57
1,70	55,953	65,411	1,35	18,753	21,178	0,87	7,729	8,513	0,60
1,80	62,155	72,937	1,43	20,805	23,578	0,92	8,567	9,465	0,64
1,90	68,665	80,865	1,51	22,956	26,103	0,97	9,445	10,466	0,67
2,00	75,482	89,197	1,59	25,206	28,752	1,02	10,362	11,515	0,71
2,10	82,605	97,931	1,67	27,554	31,527	1,07	11,318	12,612	0,74
2,20	90,034	107,067	1,75	29,999	34,427	1,12	12,312	13,758	0,78
2,30	97,769	116,606	1,83	32,543	37,451	1,17	13,346	14,951	0,81
2,40	105,808	126,546	1,91	35,183	40,600	1,22	14,418	16,193	0,85
2,50	114,150	136,889	1,99	37,920	43,874	1,27	15,529	17,483	0,88
2,60	122,796	147,634	2,07	40,754	47,272	1,32	16,678	18,821	0,92
2,70	131,745	158,781	2,15	43,684	50,795	1,38	17,865	20,207	0,95
2,80	140,997	170,330	2,23	46,711	54,442	1,43	19,091	21,640	0,99
2,90	150,550	182,280	2,31	49,833	58,213	1,48	20,354	23,122	1,03
3,00	160,406	194,632	2,39	53,051	62,109	1,53	21,655	24,651	1,06
3,10	170,563	207,386	2,47	56,365	66,128	1,58	22,994	26,229	1,10
3,20	181,021	220,542	2,55	59,774	70,272	1,63	24,370	27,854	1,13
3,30	191,779	234,099	2,63	63,279	74,541	1,68	25,785	29,527	1,17
3,40	202,838	248,058	2,71	66,879	78,933	1,73	27,236	31,247	1,20
3,50	214,198	262,418	2,79	70,574	83,450	1,78	28,725	33,016	1,24
3,60	225,858	277,180	2,86	74,363	88,091	1,83	30,252	34,832	1,27
3,70	237,817	292,343	2,94	78,248	92,855	1,88	31,815	36,696	1,31
3,80				82,227	97,744	1,94	33,416	38,607	1,34
3,90				86,300	102,757	1,99	35,054	40,566	1,38
4,00				90,468	107,894	2,04	36,730	42,573	1,41
4,20				99,088	118,540	2,14	40,191	46,730	1,49
4,40				108,084	129,682	2,24	43,801	51,077	1,56
4,60				117,456	141,321	2,34	47,557	55,614	1,63
4,80				127,203	153,454	2,44	51,461	60,342	1,70
5,00				137,326	166,084	2,55	55,512	65,260	1,77
5,20				147,823	179,209	2,65	59,709	70,369	1,84
5,40				158,694	192,830	2,75	64,052	75,667	1,91
5,60				169,939	206,947	2,85	68,541	81,156	1,98
5,80				181,557	221,559	2,95	73,176	86,835	2,05
6,00							77,957	92,704	2,12
6,20							82,883	98,763	2,19
6,40							87,954	105,011	2,26
6,60							93,170	111,450	2,33
6,80							98,531	118,079	2,41
7,00							104,037	124,898	2,48
7,20							109,687	131,907	2,55
7,40							115,482	139,105	2,62
7,60							121,421	146,494	2,69
7,80							127,505	154,072	2,76
8,00							133,732	161,840	2,83
8,20							140,104	169,798	2,90
8,40							146,619	177,946	2,97

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document .

Q (l/s)	DN 65			DN 80			DN 100		
	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
1,60	4,706	5,117	0,48						
1,80	5,813	6,358	0,54						
2,00	7,026	7,727	0,60						
2,20	8,343	9,223	0,66						
2,40	9,765	10,847	0,72						
2,60	11,289	12,597	0,78	4,121	4,480	0,52			
2,80	12,915	14,473	0,84	4,709	5,138	0,56			
3,00	14,642	16,476	0,90	5,333	5,838	0,60			
3,20	16,470	18,605	0,96	5,992	6,582	0,64			
3,40	18,399	20,860	1,02	6,686	7,369	0,68			
3,60	20,427	23,240	1,08	7,415	8,198	0,72			
3,80	22,554	25,746	1,15	8,180	9,069	0,76			
4,00	24,781	28,377	1,21	8,978	9,984	0,80	3,039	3,289	0,51
4,20	27,106	31,134	1,27	9,812	10,940	0,84	3,318	3,600	0,53
4,40	29,529	34,016	1,33	10,679	11,940	0,88	3,609	3,923	0,56
4,60	32,050	37,023	1,39	11,581	12,981	0,92	3,911	4,261	0,59
4,80	34,669	40,155	1,45	12,517	14,065	0,95	4,223	4,611	0,61
5,00	37,385	43,413	1,51	13,487	15,191	0,99	4,547	4,975	0,64
5,20	40,198	46,795	1,57	14,491	16,359	1,03	4,882	5,352	0,66
5,40	43,109	50,303	1,63	15,528	17,570	1,07	5,228	5,743	0,69
5,60	46,116	53,935	1,69	16,599	18,823	1,11	5,585	6,146	0,71
5,80	49,220	57,692	1,75	17,704	20,118	1,15	5,952	6,563	0,74
6,00	52,421	61,575	1,81	18,842	21,455	1,19	6,331	6,993	0,76
6,20	55,718	65,582	1,87	20,013	22,834	1,23	6,720	7,436	0,79
6,40	59,111	69,714	1,93	21,218	24,256	1,27	7,120	7,893	0,81
6,60	62,600	73,971	1,99	22,456	25,719	1,31	7,531	8,362	0,84
6,80	66,185	78,352	2,05	23,727	27,225	1,35	7,953	8,845	0,87
7,00	69,866	82,859	2,11	25,032	28,772	1,39	8,385	9,341	0,89
7,20	73,642	87,490	2,17	26,369	30,362	1,43	8,828	9,850	0,92
7,40	77,515	92,246	2,23	27,739	31,994	1,47	9,282	10,372	0,94
7,60	81,483	97,126	2,29	29,143	33,668	1,51	9,746	10,907	0,97
7,80	85,546	102,131	2,35	30,579	35,383	1,55	10,221	11,456	0,99
8,00	89,704	107,261	2,41	32,048	37,141	1,59	10,706	12,017	1,02
8,20	93,958	112,516	2,47	33,550	38,941	1,63	11,202	12,592	1,04
8,40	98,308	117,896	2,53	35,084	40,782	1,67	11,708	13,180	1,07
8,60	102,752	123,400	2,59	36,652	42,666	1,71	12,225	13,781	1,09
8,80	107,291	129,028	2,65	38,252	44,592	1,75	12,753	14,394	1,12
9,00	111,925	134,782	2,71	39,885	46,559	1,79	13,291	15,021	1,15
9,20	116,655	140,660	2,77	41,550	48,569	1,83	13,839	15,661	1,17
9,40	121,479	146,662	2,83	43,248	50,620	1,87	14,398	16,315	1,20
9,60	126,398	152,790	2,89	44,979	52,714	1,91	14,968	16,981	1,22
9,80	131,412	159,041	2,95	46,742	54,849	1,95	15,547	17,660	1,25
10,00				48,537	57,027	1,99	16,137	18,352	1,27
10,50				53,168	62,654	2,09	17,658	20,140	1,34
11,00				58,002	68,542	2,19	19,244	22,010	1,40
11,50				63,037	74,693	2,29	20,894	23,961	1,46
12,00				68,275	81,105	2,39	22,608	25,993	1,53
12,50				73,714	87,780	2,49	24,387	28,107	1,59
13,00				79,354	94,716	2,59	26,230	30,302	1,66
13,50				85,196	101,914	2,69	28,136	32,579	1,72
14,00				91,239	109,374	2,79	30,107	34,937	1,78
14,50				97,482	117,095	2,88	32,141	37,376	1,85
16,50							40,914	47,947	2,10
18,50							50,699	59,817	2,36
20,50							61,493	72,987	2,61
22,50							73,291	87,456	2,86

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document.

Q (l/s)	DN 125			DN 150			DN 200		
	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
7,00	2,832	3,070	0,57						
7,50	3,209	3,490	0,61						
8,00	3,607	3,936	0,65						
8,50	4,027	4,408	0,69						
9,00	4,469	4,906	0,73	1,844	1,984	0,51			
9,50	4,931	5,429	0,77	2,034	2,193	0,54			
10,00	5,415	5,977	0,81	2,232	2,412	0,57			
10,50	5,920	6,552	0,86	2,438	2,641	0,59			
11,00	6,445	7,151	0,90	2,653	2,880	0,62			
11,50	6,992	7,777	0,94	2,876	3,129	0,65			
12,00	7,559	8,428	0,98	3,107	3,388	0,68			
12,50	8,147	9,104	1,02	3,347	3,656	0,71			
13,00	8,756	9,806	1,06	3,595	3,935	0,74			
13,50	9,385	10,533	1,10	3,852	4,224	0,76			
14,00	10,035	11,285	1,14	4,116	4,522	0,79			
14,50	10,705	12,063	1,18	4,389	4,830	0,82			
15,00	11,396	12,867	1,22	4,669	5,149	0,85			
15,50	12,107	13,695	1,26	4,958	5,477	0,88			
16,00	12,838	14,549	1,30	5,255	5,814	0,91	1,297	1,389	0,51
16,50	13,590	15,429	1,34	5,560	6,162	0,93	1,371	1,471	0,53
17,00	14,362	16,333	1,39	5,873	6,519	0,96	1,448	1,555	0,54
17,50	15,154	17,263	1,43	6,194	6,887	0,99	1,526	1,641	0,56
18,00	15,966	18,219	1,47	6,523	7,264	1,02	1,606	1,729	0,57
18,50	16,799	19,199	1,51	6,861	7,651	1,05	1,688	1,820	0,59
19,00	17,651	20,205	1,55	7,206	8,047	1,08	1,772	1,913	0,60
19,50	18,524	21,237	1,59	7,559	8,454	1,10	1,858	2,008	0,62
20,00	19,416	22,293	1,63	7,920	8,870	1,13	1,945	2,105	0,64
20,50	20,329	23,375	1,67	8,289	9,296	1,16	2,035	2,204	0,65
21,00	21,262	24,482	1,71	8,665	9,732	1,19	2,126	2,306	0,67
21,50	22,214	25,614	1,75	9,050	10,177	1,22	2,219	2,410	0,68
22,00	23,187	26,772	1,79	9,443	10,633	1,24	2,314	2,516	0,70
22,50	24,180	27,955	1,83	9,843	11,098	1,27	2,411	2,624	0,72
23,00	25,192	29,163	1,87	10,252	11,573	1,30	2,510	2,734	0,73
23,50	26,224	30,397	1,91	10,668	12,057	1,33	2,611	2,847	0,75
24,00	27,277	31,655	1,96	11,092	12,552	1,36	2,713	2,962	0,76
26,00	31,684	36,942	2,12	12,867	14,627	1,47	3,141	3,443	0,83
28,00	36,408	42,633	2,28	14,766	16,857	1,58	3,599	3,959	0,89
30,00	41,448	48,728	2,44	16,790	19,244	1,70	4,085	4,510	0,95
32,00	46,802	55,226	2,61	18,937	21,787	1,81	4,600	5,096	1,02
34,00	52,471	62,128	2,77	21,208	24,485	1,92	5,144	5,717	1,08
36,00	58,454	69,432	2,93	23,602	27,339	2,04	5,717	6,372	1,15
38,00				26,119	30,348	2,15	6,317	7,063	1,21
40,00				28,758	33,513	2,26	6,946	7,788	1,27
42,00				31,520	36,833	2,38	7,604	8,548	1,34
44,00				34,404	40,309	2,49	8,289	9,342	1,40
46,00				37,409	43,940	2,60	9,003	10,172	1,46
48,00				40,537	47,726	2,72	9,744	11,035	1,53
50,00				43,786	51,668	2,83	10,514	11,934	1,59
55,00							12,559	14,332	1,75
60,00							14,777	16,946	1,91
65,00							17,168	19,777	2,07
70,00							19,731	22,823	2,23
75,00							22,465	26,085	2,39
80,00							25,370	29,564	2,55
85,00							28,446	33,258	2,71
90,00							31,692	37,167	2,86

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document.

