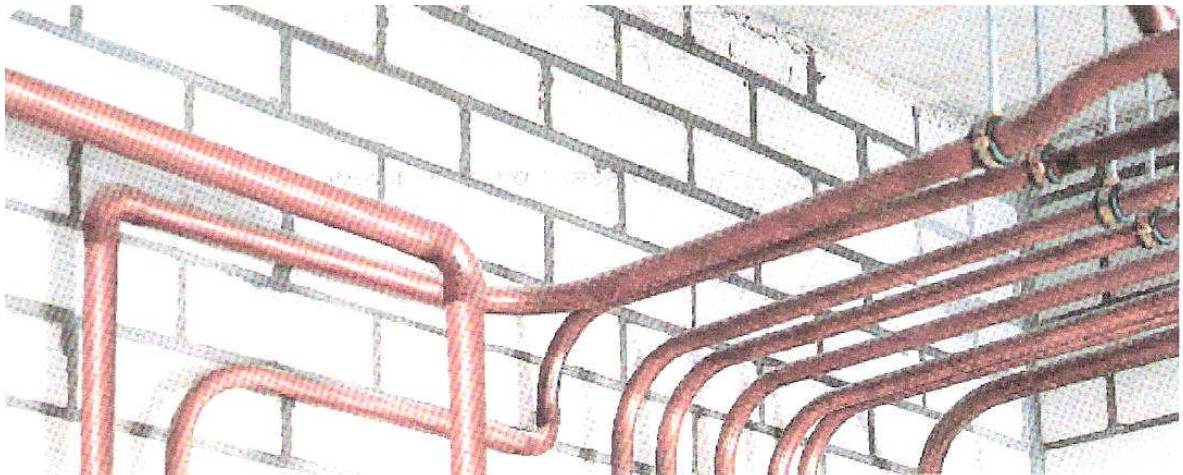


LES PERTES DE CHARGE DANS LES TUYAUTERIES

Initiation au calcul



Sommaire :

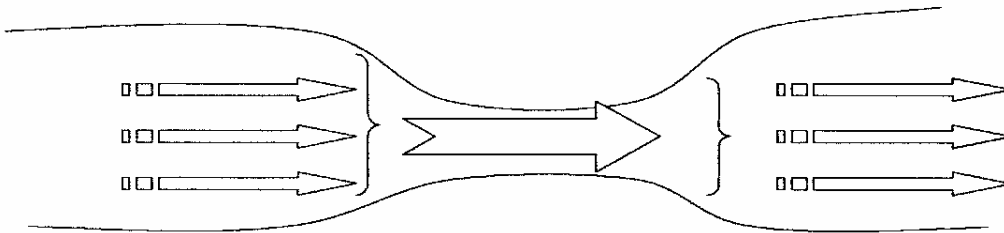
1. Constance du débit
2. Pertes de charge
 - 2.1 Pertes de charge linéaire
 - 2.2 Pertes de charge localisées
 - 2.3 Hauteur manométrique
3. **Vitesse limite de l'eau**
4. Débit d'eau dans l'installation
 - 4.1 Les corps de chauffe
 - 4.2 Les tuyauteries
5. Principe de calcul en installation bitube
 - 5.1 Calcul des pertes linéaires
 - 5.2 Calcul des pertes singulières
 - 5.3 Méthode de calcul
 - 5.4 Tableaux divers
 - 5.4.1 tableau de travail vierge
 - 5.4.2 idem pour calcul des ζ
 - 5.4.3 Valeurs de $\gamma v^2/2g$ pour l'eau à 80°C
 - 5.4.4 Tableau simplifié des pertes de charges singulières
 - 5.4.5 Tableau simplifié des pertes de charges singulières
 - 5.4.6 Abaque tubes synthétiques
 - 5.4.7 Abaque tubes en cuivre
 - 5.4.8 Abaque tuyaux acier filetables
 - 5.4.9 Abaque tuyaux acier soudés

CALCUL DES TUYAUTERIES.

1/ Constance du débit.

Lors de l'écoulement en régime permanent de l'eau dans un tuyau, le débit (m^3/s) est constant.

Si la canalisation est plus étroite, le liquide doit aller plus vite et vice-versa.



$$q = S.v$$

- avec
- > q = débit (m^3/s)
 - > S = section du tuyau (m^2)
 - > v = vitesse de l'eau (m/s)

Exemple: de l'eau s'écoulant à travers une section de 1 m^2 à la vitesse de 2 m/s donne un débit de $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

2/ Pertes de charge.