Q (l/s)	DN 250			DN 300			DN 350		
	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
30,00	1,377	1,483	0,61						
32,00	1,549	1,673	0,65						
34,00	1,730	1,874	0,69						
36,00	1,921	2,086	0,73	0,792	0,844	0,51			
38,00	2,121	2,309	0,77	0,874	0,934	0,54			
40,00	2,330	2,543	0,81	0,960	1,027	0,57			
42,00	2,549	2,788	0,86	1,049	1,125	0,59			
44,00	2,776	3,044	0,90	1,142	1,227	0,62			
46,00	3,013	3,310	0,94	1,238	1,334	0,65			
48,00	3,258	3,588	0,98	1,339	1,445	0,68			
50,00	3,513	3,876	1,02	1,442	1,559	0,71	0,682	0,726	0,52
52,00	3,776	4,176	1,06	1,550	1,679	0,74	0,732	0,781	0,54
54,00	4,049	4,486	1,10	1,661	1,802	0,76	0,785	0,838	0,56
56,00	4,331	4,807	1,14	1,776	1,930	0,79	0,838	0,897	0,58
58,00	4,621	5,139	1,18	1,894	2,062	0,82	0,894	0,958	0,60
60,00	4,920	5,482	1,22	2,016	2,198	0,85	0,951	1,021	0,62
62,00	5,229	5,836	1,26	2,141	2,338	0,88	1,010	1,085	0,64
64,00	5,546	6,200	1,30	2,270	2,483	0,91	1,070	1,152	0,67
66,00	5,872	6,575	1,34	2,402	2,631	0,93	1,132	1,220	0,69
68,00	6,207	6,961	1,39	2,538	2,784	0,96	1,196	1,290	0,71
70,00	6,550	7,358	1,43	2,677	2,942	0,99	1,261	1,363	0,73
72,00	6,902	7,766	1,47	2,820	3,103	1,02	1,328	1,437	0,75
74,00	7,264	8,185	1,51	2,967	3,269	1,05	1,397	1,513	0,77
76,00	7,634	8,614	1,55	3,116	3,438	1,08	1,467	1,591	0,79
78,00	8,012	9,054	1,59	3,270	3,612	1,10	1,539	1,670	0,81
80,00	8,400	9,505	1,63	3,427	3,790	1,13	1,612	1,752	0,83
85,00	9,406	10,680	1,73	3,834	4,254	1,20	1,802	1,965	0,88
90,00	10,467	11,922	1,83	4,262	4,744	1,27	2,002	2,189	0,94
95,00	11,583	13,232	1,94	4,713	5,260	1,34	2,213	2,425	0,99
100,00	12,752	14,609	2,04	5,184	5,802	1,41	2,433	2,673	1,04
105,00	13,976	16,053	2,14	5,677	6,371	1,49	2,662	2,932	1,09
110,00	15,253	17,565	2,24	6,192	6,965	1,56	2,902	3,204	1,14
115,00	16,584	19,144	2,34	6,727	7,586	1,63	3,151	3,487	1,20
120,00	17,969	20,790	2,44	7,284	8,232	1,70	3,410	3,782	1,25
125,00	19,407	22,504	2,55	7,862	8,905	1,77	3,679	4,088	1,30
130,00	20,899	24,285	2,65	8,460	9,604	1,84	3,957	4,406	1,35
135,00	22,444	26,134	2,75	9,080	10,329	1,91	4,245	4,736	1,40
140,00	24,043	28,049	2,85	9,721	11,080	1,98	4,542	5,078	1,46
145,00	25,695	30,032	2,95	10,383	11,856	2,05	4,849	5,431	1,51
150,00				11,066	12,659	2,12	5,166	5,796	1,56
155,00				11,770	13,488	2,19	5,492	6,173	1,61
160,00				12,495	14,343	2,26	5,828	6,561	1,66
165,00				13,240	15,224	2,33	6,173	6,961	1,71
170,00				14,007	16,131	2,41	6,528	7,373	1,77
175,00				14,794	17,064	2,48	6,892	7,796	1,82
180,00				15,602	18,023	2,55	7,266	8,231	1,87
185,00				16,431	19,008	2,62	7,649	8,678	1,92
190,00				17,281	20,019	2,69	8,041	9,136	1,97
195,00				18,151	21,056	2,76	8,443	9,606	2,03
200,00				19,042	22,119	2,83	8,855	10,088	2,08
210,00				20,886	24,323	2,97	9,706	11,086	2,18
220,00							10,594	12,131	2,29
230,00							11,520	13,223	2,39
240,00							12,484	14,361	2,49
250,00							13,485	15,546	2,60
260,00							14,523	16,777	2,70
270,00							15,599	18,055	2,81
280,00							16,712	19,379	2,91

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document.

Q (l/s)	DN 400			DN 450			DN 500		
	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
65,00	0,575	0,612	0,52						
70,00	0,659	0,702	0,56						
75,00	0,747	0,799	0,60						
80,00	0,841	0,902	0,64	0,474	0,503	0,50			
85,00	0,940	1,010	0,68	0,530	0,564	0,53			
90,00	1,044	1,125	0,72	0,588	0,627	0,57			
95,00	1,153	1,245	0,76	0,650	0,694	0,60			
100,00	1,267	1,371	0,80	0,713	0,764	0,63	0,428	0,453	0,51
105,00	1,385	1,504	0,84	0,780	0,837	0,66	0,467	0,496	0,53
110,00	1,509	1,642	0,88	0,850	0,913	0,69	0,509	0,542	0,56
115,00	1,638	1,786	0,92	0,922	0,993	0,72	0,552	0,588	0,59
120,00	1,772	1,935	0,95	0,997	1,075	0,75	0,597	0,637	0,61
125,00	1,911	2,091	0,99	1,075	1,161	0,79	0,643	0,688	0,64
130,00	2,055	2,253	1,03	1,155	1,251	0,82	0,691	0,740	0,66
135,00	2,204	2,420	1,07	1,239	1,343	0,85	0,741	0,795	0,69
140,00	2,357	2,594	1,11	1,324	1,438	0,88	0,792	0,851	0,71
145,00	2,516	2,773	1,15	1,413	1,537	0,91	0,845	0,909	0,74
150,00	2,679	2,958	1,19	1,504	1,639	0,94	0,899	0,969	0,76
155,00	2,847	3,149	1,23	1,598	1,744	0,97	0,955	1,031	0,79
160,00	3,020	3,345	1,27	1,695	1,852	1,01	1,013	1,094	0,81
165,00	3,198	3,548	1,31	1,794	1,964	1,04	1,072	1,160	0,84
170,00	3,380	3,756	1,35	1,896	2,079	1,07	1,132	1,227	0,87
175,00	3,568	3,971	1,39	2,001	2,196	1,10	1,195	1,296	0,89
180,00	3,760	4,191	1,43	2,108	2,317	1,13	1,259	1,368	0,92
185,00	3,957	4,417	1,47	2,218	2,442	1,16	1,324	1,440	0,94
190,00	4,159	4,648	1,51	2,331	2,569	1,19	1,391	1,515	0,97
195,00	4,366	4,886	1,55	2,446	2,699	1,23	1,459	1,592	0,99
200,00	4,577	5,129	1,59	2,564	2,833	1,26	1,529	1,670	1,02
210,00	5,014	5,634	1,67	2,807	3,110	1,32	1,674	1,832	1,07
220,00	5,471	6,161	1,75	3,061	3,399	1,38	1,825	2,002	1,12
230,00	5,946	6,712	1,83	3,326	3,701	1,45	1,982	2,179	1,17
240,00	6,440	7,286	1,91	3,601	4,016	1,51	2,145	2,363	1,22
250,00	6,953	7,883	1,99	3,886	4,344	1,57	2,314	2,555	1,27
260,00	7,485	8,504	2,07	4,182	4,684	1,63	2,489	2,753	1,32
270,00	8,035	9,148	2,15	4,488	5,036	1,70	2,671	2,960	1,38
280,00	8,605	9,815	2,23	4,804	5,401	1,76	2,858	3,173	1,43
290,00	9,193	10,506	2,31	5,131	5,779	1,82	3,051	3,394	1,48
300,00	9,800	11,219	2,39	5,468	6,170	1,89	3,251	3,622	1,53
310,00	10,426	11,956	2,47	5,815	6,573	1,95	3,456	3,857	1,58
320,00	11,071	12,716	2,55	6,173	6,988	2,01	3,668	4,100	1,63
330,00	11,734	13,499	2,63	6,541	7,417	2,07	3,885	4,350	1,68
340,00	12,416	14,306	2,71	6,919	7,857	2,14	4,109	4,607	1,73
350,00	13,117	15,136	2,79	7,307	8,311	2,20	4,338	4,872	1,78
360,00	13,836	15,989	2,86	7,705	8,777	2,26	4,574	5,144	1,83
370,00	14,574	16,865	2,94	8,114	9,255	2,33	4,815	5,423	1,88
380,00				8,533	9,747	2,39	5,062	5,709	1,94
390,00				8,962	10,250	2,45	5,316	6,003	1,99
400,00				9,401	10,767	2,52	5,575	6,304	2,04
420,00				10,310	11,837	2,64	6,111	6,928	2,14
440,00				11,259	12,958	2,77	6,671	7,581	2,24
460,00				12,249	14,129	2,89	7,255	8,263	2,34
480,00							7,862	8,974	2,44
500,00							8,493	9,714	2,55
520,00							9,147	10,483	2,65
540,00							9,825	11,282	2,75
560,00							10,526	12,109	2,85
580,00							11,251	12,965	2,95

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur de fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document .

Q (l/s)	DN 600			DN 700			DN 800		
	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
160,00	0,417	0,443	0,57						
170,00	0,466	0,496	0,60						
180,00	0,517	0,552	0,64						
190,00	0,571	0,611	0,67						
200,00	0,628	0,673	0,71	0,296	0,313	0,52			
210,00	0,687	0,737	0,74	0,324	0,343	0,55			
220,00	0,748	0,805	0,78	0,353	0,375	0,57			
230,00	0,812	0,875	0,81	0,383	0,407	0,60			
240,00	0,878	0,949	0,85	0,414	0,441	0,62			
250,00	0,947	1,025	0,88	0,446	0,476	0,65			
260,00	1,018	1,104	0,92	0,480	0,512	0,68	0,251	0,265	0,52
270,00	1,092	1,186	0,95	0,514	0,550	0,70	0,269	0,284	0,54
280,00	1,168	1,271	0,99	0,550	0,589	0,73	0,287	0,304	0,56
290,00	1,247	1,358	1,03	0,587	0,629	0,75	0,306	0,325	0,58
300,00	1,327	1,449	1,06	0,625	0,671	0,78	0,326	0,346	0,60
310,00	1,411	1,542	1,10	0,664	0,714	0,81	0,346	0,368	0,62
320,00	1,496	1,638	1,13	0,704	0,758	0,83	0,367	0,390	0,64
330,00	1,584	1,737	1,17	0,745	0,804	0,86	0,388	0,414	0,66
340,00	1,675	1,839	1,20	0,787	0,850	0,88	0,410	0,438	0,68
350,00	1,768	1,943	1,24	0,830	0,898	0,91	0,433	0,462	0,70
360,00	1,863	2,051	1,27	0,875	0,947	0,94	0,456	0,487	0,72
370,00	1,960	2,161	1,31	0,921	0,998	0,96	0,479	0,513	0,74
380,00	2,060	2,274	1,34	0,967	1,050	0,99	0,504	0,540	0,76
390,00	2,163	2,390	1,38	1,015	1,103	1,01	0,528	0,567	0,78
400,00	2,267	2,509	1,41	1,064	1,157	1,04	0,554	0,594	0,80
420,00	2,483	2,755	1,49	1,165	1,270	1,09	0,606	0,652	0,84
440,00	2,709	3,013	1,56	1,270	1,388	1,14	0,660	0,712	0,88
460,00	2,944	3,281	1,63	1,379	1,510	1,20	0,717	0,774	0,92
480,00	3,189	3,561	1,70	1,493	1,638	1,25	0,776	0,839	0,95
500,00	3,442	3,853	1,77	1,611	1,771	1,30	0,837	0,907	0,99
520,00	3,705	4,155	1,84	1,733	1,909	1,35	0,900	0,977	1,03
540,00	3,977	4,469	1,91	1,860	2,053	1,40	0,965	1,050	1,07
560,00	4,259	4,794	1,98	1,990	2,201	1,46	1,033	1,125	1,11
580,00	4,550	5,131	2,05	2,125	2,354	1,51	1,102	1,203	1,15
600,00	4,850	5,478	2,12	2,265	2,513	1,56	1,174	1,284	1,19
620,00	5,159	5,837	2,19	2,408	2,676	1,61	1,248	1,367	1,23
640,00	5,477	6,208	2,26	2,556	2,845	1,66	1,324	1,452	1,27
660,00	5,805	6,589	2,33	2,707	3,018	1,71	1,403	1,540	1,31
680,00	6,142	6,982	2,41	2,863	3,197	1,77	1,483	1,631	1,35
700,00	6,488	7,386	2,48	3,024	3,381	1,82	1,566	1,724	1,39
720,00	6,843	7,801	2,55	3,188	3,569	1,87	1,650	1,820	1,43
740,00	7,207	8,228	2,62	3,357	3,763	1,92	1,737	1,918	1,47
760,00	7,581	8,666	2,69	3,529	3,962	1,97	1,826	2,019	1,51
780,00	7,963	9,115	2,76	3,706	4,166	2,03	1,917	2,122	1,55
800,00	8,355	9,575	2,83	3,887	4,375	2,08	2,010	2,228	1,59
850,00				4,358	4,920	2,21	2,252	2,503	1,69
900,00				4,855	5,497	2,34	2,507	2,795	1,79
950,00				5,377	6,105	2,47	2,775	3,102	1,89
1 000,00				5,925	6,744	2,60	3,056	3,425	1,99
1 050,00				6,500	7,415	2,73	3,351	3,764	2,09
1 100,00				7,099	8,118	2,86	3,658	4,119	2,19
1 150,00				7,725	8,853	2,99	3,978	4,490	2,29
1 200,00							4,312	4,876	2,39
1 250,00							4,658	5,278	2,49
1 300,00							5,017	5,696	2,59
1 350,00							5,389	6,130	2,69
1 400,00							5,774	6,579	2,79
1 450,00							6,172	7,045	2,88

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document.

Q (l/s)	DN 900			DN 1 000			DN 1 100		
	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
340,00	0,231	0,244	0,53						
360,00	0,257	0,272	0,57						
380,00	0,284	0,301	0,60						
400,00	0,312	0,331	0,63	0,187	0,197	0,51			
420,00	0,341	0,363	0,66	0,204	0,215	0,53			
440,00	0,372	0,396	0,69	0,222	0,235	0,56			
460,00	0,403	0,431	0,72	0,241	0,255	0,59			
480,00	0,436	0,467	0,75	0,261	0,277	0,61	0,164	0,173	0,51
500,00	0,470	0,504	0,79	0,281	0,299	0,64	0,177	0,186	0,53
520,00	0,506	0,543	0,82	0,303	0,322	0,66	0,190	0,201	0,55
540,00	0,542	0,583	0,85	0,324	0,345	0,69	0,204	0,215	0,57
560,00	0,580	0,625	0,88	0,347	0,370	0,71	0,218	0,231	0,59
580,00	0,619	0,668	0,91	0,370	0,395	0,74	0,233	0,246	0,61
600,00	0,659	0,712	0,94	0,394	0,421	0,76	0,248	0,262	0,63
620,00	0,701	0,758	0,97	0,419	0,448	0,79	0,263	0,279	0,65
640,00	0,743	0,805	1,01	0,444	0,476	0,81	0,279	0,296	0,67
660,00	0,787	0,853	1,04	0,470	0,504	0,84	0,295	0,314	0,69
680,00	0,832	0,903	1,07	0,497	0,534	0,87	0,312	0,332	0,72
700,00	0,878	0,955	1,10	0,524	0,564	0,89	0,329	0,351	0,74
720,00	0,925	1,007	1,13	0,552	0,595	0,92	0,347	0,370	0,76
740,00	0,974	1,061	1,16	0,581	0,627	0,94	0,365	0,390	0,78
760,00	1,023	1,117	1,19	0,610	0,659	0,97	0,383	0,410	0,80
780,00	1,074	1,174	1,23	0,641	0,693	0,99	0,402	0,431	0,82
800,00	1,126	1,232	1,26	0,671	0,727	1,02	0,421	0,452	0,84
850,00	1,261	1,383	1,34	0,752	0,816	1,08	0,471	0,507	0,89
900,00	1,403	1,544	1,41	0,836	0,910	1,15	0,524	0,565	0,95
950,00	1,552	1,712	1,49	0,925	1,008	1,21	0,579	0,626	1,00
1 000,00	1,709	1,890	1,57	1,017	1,112	1,27	0,637	0,690	1,05
1 050,00	1,872	2,076	1,65	1,114	1,221	1,34	0,698	0,757	1,10
1 100,00	2,043	2,270	1,73	1,216	1,335	1,40	0,761	0,828	1,16
1 150,00	2,221	2,473	1,81	1,321	1,454	1,46	0,827	0,901	1,21
1 200,00	2,406	2,685	1,89	1,431	1,578	1,53	0,895	0,977	1,26
1 250,00	2,599	2,905	1,96	1,545	1,707	1,59	0,966	1,057	1,32
1 300,00	2,798	3,134	2,04	1,663	1,840	1,66	1,040	1,139	1,37
1 350,00	3,004	3,372	2,12	1,785	1,979	1,72	1,116	1,225	1,42
1 400,00	3,218	3,618	2,20	1,911	2,123	1,78	1,194	1,313	1,47
1 450,00	3,438	3,872	2,28	2,041	2,272	1,85	1,276	1,405	1,53
1 500,00	3,666	4,135	2,36	2,176	2,425	1,91	1,359	1,499	1,58
1 550,00	3,901	4,407	2,44	2,314	2,584	1,97	1,446	1,597	1,63
1 600,00	4,142	4,687	2,52	2,457	2,748	2,04	1,534	1,698	1,68
1 650,00	4,391	4,976	2,59	2,604	2,916	2,10	1,626	1,801	1,74
1 700,00	4,647	5,274	2,67	2,755	3,090	2,16	1,720	1,908	1,79
1 750,00	4,909	5,580	2,75	2,910	3,268	2,23	1,816	2,018	1,84
1 800,00	5,179	5,894	2,83	3,069	3,452	2,29	1,915	2,131	1,89
1 850,00	5,456	6,217	2,91	3,232	3,640	2,36	2,016	2,247	1,95
1 900,00	5,739	6,549	2,99	3,400	3,834	2,42	2,120	2,365	2,00
1 950,00				3,571	4,032	2,48	2,227	2,487	2,05
2 000,00				3,747	4,235	2,55	2,336	2,612	2,10
2 100,00				4,110	4,657	2,67	2,561	2,871	2,21
2 200,00				4,489	5,098	2,80	2,797	3,142	2,31
2 300,00				4,885	5,559	2,93	3,042	3,425	2,42
2 400,00							3,298	3,720	2,53
2 500,00							3,563	4,028	2,63
2 600,00							3,838	4,347	2,74
2 700,00							4,124	4,679	2,84
2 800,00							4,419	5,022	2,95

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document .

Q (l/s)	DN 1 200			DN 1 400			DN 1 500		
	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
600,00	0,162	0,171	0,53						
650,00	0,188	0,198	0,57						
700,00	0,215	0,228	0,62						
750,00	0,244	0,259	0,66						
800,00	0,275	0,293	0,71	0,130	0,137	0,52			
850,00	0,308	0,329	0,75	0,145	0,153	0,55			
900,00	0,342	0,366	0,80	0,161	0,170	0,58	0,115	0,121	0,51
950,00	0,379	0,406	0,84	0,178	0,189	0,62	0,128	0,134	0,54
1 000,00	0,416	0,447	0,88	0,196	0,208	0,65	0,140	0,148	0,57
1 050,00	0,456	0,490	0,93	0,215	0,228	0,68	0,153	0,162	0,59
1 100,00	0,497	0,536	0,97	0,234	0,249	0,71	0,167	0,177	0,62
1 150,00	0,540	0,583	1,02	0,254	0,270	0,75	0,181	0,192	0,65
1 200,00	0,584	0,632	1,06	0,275	0,293	0,78	0,196	0,208	0,68
1 250,00	0,630	0,683	1,11	0,296	0,317	0,81	0,212	0,225	0,71
1 300,00	0,678	0,736	1,15	0,319	0,341	0,84	0,228	0,242	0,74
1 350,00	0,728	0,791	1,19	0,342	0,366	0,88	0,244	0,260	0,76
1 400,00	0,779	0,848	1,24	0,366	0,392	0,91	0,261	0,278	0,79
1 450,00	0,831	0,907	1,28	0,390	0,420	0,94	0,279	0,297	0,82
1 500,00	0,886	0,968	1,33	0,416	0,447	0,97	0,297	0,317	0,85
1 550,00	0,942	1,031	1,37	0,442	0,476	1,01	0,315	0,338	0,88
1 600,00	0,999	1,096	1,41	0,469	0,506	1,04	0,334	0,359	0,91
1 650,00	1,059	1,162	1,46	0,496	0,536	1,07	0,354	0,380	0,93
1 700,00	1,120	1,231	1,50	0,525	0,568	1,10	0,374	0,402	0,96
1 750,00	1,182	1,301	1,55	0,554	0,600	1,14	0,395	0,425	0,99
1 800,00	1,246	1,374	1,59	0,584	0,633	1,17	0,416	0,449	1,02
1 850,00	1,312	1,448	1,64	0,615	0,667	1,20	0,438	0,473	1,05
1 900,00	1,380	1,524	1,68	0,646	0,702	1,23	0,460	0,497	1,08
1 950,00	1,449	1,603	1,72	0,678	0,738	1,27	0,483	0,522	1,10
2 000,00	1,519	1,683	1,77	0,711	0,775	1,30	0,507	0,548	1,13
2 100,00	1,665	1,849	1,86	0,779	0,851	1,36	0,555	0,602	1,19
2 200,00	1,818	2,023	1,95	0,850	0,930	1,43	0,605	0,658	1,24
2 300,00	1,977	2,204	2,03	0,924	1,013	1,49	0,658	0,716	1,30
2 400,00	2,142	2,394	2,12	1,001	1,099	1,56	0,712	0,777	1,36
2 500,00	2,314	2,591	2,21	1,080	1,189	1,62	0,769	0,841	1,41
2 600,00	2,492	2,795	2,30	1,163	1,283	1,69	0,828	0,906	1,47
2 700,00	2,677	3,008	2,39	1,248	1,379	1,75	0,888	0,974	1,53
2 800,00	2,867	3,228	2,48	1,337	1,480	1,82	0,951	1,045	1,58
2 900,00	3,065	3,456	2,56	1,428	1,583	1,88	1,016	1,118	1,64
3 000,00	3,268	3,691	2,65	1,522	1,691	1,95	1,083	1,194	1,70
3 100,00	3,478	3,934	2,74	1,620	1,801	2,01	1,152	1,271	1,75
3 200,00	3,694	4,185	2,83	1,720	1,915	2,08	1,223	1,352	1,81
3 300,00	3,917	4,444	2,92	1,823	2,033	2,14	1,296	1,435	1,87
3 400,00				1,928	2,154	2,21	1,371	1,520	1,92
3 500,00				2,037	2,279	2,27	1,448	1,607	1,98
3 650,00				2,206	2,472	2,37	1,567	1,743	2,07
3 800,00				2,380	2,673	2,47	1,691	1,885	2,15
3 950,00				2,562	2,882	2,57	1,819	2,032	2,24
4 100,00				2,750	3,099	2,66	1,952	2,184	2,32
4 250,00				2,944	3,323	2,76	2,090	2,342	2,41
4 400,00				3,144	3,555	2,86	2,232	2,505	2,49
4 550,00				3,351	3,795	2,96	2,379	2,674	2,57
4 700,00							2,530	2,848	2,66
4 850,00							2,685	3,027	2,74
5 000,00							2,845	3,212	2,83
5 150,00							3,010	3,403	2,91
5 300,00							3,179	3,599	3,00

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document.