Lorsqu'une certaine quantité d'eau circule à travers une installation, cela provoque un frottement. Les molécules d'eau frottent + ou - contre la paroi intérieure de la tuyauterie en fonction de la rugosité de cette dernière. Lors du passage dans les coudes, le fluide subit un changement de direction; dans les réductions, la même quantité de fluide doit passer dans un diamètre inférieur, etc...

L'ensemble de ces frottements est appelé: **les pertes de charge ou pertes de pression.**

Dans une installation, la circulation d'un fluide en circuit fermé (par ex. le chauffage domestique à eau) n'est rendue possible que si ces pertes de charge sont compensées par une pompe de circulation (circulateur).

2.1/ Pertes de charge linéaires.

La résistance à l'écoulement de l'eau dans un tuyau sera d'autant plus grande que:

1. Sa section ou son diamètre est petit. En effet, un petit tuyau est presque un bouchon, il s'oppose fortement au passage du liquide.
2. Sa rugosité intérieure est grande. En effet, tous ces grains de matière créent des turbulences et donc un écoulement désordonné de l'eau, ce qui augmente les pertes. Il faudra donc prendre en considération la matière du tuyau.
3. Sa longueur est grande. Il est effectivement plus difficile à l'eau de traverser 10 mètres de tuyau que quelques centimètres.
4. La vitesse du fluide est grande; créations de plus grandes turbulences.

Des abaques nous donnent la valeur de la perte de charge **R'** pour 1 m. de tuyau suivant sa nature (acier, cuivre, P.V.C...), son diamètre, le débit et la vitesse de l'eau.

Il suffira alors de multiplier par la longueur **L** du tuyau pour obtenir **la perte de charge linéaire totale R.** (*Unité: mm CE.*)

2.2/ Pertes de charge localisées.

$\zeta \gamma v^2 / 2g \text{ en mm CE.}$

Lorsque l'eau rencontre sur son parcours un obstacle local tel que vanne, té, coude, chaudière, corps de chauffe..., il se crée des turbulences causant également des pertes de pression.

Ces pertes dépendent de :

- > la nature de l'obstacle : ζ
- > d'un coefficient proportionnel au carré de la vitesse de l'eau: $\gamma v^2 / 2g$.

2.3/ Hauteur manométrique d'une installation. (H en mm CE)

Nous venons de voir qu'il y a des pertes de pression le long du parcours de l'eau dans les tuyauteries. D'autre part, l'eau a besoin de pression à la sortie de la chaudière pour pouvoir circuler dans l'installation. Cette pression sera donnée, soit par la différence de poids volumique entre les colonnes d'eau chaude et d'eau froide (thermosiphon), soit par une pompe de circulation. Cette pression motrice est également donnée en mm CE, on l'appelle « **hauteur manométrique de l'installation.** »

Puisque nous avons des pertes de pression compensées par une pression motrice, il faut que, pour chacun des circuits (radiateurs, boiler, aérothermes ou autres corps de chauffe), la hauteur manométrique soit égale à la somme des pertes de charge linéaires et localisées.

Ce qui nous donne:	$H = R + \zeta \gamma v^2 / 2g.$
--------------------	----------------------------------

Remarque: Afin que la chaleur se répartisse dans les locaux conformément au calcul des corps de chauffe, il faut équilibrer les différents circuits de manière à ce qu'ils présentent une perte de charge identique.

(Que dirait l'occupant du 14^{ème} étage si il devait attendre que les appartements d'un niveau inférieur soient chauffés et que les vannes thermostatiques de ceux-ci se ferment avant de pouvoir espérer être chauffé à son tour !!!)

Pour équilibrer les circuits, nous pouvons jouer sur les diamètres des tuyauteries ou avec des vannes dites « d'équilibrage ».

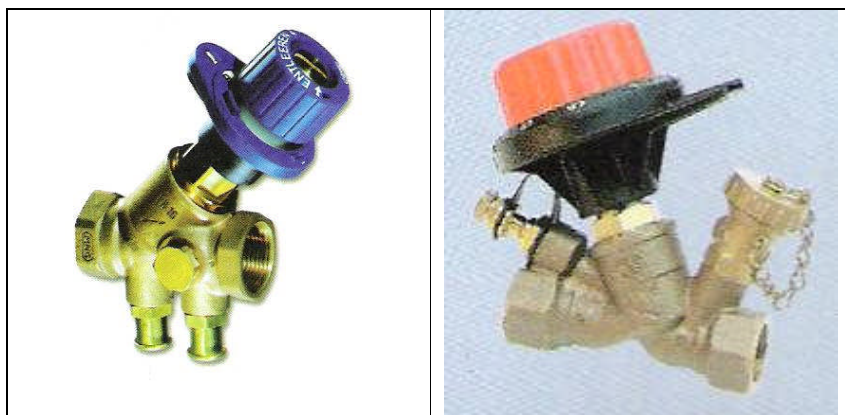
3/ Vitesse limite de l'eau.

Afin d'assurer avec un minimum d'eau un maximum de transport de chaleur, nous avons intérêt à augmenter la vitesse de circulation de l'eau dans les tuyauteries.

Toutefois, il est conseillé de respecter une vitesse limite au-dessus de laquelle il y aurait des risques de vibrations, de coups de bélier et, par le fait même, de bruit dans l'installation.

Cette vitesse limite supérieure est de 1m/s (0.25 m/s à l'entrée des radiateurs).

Il est également conseillé de ne pas travailler à des vitesses trop faibles de manière à ne pas augmenter exagérément la section et afin de limiter les pertes de chaleur dans ces tuyauteries.



Vannes d'équilibrage hydraulique

4/ Débit d'eau dans l'installation

4.1 Les corps de chauffe:

Si un corps de chauffe doit fournir **Q Wh/h** dans un local (valeur donnée par le calcul et la sélection des radiateurs) nous savons que:

$$\mathbf{Q = q.c. (te-ts)}$$

avec: **Q** = puissance de cdc.(corps de chauffe) Wh/h

c = chaleur massique de l'eau (c= 1,16 Wh/l°K)

te = T° d'eau entrée cdc. (°c)

ts = T° d'eau sortie cdc. (°c)

q = débit d'eau (l/h)

De cette formule on déduit : $\mathbf{q = Q/c.\Delta t}$
--

Afin de tenir compte des déperditions dans les tuyauteries et pour faciliter les calculs, nous prendrons:

$\mathbf{q = Q/\Delta t}$

4.2 Les tuyauteries :

Lorsqu'une tuyauterie alimente plusieurs corps de chauffe, il suffit d'additionner les débits nécessaires à ces différents corps de chauffe en partant du plus éloigné vers le plus rapproché de la chaudière.

5. Principe de calcul en installation bitube.

5.1 Calcul des pertes linéaires.

Les tuyauteries pour eau de chauffage sont calculées de manière à ce que la perte de charge continue ou linéaire dans les différents tronçons du réseau soit limitée à environ 20mm CE/m avec une vitesse limite maximum de 1m/s.

Exemple :

Soit à calculer la perte de charge linéaire d'un tuyau d'acier; de cu; de P.V.C de 5m (aller + retour) traversé par un débit de 600 l/h.

Remarque: travailler avec les abaques propres à chaque type de tuyauterie.

Solution avec tuyauterie en acier (abaque page suivante)

- pointer le débit en abscisse (horizontale) en m³/h
q = 600 l/h ou 0,6 m³/h

- partir verticalement jusqu'à la valeur limite **R= 20mm CE/m.**
→ on tombe entre 1/2" et 3/4" pour la section