Q (l/s)	DN 1 600			DN 1 800			DN 2 000		
	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)	J (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
1 100,00	0,122	0,128	0,55						
1 200,00	0,143	0,151	0,60						
1 300,00	0,166	0,176	0,65	0,094	0,098	0,51			
1 400,00	0,190	0,202	0,70	0,107	0,113	0,55			
1 500,00	0,216	0,230	0,75	0,122	0,128	0,59			
1 600,00	0,244	0,260	0,80	0,137	0,145	0,63	0,082	0,086	0,51
1 700,00	0,273	0,292	0,85	0,154	0,162	0,67	0,092	0,096	0,54
1 800,00	0,304	0,325	0,90	0,171	0,181	0,71	0,102	0,107	0,57
1 900,00	0,336	0,360	0,94	0,189	0,200	0,75	0,113	0,119	0,60
2 000,00	0,369	0,397	0,99	0,208	0,221	0,79	0,124	0,131	0,64
2 100,00	0,404	0,436	1,04	0,227	0,242	0,83	0,136	0,144	0,67
2 200,00	0,441	0,476	1,09	0,248	0,265	0,86	0,148	0,157	0,70
2 300,00	0,479	0,518	1,14	0,269	0,288	0,90	0,161	0,170	0,73
2 400,00	0,519	0,562	1,19	0,291	0,312	0,94	0,174	0,185	0,76
2 500,00	0,560	0,608	1,24	0,314	0,337	0,98	0,188	0,200	0,80
2 600,00	0,603	0,655	1,29	0,338	0,364	1,02	0,202	0,215	0,83
2 700,00	0,647	0,705	1,34	0,363	0,391	1,06	0,216	0,231	0,86
2 800,00	0,692	0,755	1,39	0,388	0,419	1,10	0,232	0,247	0,89
2 900,00	0,739	0,808	1,44	0,414	0,448	1,14	0,247	0,265	0,92
3 000,00	0,788	0,863	1,49	0,441	0,478	1,18	0,263	0,282	0,95
3 100,00	0,838	0,919	1,54	0,469	0,509	1,22	0,280	0,300	0,99
3 200,00	0,889	0,977	1,59	0,498	0,540	1,26	0,297	0,319	1,02
3 300,00	0,942	1,036	1,64	0,528	0,573	1,30	0,315	0,338	1,05
3 400,00	0,997	1,097	1,69	0,558	0,607	1,34	0,333	0,358	1,08
3 500,00	1,053	1,161	1,74	0,589	0,642	1,38	0,351	0,379	1,11
3 650,00	1,139	1,258	1,82	0,637	0,696	1,43	0,380	0,410	1,16
3 800,00	1,229	1,360	1,89	0,687	0,752	1,49	0,409	0,443	1,21
3 950,00	1,322	1,466	1,96	0,739	0,810	1,55	0,440	0,477	1,26
4 100,00	1,418	1,576	2,04	0,793	0,870	1,61	0,472	0,512	1,31
4 250,00	1,518	1,689	2,11	0,848	0,932	1,67	0,505	0,549	1,35
4 400,00	1,621	1,806	2,19	0,906	0,997	1,73	0,539	0,587	1,40
4 550,00	1,727	1,928	2,26	0,965	1,063	1,79	0,574	0,626	1,45
4 700,00	1,836	2,053	2,34	1,025	1,132	1,85	0,610	0,666	1,50
4 850,00	1,949	2,182	2,41	1,088	1,203	1,91	0,647	0,707	1,54
5 000,00	2,065	2,315	2,49	1,152	1,276	1,96	0,685	0,750	1,59
5 200,00	2,224	2,498	2,59	1,241	1,376	2,04	0,737	0,809	1,66
5 400,00	2,390	2,689	2,69	1,333	1,481	2,12	0,792	0,870	1,72
5 600,00	2,561	2,886	2,79	1,428	1,589	2,20	0,848	0,933	1,78
5 800,00	2,737	3,090	2,88	1,526	1,701	2,28	0,906	0,999	1,85
6 000,00	2,920	3,301	2,98	1,627	1,816	2,36	0,966	1,066	1,91
6 200,00				1,731	1,936	2,44	1,027	1,136	1,97
6 400,00				1,839	2,059	2,52	1,091	1,208	2,04
6 600,00				1,949	2,186	2,59	1,156	1,282	2,10
6 800,00				2,063	2,317	2,67	1,223	1,359	2,16
7 000,00				2,180	2,451	2,75	1,292	1,437	2,23
7 200,00				2,300	2,589	2,83	1,363	1,518	2,29
7 400,00				2,423	2,731	2,91	1,436	1,601	2,36
7 600,00				2,549	2,877	2,99	1,510	1,686	2,42
7 800,00							1,587	1,773	2,48
8 000,00							1,665	1,863	2,55
8 200,00							1,745	1,954	2,61
8 400,00							1,826	2,048	2,67
8 600,00							1,910	2,144	2,74
8 800,00							1,995	2,242	2,80
9 000,00							2,083	2,343	2,86
9 200,00							2,171	2,445	2,93
9 400,00							2,262	2,550	2,99

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document.

UTILISATION DES TABLES POUR LES FLUIDES DE VISCOSITÉ DIVERSES

Dans le cas d'un fluide, liquide ou gazeux, de viscosité cinématique différente de celle du fluide ayant servi à l'établissement des tables – fluide qui sera appelé ci-après « fluide de base » –, l'artifice ci-après permet d'utiliser les tables pour le calcul des pertes de charge, sans avoir à résoudre à nouveau dans chaque cas particulier l'équation en λ constituée par la formule de Colebrook. Le problème consiste, en effet, à déterminer λ , à partir duquel on calcule J par la formule de Darcy :

$$J = \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g}$$

L'examen de la formule de Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k}{3,71 D} + \frac{2,51}{\frac{VD}{\nu} \sqrt{\lambda}} \right)$$

qui a servi de base au calcul des nombres contenus dans les tables, montre que, pour des valeurs données de k et de D , λ ne dépend que de la valeur du rapport $\frac{V}{\nu}$.

Dans tout le cours du raisonnement ci-dessous, k , D et bien entendu, g resteront sans changement.

Soient :

ν_f la viscosité cinématique du fluide f pour lequel on cherche la perte de charge,

ν_b la viscosité cinématique du fluide de base (soit très sensiblement $1,30 \times 10^{-6}$), toutes deux exprimées en m^2/s ;

V_f la vitesse moyenne du fluide f dans la section considérée,

V_b cette vitesse pour le fluide de base, telle que le rapport $\frac{V}{\nu}$ ait la même valeur pour les deux fluides, toutes deux exprimées en m/s ;

J_f la perte de charge cherchée du fluide f ,

J_b celle du fluide de base correspondant à la vitesse V_b ,

toutes deux exprimées en m du fluide considéré par m de conduite.

On voit que λ sera le même pour le fluide f et pour le fluide de base pourvu que l'on ait :

$$\frac{V_f}{\nu_f} = \frac{V_b}{\nu_b} \quad (1)$$

c'est-à-dire qu'il s'obtiendra pour une vitesse du fluide de base

$$V_b = V_f \frac{\nu_b}{\nu_f}$$

Les tables donneront (le cas échéant à l'aide d'une interpolation) la perte de charge J_b définie ci-dessus, correspondant à V_b .

On obtiendra enfin la perte de charge J_f à l'aide de la formule de Darcy :

$$J = \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Celle-ci, écrite pour le fluide f et le fluide de base, et la relation (1) montrent que :

$$\frac{J_f}{J_b} = \frac{V_f^2}{V_b^2} = \frac{\nu_f^2}{\nu_b^2}$$

d'où :

$$J_f = J_b \left(\frac{\nu_f}{\nu_b} \right)^2$$

Mode opératoire

Calculer

$$V_b = V_f \frac{1,30 \times 10^{-6}}{v_f}$$

v_f étant exprimée en m²/s.

Prendre dans la colonne de la table correspondant aux valeurs données de D et de k , la valeur J_b correspondant à V_b , en interpolant selon nécessité.

La perte de charge cherchée s'obtient par :

$$J_f = J_b \left(\frac{v_f}{1,30 \times 10^{-6}} \right)^2$$

Exemple

Eau chaude à 50 °C passant dans une conduite munie d'un revêtement intérieur centrifugé à base de ciment

$D = 200$ mm,

$k = 0,1$ mm,

$V_f = 1$ m/s (correspondant à un débit de 31,42 l/s),

$v_f = 0,550 \times 10^{-6}$ m²/s

$$V_b = V_f \frac{v_b}{v_f} = 1 \times \frac{1,30}{0,550} = 2,3636 \text{ m/s}$$

Interpolation : pour $V = 2,35$ m/s, on a : $J = 0,025 34$

pour $V = 2,40$ m/s, on a : $J = 0,026 40$

Différence 0,001 06

Donc, pour $V_b = 2,3636$ m/s : $J_b \approx 0,025 63$

$$J_f = J_b \left(\frac{v_f}{v_b} \right)^2 \approx 0,025 63 \left(\frac{0,550}{1,30} \right)^2 \approx 0,025 63 \times 0,1790 \approx 0,004 59 \text{ m/m}$$

AÉRAULIQUE**Pertes de charge dans les conduites de gaz****FORMULES DE RENOUARD**

Ce sont les formules couramment utilisées, notamment par les services techniques de Gaz de France. Elles ont été vérifiées par un très grand nombre d'expériences.

Elles s'écrivent comme suit :

1) pour les hautes et moyennes pressions (supérieures à 500 mm d'eau) :

$$P_A^2 - P_B^2 = 48 600 sLQ^{1,82}d^{-4,82} \quad (1)$$

2) pour les basses pressions (inférieures ou égales à 500 mm d'eau) :

$$P_A - P_B = 232 \times 10^6 sLQ^{1,82}d^{-4,82} \quad (2)$$

avec

P_A et P_B = pressions absolues à l'origine et à l'extrémité terminale de la conduite, en bar dans la formule (1) et en mm d'eau dans la formule (2) ;

S = densité du gaz – 0,5 pour le gaz de ville,
 – 0,54 pour le gaz naturel,
 – 1 pour le propane,
 – 1,16 pour l'air propané ;

L = longueur de la conduite en km ;

Q = débit en m³/h à 15 °C et sous 1 013 millibars (760 mm de mercure) ;

d = diamètre de la conduite en mm.

Ces formules approchées sont valables pour $\frac{Q}{d} < 150$.

Les valeurs qu'elles donnent sont voisines de celles résultant de la formule générale

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

avec :

$$\lambda = 0,172 \text{ Re}^{-0,18},$$

J étant la perte de charge en m d'eau par m de conduite,

λ le coefficient de perte de charge,

V la vitesse du gaz en m/s,

g l'accélération de la pesanteur en m/s².

D le diamètre de la conduite en m,

Re le nombre de Reynolds.

Les valeurs numériques correspondant à ces équations sont données très rapidement par une règle à calcul mise au point par la Direction des Etudes et Recherches de Gaz de France*.

Les tableaux des pages suivantes donnent respectivement les valeurs par kilomètre de conduite de $P_A^2 - P_B^2$ dans le cas des hautes et moyennes pressions et de $P_A - P_B$ dans le cas des basses pressions, pour une densité de gaz de 0,50, égale à celle du gaz de ville. Dans le cas d'autres gaz, il suffit de multiplier par les coefficients suivants les valeurs figurant dans les tableaux :

1,08 pour le gaz naturel ;

2 pour l'air propane ;

2,32 pour le propane.

* Cette règle permet également le calcul de l'énergie nécessaire à la compression du gaz.