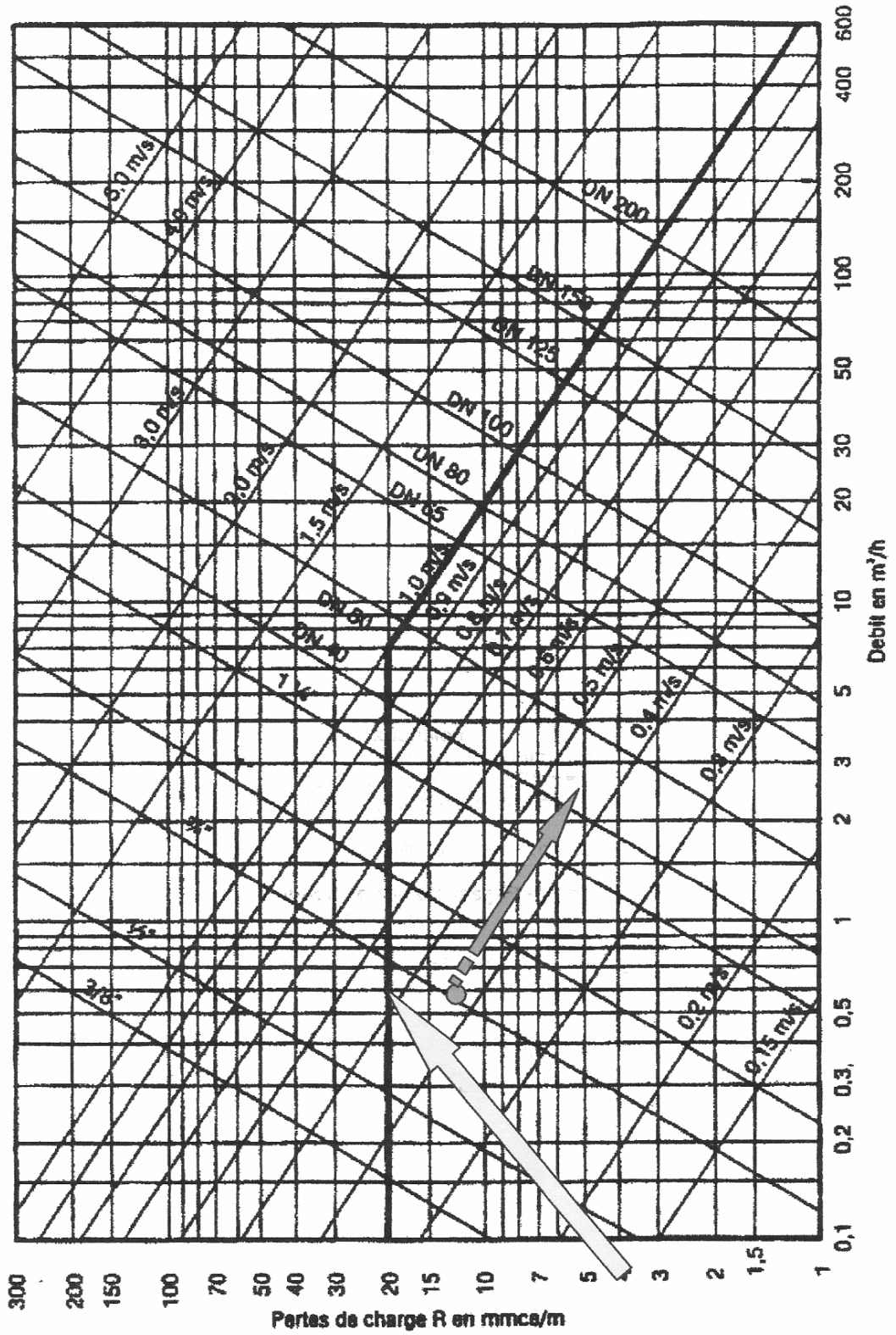
- choisir le diamètre immédiatement supérieur (**ici 3/4")**

- Pour un débit de **0,6 m³/h** dans un tuyau de **3/4"** de section, vous lisez sur l'ordonnée (verticale) une perte de charge linéaire **R' = 14 mm CE/m**

- Sur les transversales de vitesses, on relève **v = 0,45 m/s (nécessaire pour calculer $\gamma v^2/2g$)**

- Pour 5 m de tuyau: **R' = 5.R' = 5.14 = 70mmCE**

TUYAU ACIER



5.2 Calcul des pertes de charges singulières

$$R = \zeta \cdot \gamma v^2 / 2g$$

Avec : R = perte de charge en mm de colonne d'eau
 ζ = Coefficient caractérisant la nature de la résistance locale
 $\gamma v^2 / 2g$ = pression dynamique de l'eau en mm de colonne d'eau dont la valeur $\gamma = 1$ (1000kg/m³ soit 1 tonne/m³) pour l'eau à 4°C. ou $\gamma = 0,972$ (972 kg/m³) pour l'eau du chauffage à 80°C.)

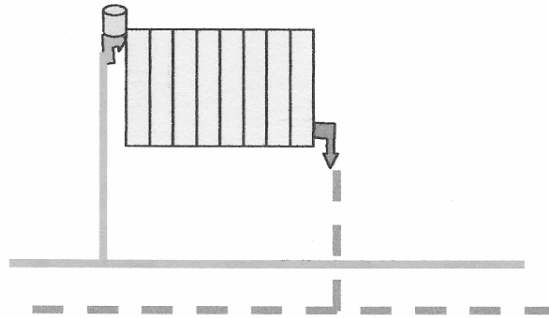
Les tableaux des pages suivantes nous permettent d'évaluer les différents coefficients ζ . Avec un peu d'habitude, il est possible de repérer les tés, coudes, vannes... Un schéma isométrique de l'installation sera une base correcte de travail....