Hautes et moyennes pressions

Valeurs de $P_A^2 - P_B^2$ dans la première formule de Renouard

pour : L = 1 km - s = 0,5

Diamètre de la conduite d mm	Débit Q en mètres cubes par heure à 15 °C et sous 1013,25 millibars									
	100	150	200	300	400	500	700	1 000	1 500	2 000
60	286 x 10 ⁻³	596 x 10 ⁻³	101 x 10 ⁻²	211 x 10 ⁻²	355 x 10 ⁻²	533 x 10 ⁻²	984 x 10 ⁻²	188 x 10 ⁻¹	394 x 10 ⁻¹	665 x 10 ⁻¹
80	712 x 10 ⁻⁴	151 x 10 ⁻³	251 x 10 ⁻³	526 x 10 ⁻³	888 x 10 ⁻³	133 x 10 ⁻²	246 x 10 ⁻²	471 x 10 ⁻²	984 x 10 ⁻²	166 x 10 ⁻¹
100	243 x 10 ⁻⁴	508 x 10 ⁻⁴	858 x 10 ⁻⁴	180 x 10 ⁻³	303 x 10 ⁻³	455 x 10 ⁻³	839 x 10 ⁻³	161 x 10 ⁻²	336 x 10 ⁻²	567 x 10 ⁻²
125	829 x 10 ⁻⁵	173 x 10 ⁻⁴	293 x 10 ⁻⁴	612 x 10 ⁻⁴	103 x 10 ⁻³	155 x 10 ⁻³	286 x 10 ⁻³	548 x 10 ⁻³	115 x 10 ⁻²	193 x 10 ⁻²
150	345 x 10 ⁻⁵	722 x 10 ⁻⁵	122 x 10 ⁻⁴	254 x 10 ⁻⁴	430 x 10 ⁻⁴	645 x 10 ⁻⁴	119 x 10 ⁻³	229 x 10 ⁻³	478 x 10 ⁻³	810 x 10 ⁻³
175	165 x 10 ⁻⁵	343 x 10 ⁻⁵	580 x 10 ⁻⁵	122 x 10 ⁻⁴	205 x 10 ⁻⁴	306 x 10 ⁻⁴	565 x 10 ⁻⁴	108 x 10 ⁻³	228 x 10 ⁻³	381 x 10 ⁻³
200	870 x 10 ⁻⁶	180 x 10 ⁻⁵	305 x 10 ⁻⁵	638 x 10 ⁻⁵	107 x 10 ⁻⁴	162 x 10 ⁻⁴	297 x 10 ⁻⁴	570 x 10 ⁻⁴	119 x 10 ⁻³	202 x 10 ⁻³
250	295 x 10 ⁻⁶	618 x 10 ⁻⁶	104 x 10 ⁻⁵	218 x 10 ⁻⁵	367 x 10 ⁻⁵	536 x 10 ⁻⁵	102 x 10 ⁻⁴	195 x 10 ⁻⁴	408 x 10 ⁻⁴	690 x 10 ⁻⁴
300		257 x 10 ⁻⁶	434 x 10 ⁻⁶	910 x 10 ⁻⁶	153 x 10 ⁻⁵	229 x 10 ⁻⁵	422 x 10 ⁻⁵	810 x 10 ⁻⁵	169 x 10 ⁻⁴	260 x 10 ⁻⁴
350			206 x 10 ⁻⁶	430 x 10 ⁻⁶	727 x 10 ⁻⁶	109 x 10 ⁻⁵	200 x 10 ⁻⁵	385 x 10 ⁻⁵	802 x 10 ⁻⁵	136 x 10 ⁻⁴
400					381 x 10 ⁻⁶	578 x 10 ⁻⁶	105 x 10 ⁻⁵	202 x 10 ⁻⁵	422 x 10 ⁻⁵	715 x 10 ⁻⁵
450					193 x 10 ⁻⁶	325 x 10 ⁻⁶	600 x 10 ⁻⁶	114 x 10 ⁻⁵	239 x 10 ⁻⁵	402 x 10 ⁻⁵
500					130 x 10 ⁻⁶	195 x 10 ⁻⁶	358 x 10 ⁻⁶	688 x 10 ⁻⁶	144 x 10 ⁻⁵	243 x 10 ⁻⁵
600							149 x 10 ⁻⁶	270 x 10 ⁻⁶	599 x 10 ⁻⁶	102 x 10 ⁻⁵
700								135 x 10 ⁻⁶	284 x 10 ⁻⁶	440 x 10 ⁻⁶
800									149 x 10 ⁻⁶	252 x 10 ⁻⁶
1 000										

Diamètre de la conduite d mm	Débit Q en mètres cubes par heure à 15 °C et sous 1013,25 millibars									
	3 000	4 000	5 000	7 000	10 000	15 000	20 000	30 000	40 000	50 000
60										
80	347 x 10 ⁻¹	587 x 10 ⁻¹	881 x 10 ⁻¹							
100	119 x 10 ⁻¹	200 x 10 ⁻¹	300 x 10 ⁻¹	554 x 10 ⁻¹						
125	404 x 10 ⁻²	683 x 10 ⁻²	102 x 10 ⁻¹	189 x 10 ⁻¹	362 x 10 ⁻¹					
150	168 x 10 ⁻²	285 x 10 ⁻²	428 x 10 ⁻²	789 x 10 ⁻²	152 x 10 ⁻¹					
175	810 x 10 ⁻³	135 x 10 ⁻²	205 x 10 ⁻²	375 x 10 ⁻²	720 x 10 ⁻²	315 x 10 ⁻¹				
200	422 x 10 ⁻³	710 x 10 ⁻³	106 x 10 ⁻²	197 x 10 ⁻²	376 x 10 ⁻²	788 x 10 ⁻²	254 x 10 ⁻¹	529 x 10 ⁻¹		
250	144 x 10 ⁻³	243 x 10 ⁻³	365 x 10 ⁻³	673 x 10 ⁻³	129 x 10 ⁻²	270 x 10 ⁻²	121 x 10 ⁻¹	279 x 10 ⁻¹	475 x 10 ⁻¹	
300	595 x 10 ⁻⁴	102 x 10 ⁻³	152 x 10 ⁻³	278 x 10 ⁻³	535 x 10 ⁻³	112 x 10 ⁻²	455 x 10 ⁻²	950 x 10 ⁻²	160 x 10 ⁻¹	243 x 10 ⁻¹
350	284 x 10 ⁻⁴	480 x 10 ⁻⁴	720 x 10 ⁻⁴	134 x 10 ⁻³	255 x 10 ⁻³	530 x 10 ⁻³	172 x 10 ⁻²	395 x 10 ⁻²	668 x 10 ⁻²	100 x 10 ⁻¹
400	148 x 10 ⁻⁴	251 x 10 ⁻⁴	378 x 10 ⁻⁴	699 x 10 ⁻⁴	133 x 10 ⁻³	280 x 10 ⁻³	895 x 10 ⁻³	188 x 10 ⁻²	318 x 10 ⁻²	476 x 10 ⁻²
450	850 x 10 ⁻⁵	143 x 10 ⁻⁴	230 x 10 ⁻⁴	395 x 10 ⁻⁴	752 x 10 ⁻⁴	159 x 10 ⁻³	470 x 10 ⁻³	980 x 10 ⁻³	166 x 10 ⁻²	250 x 10 ⁻²
500	510 x 10 ⁻⁵	860 x 10 ⁻⁵	128 x 10 ⁻⁴	239 x 10 ⁻⁴	428 x 10 ⁻⁴	950 x 10 ⁻⁴	269 x 10 ⁻³	560 x 10 ⁻³	950 x 10 ⁻³	156 x 10 ⁻²
600	222 x 10 ⁻⁵	357 x 10 ⁻⁵	535 x 10 ⁻⁵	990 x 10 ⁻⁵	189 x 10 ⁻⁴	395 x 10 ⁻⁴	162 x 10 ⁻³	337 x 10 ⁻³	570 x 10 ⁻³	850 x 10 ⁻³
700	100 x 10 ⁻⁵	168 x 10 ⁻⁵	253 x 10 ⁻⁵	468 x 10 ⁻⁵	900 x 10 ⁻⁵	188 x 10 ⁻⁴	670 x 10 ⁻⁴	140 x 10 ⁻³	236 x 10 ⁻³	355 x 10 ⁻³
800	525 x 10 ⁻⁶	880 x 10 ⁻⁶	133 x 10 ⁻⁵	292 x 10 ⁻⁵	475 x 10 ⁻⁵	980 x 10 ⁻⁵	317 x 10 ⁻⁴	662 x 10 ⁻⁴	112 x 10 ⁻³	168 x 10 ⁻³
1 000	180 x 10 ⁻⁶	310 x 10 ⁻⁶	458 x 10 ⁻⁶	840 x 10 ⁻⁶	160 x 10 ⁻⁵	336 x 10 ⁻⁵	166 x 10 ⁻⁴	350 x 10 ⁻⁴	588 x 10 ⁻⁴	880 x 10 ⁻⁴
							568 x 10 ⁻⁵	119 x 10 ⁻⁴	200 x 10 ⁻⁴	300 x 10 ⁻⁴

Basses pressions

Valeurs de $P_A - P_B$ dans la deuxième formule de Renouard

pour : $L = 1 \text{ km} - s = 0,5$

Diamètre de la conduite d mm	Débit Q en mètres cubes par heure à 15 °C et sous 1013,25 millibars									
	100	150	200	300	400	500	700	1 000	1 500	2 000
80	342									
100	116	243	412							
125	39,7	83	140	293	495					
150	16,5	34,5	58	122	207	308				
175	7,9	16,4	27,8	58	97,5	146	270			
200	4,2	8,6	14,6	30,5	51,5	77	142	273		
250	1,4	3,0	5,0	10,4	17,5	26,3	48,5	93	195	295
300		1,2	2,1	4,3	7,3	10,9	20	38,5	81	136
350			1	2,05	3,5	5,2	9,6	18,4	38,3	64,5
400				1,08	1,8	2,7	5	9,6	20,2	34
450					1	1,5	2,8	5,4	11,3	19
500							1,7	3,3	6,9	11,6
600								1,4	2,8	4,8
700									1,35	2,3
800										1,2
1 000										

Diamètre de la conduite d mm	Débit Q en mètres cubes par heure à 15 °C et sous 1013,25 millibars									
	3 000	4 000	5 000	7 000	10 000	15 000	20 000	30 000	40 000	50 000
80										
100										
125										
150										
175										
200										
250										
300	285	480								
350	135	229	343							
400	71	120	181	333						
450	39,8	68	102	188	358					
500	24,3	41	61,8	114	218	457				
600	10,1	17	25,6	47	91	189	290			
700	4,8	8,1	12,2	22,3	43	89,5	153	318		
800	2,5	4,2	6,4	11,8	22,5	47,2	79,5	167	281	423
1 000		1,45	2,2	4	7,7	16,1	24,8	57	96	144

HYDRAULIQUE

Section mouillée - Périmètre mouillé - Rayon hydraulique

Dans un écoulement, la **section mouillée** S est la section droite du liquide.

Le **périmètre mouillé** P est la partie du périmètre de la section mouillée qui est en contact avec les parois solides du canal ou de la conduite où a lieu l'écoulement.

Il s'ensuit que, dans les écoulements en conduites non pleines ou en canaux découverts, le périmètre mouillé ne comprend pas la partie en contact avec l'air.

Le **rayon hydraulique** R est le rapport entre la section mouillée S et le périmètre mouillé P :

$$R = \frac{S}{P}$$

Remarque : Dans une conduite circulaire, le rayon hydraulique est différent du rayon géométrique r de la section. Par exemple, dans une conduite circulaire pleine, le rayon hydraulique est égal à la moitié du rayon géométrique :

$$R = \frac{\pi r^2}{2 \pi r} = \frac{r}{2}$$

Théorème de Bernoulli

Dans l'écoulement permanent et sans frottements d'un liquide incompressible, la somme des énergies de position, de pression et de mouvement (énergie cinétique) d'une particule liquide est constante tout le long de sa trajectoire.

Ainsi qu'on le voit, le théorème de Bernoulli exprime la conservation de l'énergie mécanique dans l'écoulement parfait considéré.

Soient :

- ρ la masse volumique du liquide en kilogrammes par mètre cube ;
- g l'accélération de la pesanteur en mètres par seconde par seconde ;
- v le volume de la particule liquide en mètres cubes ;
- z la cote de la particule liquide par rapport à un plan horizontal de référence, exprimée en mètres ;
- p la pression à laquelle la particule liquide est soumise, exprimée en pascals* ;
- V la vitesse de la particule liquide en mètres par seconde.

Le poids de la particule liquide est égal à ρgv . Par unité de poids du liquide, les trois formes d'énergie ci-dessus ont pour valeurs respectives :

$$\text{énergie de position : } \frac{\rho gv \cdot z}{\rho gv} = z$$

$$\text{énergie de pression : } \frac{pv}{\rho gv} = \frac{p}{\rho g}$$

$$\text{énergie cinétique : } \frac{pv \frac{V^2}{2}}{\rho gv} = \frac{V^2}{2g}$$

Ces trois quantités sont homogènes à des longueurs ; elles correspondent à des hauteurs du liquide ; compte tenu du choix d'unités précisé plus haut, elles s'expriment en mètres.

Le théorème de Bernoulli se traduit par l'égalité :

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} = C^{\text{te}}$$

Cette constante s'appelle la **charge** ; celle-ci s'exprime en mètres de hauteur du liquide considéré.

* Il est rappelé que l'unité SI pascal est égale à 10^{-5} fois son multiple bar, unité d'emploi plus courant.

** La quantité $\frac{V^2}{2g}$ est la hauteur de laquelle une particule liquide, précédemment immobile, devrait tomber en chute libre pour atteindre la vitesse V .

Cf. *Table des vitesses théoriques* $V = \sqrt{2gh}$.

Hauteur et ligne piézométriques - Charge et ligne de charge

Les notations ci-dessus étant conservées*, si, dans l'écoulement d'un liquide, on fait correspondre à chaque position d'une particule liquide un point P placé à sa verticale, à une cote augmentée algébriquement de $\frac{p}{\rho g}$, la cote du point P est appelée **hauteur piézométrique** ; le lieu des points P quand la particule se déplace est la **ligne piézométrique****.

Une nouvelle augmentation de cote, faite à partir du point P, et égale à $\frac{V^2}{2g}$, donne un point C, dont la cote est la **charge** au point considéré du liquide ; le lieu des points C est la **ligne de charge** de l'écoulement.

Le théorème de Bernoulli, qui s'applique au cas d'un écoulement parfait, montre que, dans un tel écoulement, la cote du point C est constante et la ligne de charge se trouve dans un plan horizontal. Dans les écoulements réels, au contraire, les frottements ont pour effet de donner à cette ligne une allure descendante ; la différence des cotes de la ligne de charge entre deux points du liquide est appelée **perte de charge** entre ces deux points.

Pertes de charge singulières dans les conduites de liquides à section circulaire

Dans tous les cas ci-après, il résulte du passage du liquide au point singulier une perte de charge donnée par la formule :

$$\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$$

dans laquelle

Δh est la perte de charge en mètres de liquide,

V la vitesse moyenne du liquide dans la section considérée, en mètres par seconde***,

g l'accélération de la pesanteur en mètres par seconde par seconde et

k un coefficient sans dimension dépendant de la nature du point singulier dont il s'agit.

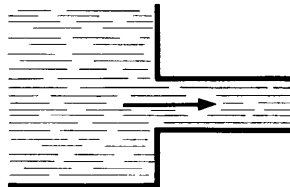
k est donné ci-après pour les divers cas les plus courants.

RACCORDEMENT D'UNE CONDUITE AVEC UN GRAND RÉSERVOIR

Remarque : Toutes les formules ci-dessous sont également valables pour les conduites et ajutages à axe vertical partant du fond horizontal du réservoir ou y aboutissant.

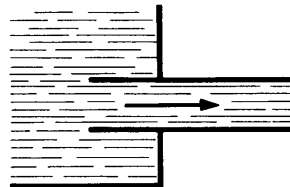
1) DÉPART

a) Sans saillie à l'intérieur du réservoir, avec raccordement à angles vifs



$$k = 0,5 ; \quad \Delta h = 0,5 \frac{V^2}{2g}$$

b) Avec saillie à l'intérieur du réservoir



$$k = 1**** ; \quad \Delta h = \frac{V^2}{2g}$$

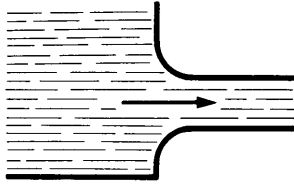
* Voir *Théorème de Bernoulli*, page précédente.

** La pression représentée par p est généralement la pression relative (pression absolue diminuée de la pression atmosphérique) ; dans ces conditions, la hauteur piézométrique correspond au niveau qu'atteindrait le liquide dans un tube de pression statique partant de la particule liquide et ouvert à l'atmosphère à son extrémité supérieure.

*** Le cas échéant, il sera précisé dans quelle partie de la conduite cette section est située.

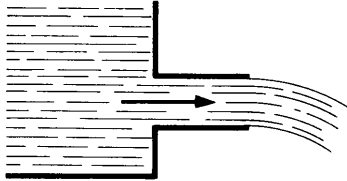
**** Pour une saillie dont la longueur est comprise entre 1 et 2 fois le diamètre.

c) Sans saillie à l'intérieur du réservoir, avec raccordement de profil arrondi



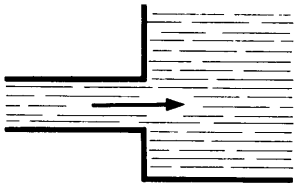
$$k = 0,05^* ; \quad \Delta h = 0,05 \frac{V^2}{2g}$$

d) Sans saillie à l'intérieur du réservoir, avec raccordement à angles vifs, ajustage débitant à gueule bée



$$k = 1 ; \quad \Delta h = \frac{V^2}{2g}$$

2) ARRIVÉE



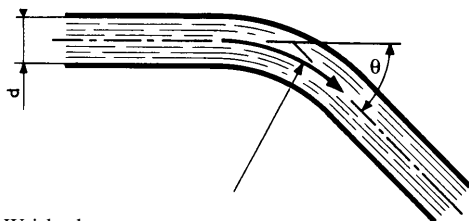
$$k = 1 ; \quad \Delta h = \frac{V^2}{2g}$$

Cette formule est valable pour le cas de la figure, mais peut s'appliquer aussi quand la conduite fait saillie à l'intérieur du réservoir ou que le raccordement présente un profil arrondi.

* Cette valeur est une moyenne ; k dépend du profil de l'arrondi.

COUDES

1) ARRONDI



$$k : \text{voir ci-après} ; \Delta h = k \frac{V^2}{2g}$$

k est donné par le tableau suivant, en fonction de

r = rayon de courbure du coude en mètres ;

d = diamètre intérieur du tuyau en mètres ;

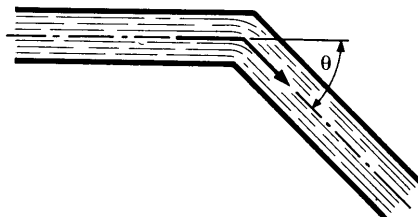
θ = déviation en degrés.

d'après la formule de Weisbach, on a :

$$k = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{d}{2r} \right)^{3,5} \right] \frac{\theta}{90}$$

θ (°) \ $\frac{r}{d}$	1	1,5	2	2,5
11° 25	0,037	0,021	0,018	0,017
22° 5	0,074	0,043	0,036	0,034
30°	0,098	0,057	0,048	0,046
45°	0,147	0,085	0,073	0,069
90°	0,294	0,170	0,145	0,138
180°	0,588	0,341	0,291	0,275

2) BRUSQUE



$$k : \text{voir ci-après} ; \Delta h = k \frac{V^2}{2g}$$

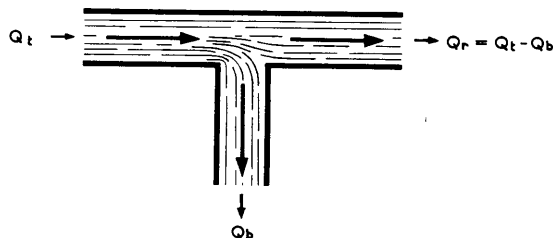
k est donné par le tableau ci-après, en fonction de

θ = déviation en degrés.

θ (°)	22,5	30	45	60	90
k	0,07	0,11	0,24	0,47	1,13

TÉS (branchement à 90° de même diamètre que la conduite rectiligne, raccordement à angles vifs)

1) BRANCHEMENT DE PRISE



$$k : \text{voir ci-après} ; \Delta h = k \frac{V_t^2}{2g}$$

k et Δh prennent chacun deux valeurs suivant que l'on considère le tuyau rectiligne de départ (k_r et Δh_r) ou le branchement (k_b et Δh_b) ;

V_t est la vitesse du courant d'arrivée en mètre par seconde.

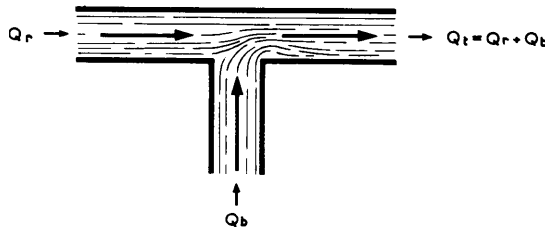
k_r et k_b sont donnés par le tableau ci-après, en fonction de

Q_t = débit total (débit d'arrivée) en mètres cubes par seconde ;

Q_b = débit dans le branchement (débit de prise latérale) en mètres cube par seconde.

$\frac{Q_b}{Q_t}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
k_r	0,04	-0,08	-0,05	0,07	0,21	0,35*
k_b	0,95*	0,88	0,89	0,95	1,10	1,28

2) BRANCHEMENT D'AMENÉE



k : voir ci-après ; $\Delta h = k \frac{V_t^2}{2g}$

k et Δh prennent chacun deux valeurs, suivant que l'on considère le tuyau rectiligne de départ (k_r et Δh_r) ou le branchement (k_b et Δh_b) ;

V_t est la vitesse du courant d'arrivée en mètre par seconde.

k_r et k_b sont donnés par le tableau ci-après, en fonction de

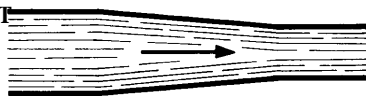
Q_b = débit dans le branchement (débit d'amenée latérale) en mètres cube par seconde ;

Q_t = débit total (débit de départ) en mètres cubes par secondes.

$\frac{Q_b}{Q_t}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
k_r	0,04	0,17	0,30	0,41	0,51	0,60*
k_b	-1,12*	-0,40	0,08	0,47	0,72	0,91

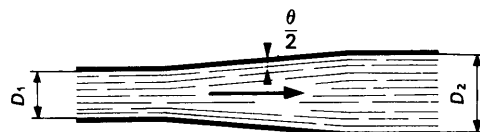
CONES

1) CONVERGENT



La perte de charge est négligeable.

2) DIVERGENT



a) Angle d'ouverture inférieur ou égal à 10°

k : voir ci-après $\Delta h = k \frac{V_t^2}{2g}$

* Ces valeurs sont celles vers lesquelles tendent k_r ou k_b , quand le rapport $\frac{Q_b}{Q_t}$ tend respectivement vers 1 (débit nul dans le tuyau rectiligne après le branchement) ou vers 0 (débit nul dans le branchement).

V_1 étant la vitesse moyenne avant élargissement, en mètre par seconde.

$$K = 3,2 \left(\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right)^{1,25} \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2$$

avec D_1 = diamètre intérieur de la conduite avant élargissement, en mètres ;

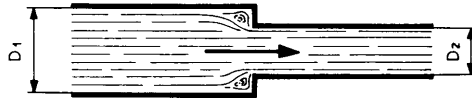
D_2 = diamètre intérieur de la conduite après élargissement, en mètres.

b) Angle d'ouverture supérieur à 10°

La perte de charge est donnée par la formule ci-dessous relative aux élargissements brusques.*

CHANGEMENT BRUSQUE DE DIAMÈTRE

1) RÉTRÉCISSEMENT



k : voir ci-après ; $\Delta h = k \frac{V_2^2}{2g}$

V_2 étant la vitesse moyenne après rétrécissement, en mètres par seconde.

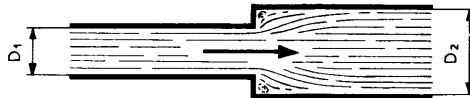
$$k = 0,5 \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \right]$$

k est donné par le tableau suivant, en fonction de

D_1 = diamètre intérieur de la conduite avant rétrécissement, en mètres ;

D_2 = diamètre intérieur de la conduite après rétrécissement, en mètres.

2) ÉLARGISSEMENT



k : voir ci-après ; $\Delta h = k \frac{V_1^2}{2g}$

V_1 étant la vitesse moyenne après rétrécissement, en mètres par seconde.

$$k = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2$$

avec D_1 = diamètre intérieur de la conduite avant élargissement, en mètres ;

D_2 = diamètre intérieur de la conduite après élargissement, en mètres.

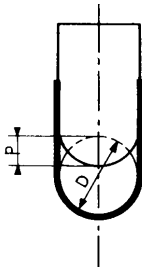
* En effet, il y a décollement des veines liquides et le phénomène devient semblable à celui qu'on observe en cas d'élargissement brusque.

Pour l'angle d'ouverture de 10° – transition entre les champs d'application des deux formules –, on peut remarquer que celles-ci donnent bien le même résultat lorsque le rapport

$\frac{D_2}{D_1}$ est voisin de 1,25, valeur très courante.