Il suffit d'additionner les différents ζ et de multiplier cette somme par le $\gamma v^2 / 2g$ calculé à partir de la valeur de vitesse trouvée lors de la détermination des pertes de charge linéaires.

Soit un radiateur de 3000W raccordé comme sur le schéma :

Diamètre de raccordement 1/2"

$\Delta t = 15^\circ$



Nous calculons : $q = 3000/15 = 200$ l/h

$V = 0,31$ m/s

$\gamma v^2 / 2g$ (avec $2g = 0,02$) = $0,972 \cdot (0,31)^2 / 0,02 = 4,67$ mmCE

Evaluation de ζ :

- ▶ 1 vanne équerre $\zeta = 3$
- ▶ 1 coude 90° $\zeta = 1,5$
- ▶ 1 dérivation séparation $\zeta = 1,5$
- ▶ 1 jonction de passage $\zeta = 1$
- ▶ 1 radiateur $\zeta = 3$

total des $\zeta = 10$

La perte de charge localisée totale pour ce tronçon de circuit est de :

$$\zeta \gamma v^2 g = 10 \times 4,67 = 46,7 \text{ mm CE .}$$

5.3 Méthode de calcul des tuyauteries

Afin de déterminer le diamètre des tuyauteries à utiliser et les pertes de charge correspondant à tous les circuits, nous suivons la méthode suivante :

- ▶ Réaliser le schéma isométrique de l'installation telle que nous l'avons conçue
- ▶ Indiquer la puissance calorifique de chaque corps de chauffe (après correction suivant le Δt et sélection dans les tables du fabricant)
- ▶ Calculer pour chaque corps de chauffe le débit d'eau ($q = Q/\Delta t$) et indiquer ces valeurs sur la perspective et dans un tableau
- ▶ Indiquer les longueurs de portion de tuyauteries (aller et retour) et repérez ces portions par des lettres (une portion est délimitée par des raccordements de tuyaux ou de corps de chauffe). Il est utile de reporter sur le schéma et le tableau les débits cumulés sur les divers tronçons de tuyauteries.
- ▶ Déterminer les pertes de charges locales de chaque circuit en travaillant d'abord avec les corps de chauffe les plus éloignés par rapport à la chaudière (suivre le tableau exemplatif)
- ▶ Pour chaque circuit, la perte de charge totale correspond à la hauteur manométrique (H en mmCE) du circuit
- ▶ Une fois le calcul terminé pour tous les circuits, il est nécessaire de les équilibrer par rapport au plus défavorable (c-a-d celui qui représente la plus grande perte de charge totale) en jouant sur le diamètre des tuyauteries et/ou en prévoyant les vannes de réglage de débit adéquates.
- ▶ Le débit total de l'installation ainsi que la perte de charge du circuit le plus défavorisé vont en sus nous permettre de dimensionner correctement le circulateur nécessaire au bon fonctionnement de notre installation.

5.4 Tableaux divers

De nombreux tableaux préétablis sont à notre disposition en vue de rationaliser et simplifier nos calculs.

Vous trouverez en appendice un tableau de valeurs de $\gamma v^2/2g$ (**pression dynamique en mm d'eau**) pour l'eau à 80°C.

Un tableau des coefficient ζ de pertes de charge singulières les plus courants également annexé sera particulièrement utile en vue d'une plus grande rapidité des calculs.

Appendice 1 : exemple de tableau de calcul des pertes de charges par tronçon et par circuit

Appendice 2 : exemple de feuille de calcul des pertes de charges singulières par tronçon(ζ)

Appendice 3 : Valeurs de $\gamma v^2/2g$ pour l'eau à 80°C. ($\gamma = 972 \text{ Kg/m}^3$)

Appendice 4 & 4bis : Coefficient ζ de pertes de charges singulières

Appendice 5 : Abaque pour perte de charge sur tuyau en mat de synthèse/ eau a 90°C

Appendice 6 : Abaque tuyau en cuivre eau a 80°C

Appendice 7 : Abaque tuyau acier filetable /eau a 80°C

Appendice 8 : Abaque tuyau acier a souder / eau a 80°C

Chantier :
Rendeur :
Architecte :
Bureau d'étude :