APPAREILS DE ROBINETTERIE

1) ROBINETS-VANNES



k : voir ci-après ; $\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$

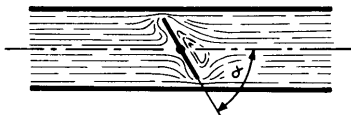
Le tableau suivant donne des valeurs expérimentales moyennes de k , en fonction de

p = distance de pénétration de l'obturateur dans la section, supposée circulaire, offerte par le robinet-vanne au passage du liquide, exprimée en mètres ;

D = diamètre de cette section (diamètre intérieur du robinet-vanne), en mètres.

$\frac{p}{D}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$
k	0,07	0,26	0,81	2,1	5,5	17	98

2) ROBINETS A PAPILLON

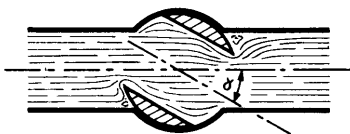


k : voir ci-après ; $\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$

Le tableau suivant donne des valeurs expérimentales moyennes de k , en fonction de α = angle formé par le papillon et l'axe de la conduite, en degrés.

α	5	10	15	20	30	40	45	50	60	70
k	0,24	0,52	0,90	1,5	3,9	11	19	33	120	750

3) ROBINETS A TOURNANT



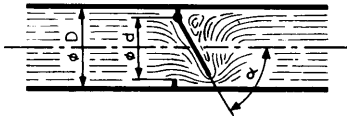
k : voir ci-après ; $\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$

Le tableau suivant donne des valeurs expérimentales moyennes de k , en fonction de

α = angle formé par l'axe de lumière du boisseau – supposée à section circulaire et de même diamètre que l'intérieur du robinet – et l'axe de la conduite, en degrés.

α	5	10	15	25	35	45	55	65
k	0,05	0,29	0,75	3,1	9,7	31	110	490

4) CLAPETS DE RETENUE



k : voir ci-après ; $\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$

Le tableau suivant donne des valeurs expérimentales moyennes de k , en fonction de

α = angle formé par le clapet mobile et l'axe de la conduite, en degrés ;

ces valeurs de k s'entendent pour le cas où le diamètre de passage d du siège du clapet est égal à 0,73 fois le diamètre D de la conduite.

α	20	30	40	50	60	70	75
k	1,7	3,2	6,6	14	30	62	90

5) ROBINETS A SOUPE, A POINTEAU, A AIGUILLE

Les pertes de charge dépendent trop de la conformation intérieure des appareils pour qu'on puisse donner des indications de valeur générale.

Conduites en parallèle : comparaison des débits

Table pour la comparaison approximative des débits de conduites de pentes et longueurs égales, mais de diamètres différents.

Diamètre intérieur mm	Unités de débit	Diamètre intérieur mm	Unités de débit	Diamètre intérieur mm	Unités de débit	Diamètre intérieur mm	Unités de débit
60	2,6	200	62	500	682	1 100	5 365
80	5,6	250	111	600	1 099	1 200	6 735
100	10,0	300	179	700	1 645	1 400	10 076
125	18,0	350	268	800	2 333	1 500	12 066
150	29,0	400	380	900	3 174	1 600	14 281
175	43,5	450	517	1 000	4 182	1 800	19 423
						2 000	25 569

MODE OPÉRATOIRE

Il consiste à diviser le débit total de l'ensemble des conduites fonctionnant en parallèle en parties proportionnelles aux unités de débit correspondant au diamètre intérieur de ces conduites.

Exemple

Deux tuyaux de diamètre intérieur 150 et 300 millimètres partent d'une machine hydraulique ou d'un réservoir et fournissent ensemble 110 litres par seconde. Quel est le débit de chacun ?

D'après le tableau, les deux tuyaux ont : $29 + 179 = 208$ unités de débit, et à celles-ci correspond le débit total de 110 litres par seconde.

Le plus petit tuyau fournit donc :

$$Q_1 (150) = \frac{29}{208} \cdot 110 = 15,34 \text{ l/sec}$$

$$Q_2 (300) = \frac{179}{208} \cdot 110 = 94,66 \text{ l/sec.}$$

Conduites de refoulement : diamètre économique

La perte de charge due au frottement de l'eau dans les conduites varie en sens inverse du diamètre des tuyaux : aussi y a-t-il intérêt à augmenter celui-ci pour diminuer la dépense de force motrice nécessaire au refoulement ; cependant, la dépense d'amortissement de la conduite se trouve ainsi accrue.

On conçoit donc qu'il existe un **diamètre économique** pour lequel la somme de ces deux dépenses est minimale.

FORMULE DE VIBERT

En première approximation, le diamètre à choisir s'obtient à l'aide de la formule de Vibert :

$$D = 1,456 \times \left(\frac{ne}{f} \right)^{0,154} \times Q^{0,46},$$

avec :

D = diamètre économique de la conduite en mètres ;

n = temps de fonctionnement journalier de la pompe en heures, divisé par 24 ;

e = prix du kilowattheure en francs ;

f = prix de la conduite posée en francs par kilogramme ;

Q = débit en mètres cubes par seconde.

Le coefficient 1,456 de la formule ci-dessus tient compte d'un taux d'amortissement de 8 % pendant 50 ans.

Le diamètre D ainsi déterminé est un diamètre théorique, qui, sauf exception, ne coïncide pas avec un diamètre commercial.

En général, on réalise la conduite au moyen de tuyaux et accessoires du diamètre commercial immédiatement supérieur à D ; on peut aussi faire des calculs de rentabilité sur la base des diamètres commerciaux immédiatement inférieur et supérieur à D , et adopter alors celui d'entre eux qui paraîtra le plus convenable compte tenu des différentes données du problème.

MÉTHODE DE LABYE

Cette méthode permet de déterminer directement les diamètres commerciaux à utiliser en fonction des débits dans les différents tronçons d'une conduite ou même d'un réseau ; le diamètre trouvé peut d'ailleurs ne pas être uniforme sur toute la longueur d'un tronçon sans dérivations.

Coups de bélier

VITESSE DE PROPAGATION, OU CÉLÉRITÉ

Les coups de bélier consistent en des oscillations de pression – surpressions et dépressions alternatives – provoquées par une modification rapide du régime d'écoulement dans une conduite transportant un liquide. Ces oscillations parcourent la conduite, d'une de ses extrémités à l'autre, en un mouvement d'aller et retour périodique ;

la vitesse de propagation de l'onde ainsi formée est donnée par la formule :

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho \left(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{D}{Ee} \right)}}$$

dans laquelle

a = vitesse de propagation, ou célérité, en mètres par seconde ;

ρ = masse volumique du liquide en kilogrammes par mètre cube* ;

ε = module d'élasticité de volume du liquide en newtons par mètre carré** ;

D = diamètre intérieur de la conduite en mètres ;

E = module d'élasticité en traction du matériau constituant les tuyaux, exprimé en newtons par mètre carré*** ;

e = épaisseur des tuyaux en mètres.

* Pour l'eau, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

** Il est rappelé que le module d'élasticité de volume d'un liquide est le rapport d'une augmentation de pression à l'augmentation relative correspondante de la masse spécifique :

$$\varepsilon = \frac{\Delta p}{\Delta \rho / \rho}$$

Pour l'eau à 10 °C, $\varepsilon \approx 2,05 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.

*** Pour la fonte ductile, $E = 1,7 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$.

pour l'acier, E varie de 2×10^{11} à $2,2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$.

VALEUR DE LA SURPRESSION ET DE LA DÉPRESSION

Les formules suivantes permettent de calculer dans les cas simples les maxima des variations en plus ou en moins de la pression par rapport au régime normal (surpressions ou dépressions) ; ces maxima sont égaux en valeur absolue. Deux cas sont à distinguer :

1) Variation instantanée de la vitesse d'écoulement : formule d'Allievi :

$$\Delta h = \frac{a\Delta V}{g}$$

avec

Δh = valeur absolue de la surpression ou de la dépression maximale en mètres du liquide transporté ;

a = vitesse de propagation, ou célérité, de l'onde de surpression ou de dépression, exprimée en mètres par seconde ;

ΔV = valeur absolue de la différence entre les vitesses en régime permanent avant et après le coup de bélier, exprimée en mètres par seconde ;

g = accélération de la pesanteur en mètres par seconde par seconde.

En prenant les valeurs approchées $a = 1\ 000$ et $g = 10$, on obtient la formule :

$$\Delta h = 100 \Delta V,$$

qui donne Δh en première approximation.

2) Variation linéaire de la vitesse d'écoulement en fonction du temps : formule de Michaud :

$$\Delta h = \frac{2L\Delta V}{gT}$$

avec les mêmes notations et unités que ci-dessus pour la formule d'Allievi et, de plus :

L = longueur de la conduite en mètres

T = durée de la variation de vitesse, en secondes

CALCUL COMPLET

Une méthode graphique permettant de déterminer les pressions et les débits en fonction du temps en tout point d'une canalisation a été donnée par Louis Bergeron dans un ouvrage intitulé *Du coup de bélier en hydraulique au coup de foudre en électricité* (Dunod, Paris, 1950).

Rayons hydrauliques des collecteurs à section circulaire, non pleins, en fonction du remplissage

Supposons la conduite remplie à r % (rapport de la **hauteur** du liquide dans la conduite au diamètre de celle-ci) et soit a le rapport entre le rayon hydraulique de la conduite et son diamètre.

Les valeurs de n en fonction de r sont données par le tableau suivant :

r	20	25	30	35	40	45	50	55	60
a	0,121	0,147	0,171	0,193	0,214	0,233	0,250	0,265	0,278

r	65	70	75	80	85	90	95	100
a	0,288	0,296	0,302	0,304	0,303	0,298	0,286	0,250

Remarque : Les valeurs de n données pour celles de r qui dépassent 80 n'ont qu'un intérêt théorique : en pratique, on ne rencontre pas de conduites dans lesquelles r présente de façon stable des valeurs voisines de 100.

Débits et vitesses dans des collecteurs à section circulaire, non pleins, en fonction du remplissage

Considérons une conduite à section circulaire de pente uniforme, transportant un liquide et partiellement remplie

Soient

q le débit de cette conduite, supposée remplie à r % (rapport de la **hauteur** du liquide dans la conduite au diamètre de celle-ci), et

V la vitesse correspondante à q ;

Q son débit si elle était entièrement remplie sans que la veine supérieure du liquide soit soumise à aucune pression* ;

V sa vitesse correspondante à Q , c'est-à-dire à pleine section ;

q et v s'obtiennent en fonction de Q et V , par les relations

$$q = mQ, \text{ et } V = p \cdot V$$

dans laquelle m et p sont des coefficients donnés par le tableau suivant en fonction de r .

r	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
m	0,021	0,049	0,088	0,137	0,196	0,263	0,337	0,416	0,500	0,586
p	0,401	0,517	0,615	0,700	0,776	0,843	0,902	0,954	1,000	1,039

r	60	65	70	75	80	85	90	95	100
m	0,672	0,756	0,837	0,912	0,977	1,030	1,066	1,075	1,000
p	1,072	1,099	1,120	1,133	1,140	1,137	1,124	1,095	1,000

m et p sont indépendants du diamètre et de la pente des conduites.

Remarque : Les valeurs de m et p données pour celles de r qui dépassent 80 n'ont qu'un intérêt théorique : en pratique, on ne rencontre pas de conduites dans lesquelles r présente de façon stable des valeurs voisines de 100.

* Q est donc le débit de la conduite supposée entièrement pleine pour lequel la perte de charge est égale à sa pente.

Débites des égouts (conduites fermées charriant des matières solides au sein du liquide)

Formules extraites de l'*Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations*, (émanant des ministères de l'Intérieur, de la Culture et de l'Environnement, de l'Équipement et Aménagement du Territoire, de l'Agriculture, de la Santé et de la Sécurité sociale). Édition 1977.

GÉNÉRALITÉS

En général les ouvrages sont calculés suivant une formule d'écoulement résultant de celle de Chézy

$$V = C \sqrt{R} \cdot I$$

V : Vitesse moyenne dans la section considérée, en mètres par seconde

R : Rayon hydraulique de cette section, en mètres

I : Pente aux abords de cette section, en mètres par mètre

Q : Débit dans cette section, en mètres cubes par seconde

S : Section mouillée, en mètres carrés

C : Coefficient qui peut être adopté par la formule de Bazin

$$C = \frac{87}{1 + \gamma / \sqrt{R}}$$

γ : Coefficient d'écoulement qui varie selon les matériaux et la nature des eaux transportées.

ÉGOUTS D'EAUX USÉES EN SYSTÈME SÉPARATIF

La pellicule grasse qui se forme sur les parois facilite l'écoulement, et, pour les diamètres courants, le coefficient d'écoulement de Bazin peut être pris à 0,25, ce qui conduit à la formule

$$V = 70 R^{\frac{3}{4}} I^{\frac{1}{2}}$$

Q est donné par

$$Q = SV$$

NB : Si le réseau de canalisation est construit avec soin avec des matériaux choisis, et bien entretenu, le coefficient de Bazin peut être pris à 0,16, ce qui revient à majorer les débits ci-dessus de 20 %. Réciproquement, pour un même débit, les pentes peuvent être réduites d'un tiers.

ÉGOUTS EN SYSTÈME UNITAIRE OU PSEUDO-SÉPARATIF - ÉGOUTS D'EAUX PLUVIALES EN SYSTÈME SÉPARATIF

Compte tenu des pertes de charge dues au charriage des matières solides et, le cas échéant, aux dépôts, le coefficient de Bazin est pris à 0,46, ce qui conduit à la formule

$$V = 60 R^{\frac{3}{4}} I^{\frac{1}{2}}$$

Q est donné par

$$Q = SV$$

Nota : Avec un réseau bien entretenu et construit avec des matériaux judicieusement choisis, les débits ainsi calculés pourront être majorés de 20 % ce qui correspond sensiblement à la valeur $\gamma = 0,30$ du coefficient de Bazin. Corrélativement, les parties correspondant à un même débit pourront être réduites d'un tiers.

Débites des canaux et des cours d'eau

FORMULE DE BAZIN

$$V = \alpha \sqrt{I}, \text{ avec } \alpha = \frac{87R}{\gamma + \sqrt{R}}$$

$$Q = SV$$

V : vitesse moyenne dans la section considérée, en mètres par seconde

I : pente aux abords de cette section, en mètres par mètre

R : rayon hydraulique, en mètres

γ : coefficient de rugosité aux abords de la section considérée

Q : débit qui traverse cette section, en mètres cubes par seconde

S : section mouillée en mètres carrés

Le tableau suivant donne les valeurs du coefficient α pour différentes valeurs de R et de γ .

Rayon hydraulique R m	Coefficients de rugosité γ					
	Canaux			Cours d'eau		
	Ciments, bois raboté $\gamma = 0,06$ α	Planches, briques, pierres de taille $\gamma = 0,16$ α	Moellons $\gamma = 0,46$ α	Talus dressés ou perreyés $\gamma = 0,85$ α	Talus ordinaires $\gamma = 1,30$ α	Talus très rugueux (galets, herbes) $\gamma = 1,75$ α
0,05	15,3	11,3	6,36	4,05	2,86	2,20
0,06	17,1	12,9	7,40	4,77	3,38	2,62
0,08	20,3	15,7	9,37	6,14	4,40	3,42
0,10	23,1	18,3	11,2	7,46	5,38	4,21
0,12	25,7	20,6	12,9	8,73	6,34	4,98
0,16	30,3	24,9	16,2	11,1	8,19	6,47
0,20	34,3	28,7	19,2	13,4	9,96	7,92
0,24	38,0	32,1	22,0	15,6	11,7	9,32
0,28	41,3	35,3	24,6	17,7	13,3	10,7
0,32	44,5	38,4	27,1	19,7	14,9	12,0
0,36	47,5	41,2	29,5	21,6	16,5	13,3
0,40	50,3	43,9	31,9	23,5	18,0	14,6
0,50	56,7	50,2	37,3	27,9	21,7	17,7
0,60	62,5	55,9	42,3	32,1	25,2	20,7
0,70	67,9	61,1	47,0	36,1	28,5	23,5
0,80	72,9	66,0	51,4	39,9	31,7	26,3
0,90	77,6	70,6	55,6	43,5	34,8	29,0
1,00	82,1	75,0	59,6	47,0	37,8	31,6
1,10	86,3	79,2	63,4	50,4	40,7	34,2
1,20	90,4	83,2	67,1	53,7	43,6	36,7
1,30	94,2	87,0	70,7	56,8	46,3	39,1
1,40	98,0	90,7	74,1	59,9	49,0	41,5
1,50	102	94,2	77,5	62,9	51,7	43,9
1,60	105	97,7	80,7	65,8	54,3	46,2
1,80	112	104	86,9	71,5	59,3	50,7
2,00	118	111	92,8	76,8	64,1	55,0
2,50	133	125	107	89,5	75,5	65,3
3,00	146	138	119	101	86,1	75,0
3,50	158	150	131	112	96,0	84,1
4,00	169	161	141	122	105	92,8
4,50	179	172	152	132	114	101
5,00	189	182	161	141	123	109
5,50	199	191	171	150	131	117
6,00	208	200	179	158	139	124
6,50	217	209	188	166	147	132
7,00	225	217	196	174	154	139
7,50	233	225	204	182	162	145
8,00	241	233	212	189	169	152
8,50	249	240	219	196	175	159
9,00	256	248	226	203	182	165
9,50	263	255	233	210	189	171
10,00	270	262	240	217	195	177

Les informations contenues dans ce document sont données à titre indicatif. SAINT-GOBAIN PAM ne saurait être tenue pour responsable des éventuelles erreurs contenues dans ce document.

FORMULE DE MANNING-STRICKLER

$$V = kR^{\frac{2}{3}}l^{\frac{1}{2}} \quad \left. \begin{array}{l} V \\ R \\ l \\ Q \\ S \end{array} \right\} \text{comme ci-dessus dans la formule de Bazin}$$

$$Q = SV$$

k : coefficient dont les valeurs sont données par le tableau ci-dessous

Canaux			Cours d'eau		
Ciment, bois raboté	Planches, briques, pierres de taille	Moellons	Talus dressés ou perreyés	Talus ordinaires	Talus très rugueux (galets, herbes)
$k = 95$	$k = 80$	$k = 60$	$k = 50$	$k = 40$	$k = 30$

Débits des conduites fermées non pleines et des canaux et cours d'eau : champ d'application des diverses formules

CONDUITES CIRCULAIRES NON PLEINES TRANSPORTANT DES LIQUIDES NON CHARGÉS

Le mode de calcul le plus rapide consiste à affecter au débit de la conduite entièrement pleine, mais sans pression, le coefficient m dont la valeur est donnée en fonction du remplissage par le deuxième tableau de la page 156.

ÉGOUTS (TRANSPORTANT DES EAUX CHARGÉES)

Voir précédemment les formules de l'Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations.

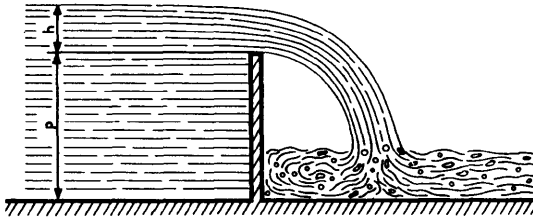
CANAUX ET COURS D'EAU A CIEL OUVERT, EAUX NON CHARGÉES

Voir page précédente et ci-dessus.

Débits des déversoirs rectangulaires perpendiculaires à l'axe du canal, à mince paroi* verticale, à nappe libre

SANS CONTRACTION LATÉRALE

Les formules données dans ce paragraphe s'appliquent quand il n'y a pas de contraction latérale aux deux bords de la nappe déversante, c'est-à-dire quand les joues verticales du déversoir sont exactement dans le plan des parois, également verticales, du canal d'amont.



$$q = mh \sqrt{2gh}$$

$$Q = ql = mlh \sqrt{2gh}$$

q : débit par mètre de largeur du déversoir, exprimé en mètres cubes par seconde

m : coefficient du déversoir (voir ci-dessous)

h : hauteur d'eau au-dessus du seuil (ou charge), mesurée en amont du déversoir à une distance au moins égale à $4h$, et exprimée en mètres

g : accélération de la pesanteur en mètres par seconde par seconde

Q : débit total du déversoir, exprimé en mètres cubes par seconde

l : largeur du déversoir, en mètres

p : « pelle » (hauteur du seuil au-dessus du fond d'amont), en mètres

Remarque : Ces formules cessent d'être valables lorsque le rapport $\frac{h}{p}$ de la charge à la pelle dépasse une valeur d'environ 1,5, car la nappe cesse alors d'être libre.

Les valeurs du coefficient m s'obtiennent, notamment, par les formules ci-après :

Formule de Bazin

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right]$$

Le tableau suivant donne, pour différentes valeurs de h et de p , les valeurs du débit par mètre de largeur du déversoir, calculées à l'aide de la formule de Bazin, et exprimées en litres par seconde ($q \times 10^3$).

* La paroi est dite « mince » quand son épaisseur est inférieure à la moitié de la hauteur h de l'eau au-dessus du seuil. Les déversoirs à mince paroi servent uniquement à la mesure des débits.

Charge h	Pelle p (m)									
	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,50	2,00	Infinie*
m	$q \times 10^3$ (l/s)									
0,05	23,5	23,3	23,2	23,1	23,1	23,1	23,1	23,0	23,0	23,0
0,06	30,5	30,1	29,9	29,8	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6
0,08	46,3	45,4	45,0	44,8	44,7	44,5	44,5	44,4	44,4	44,3
0,10	64,6	63,0	62,3	61,9	61,6	61,3	61,2	61,1	61,0	60,9
0,12	85,3	82,7	81,5	80,8	80,4	79,9	79,7	79,4	79,3	79,2
0,14	108	104	103	102	101	100	99,7	99,3	99,2	98,9
0,16	133	128	125	124	123	122	121	121	120	120
0,18	160	154	150	148	147	145	144	144	143	143
0,20	189	181	177	174	172	170	169	168	167	166
0,22	220	210	205	201	199	196	195	193	192	191
0,24	253	241	234	230	227	224	222	220	219	217
0,26	288	274	265	260	257	253	250	247	246	245
0,28	324	308	298	292	288	283	280	276	275	273
0,30	362	344	333	325	320	314	311	307	305	302
0,35	**	440	425	415	408	399	393	387	384	379
0,40	**	545	526	512	503	490	483	473	469	462
0,45	**	659	635	618	606	590	580	566	561	550
0,50	**	**	753	732	717	696	683	666	658	644
0,60	**	**	1 010	982	960	929	909	882	869	844
0,70	**	**	**	1 260	1 230	1 190	1 160	1 120	1 100	1 060

Formule de la SIAS (Société des Ingénieurs et Architectes suisses)

Cette formule donne de m une expression un peu différente :

$$m = 0,410 \left(1 + \frac{1}{1\,000 h + 1,6} \right) \left[1 + 0,5 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right]$$

AVEC CONTRACTION LATÉRALE

Quand le déversoir offre à l'eau un passage moins large que le canal amont, il se produit une contraction latérale, et le débit Q se trouve diminué.

Correction à apporter au débit calculé par la formule de Bazin ou par celle de la SIAS

Cette méthode s'applique seulement si :

- la largeur du déversoir l est au moins égale à 3 fois la charge h ;
- la distance, mesurée perpendiculairement à l'axe du canal, entre a) une joue ou b) les deux joues du déversoir et la rive amont voisine est d'au moins 3 fois la charge h .

Le débit Q est alors réduit respectivement à

$$a) \quad Q' = q \left(l - \frac{h}{10} \right), \quad \text{ou à} \quad b) \quad Q'' = q \left(l - \frac{2h}{10} \right)$$

* La dernière colonne contient les valeurs limites vers lesquelles tend $q \times 10^3$ quand p prend des valeurs très grandes en comparaison de h .

** Voir la Remarque du bas de la page précédente.

Formule de Hégly

Cette formule s'applique quelles que soient les valeurs respectives de l et de h , et à la seule condition que h soit au plus égal à 1 m.

On reprend la formule

$$Q = ql = mlh \sqrt{2gh},$$

mais on donne à m la valeur calculée par la formule de Hégly :

$$m = \left(0,405 - 0,03 \frac{L-l}{L} + \frac{0,003}{h} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{l}{L} \right)^2 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right]$$

dans laquelle L est la largeur du canal amont en mètres, les autres notations étant les mêmes que ci-dessus.

Remarque : S'il n'y a pas de contraction latérale, on a : $L = l$, la formule de Hégly se simplifie et l'on retrouve celle de Bazin.