Détermination des pertes de charges

Date : le

Cdc n°	Tronçon	Q(l/h)	L(m)	R'(mmCE) Par M	Ø choisi	V(m/s)	$\gamma v^2/2g$	Total des ζ	ζ $\gamma v^2/2g$	R (=R'.L)	H(mmCE)

Appendice 1

Evaluation des pertes de charges singulières (ζ)

Tronçon	diam	
Perte de ch singulière	q.	ζ

Tronçon	diam	
Perte de ch singulière	q.	ζ

Tronçon	diam	
Perte de ch singulière	q.	ζ

Tronçon	diam	
Perte de ch singulière	q.	ζ

Tronçon	diam	
Perte de ch singulière	q.	ζ

Tronçon	diam	
Perte de ch singulière	q.	ζ

Tronçon	diam	
Perte de ch singulière	q.	ζ

Tronçon	diam	
Perte de ch singulière	q.	ζ

Tronçon	diam	
Perte de ch singulière	q.	ζ

Appendice 2

Valeurs de $\frac{\gamma V^2}{2g}$ pour l'eau à 800c ($\gamma = 972\text{Kg/m}^3$)

V m/s	$\frac{\gamma V^2}{2g}$ mm d'eau	V m/s	$\frac{\gamma V^2}{2g}$ mm d'eau
0,050	0,12	0,46	10,48
0,055	0,15	0,48	11,41
0,060	0,18	0,50	12,39
0,065	0,21	0,52	13,40
0,070	0,24	0,54	14,45
0,075	0,28	0,56	15,54
0,080	0,32	0,58	16,67
0,085	0,36	0,60	17,83
0,090	0,40	0,62	19,04
0,100	0,50	0,64	20,29
0,105	0,55	0,66	21,58
0,110	0,60	0,68	22,91
0,115	0,66	0,70	24,28
0,120	0,71	0,75	27,87
0,125	0,77	0,80	31,71
0,130	0,84	0,85	35,79
0,135	0,90	0,90	40,13
0,140	0,97	0,95	44,71
0,145	1,04	1,00	49,54
0,150	1,11	1,05	54,62
0,160	1,27	1,10	59,94
0,170	1,43	1,15	65,62
0,180	1,61	1,20	71,34
0,190	1,79	1,25	77,41
0,20	1,98	1,30	83,72
0,21	2,18	1,35	90,29
0,22	2,40	1,40	97,1
0,23	2,62	1,45	104,16
0,24	2,85	1,50	111,47
0,25	3,10	1,55	119,02
0,26	3,35	1,60	126,83
0,27	3,61	1,65	134,88
0,28	3,88	1,70	143,17
0,29	4,17	1,75	151,72
0,30	4,46	1,80	160,51
0,32	5,07	1,85	169,56
0,34	5,73	1,90	178,84
0,36	6,42	1,95	188,38
0,38	7,15	2,00	198,17
0,40	7,93	2,1	218,48
0,42	8,74	2,2	239,78
0,44	9,59	2,3	262,07

Appendice 3

Tableau simplifié des ζ des pertes de charges singulières

Chaudière : $\zeta = 3$ Radiateur : $\zeta = 3$ Coude à grand rayon $\zeta = 0,5$							
Pièces en T							
Désignation	10 3/8	15 1/2	20 3/4	Diamètre			
				25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	≥ 50 > 2
Robinet d'équerre à double réglage	6	6	6	5	5	4	4
Coude à 90° du commerce	2,5	2	2	1,5	1,5	1	1
Coude à 90° large	2	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
Coude à 180° large	2,5	2,5	2	2	1	1	1

Attention : Les coefficients des T se rapportent aux flux partiels et non pas aux flux général

Ensemble chaudière ζ 8 à 12

Entrée et sortie de la chaudière, avec éventuellement changement brusque de sections, entrée et sortie vanne, tuyauterie de dérivation, piquage du vase d'expansion, raccords et coudes divers

Branchement radiateur ζ 15

Tés de piquage sur les tuyauteries aller & retour, entrée et sortie radiateur, robinet, té de réglage, coudes divers

Appendice 4

**Tableau simplifié des ζ des pertes de charges singulières
(suite)**

DESIGNATION	10 3/8"	15 1/2"	20 3/4"	25 1"	32 1 1/4"	40 1 1/2"	≥ 50 $\geq 2"$	SYMBOLES
vannes radiateur équerre	4	3	2	2	2	2	-	
vannes radiateur passage direct	9	9	8	8	7	6	5	
vannes à passage direct (sièges parallèles)	10	10	7	7	5	5	4	
vannes à passage direct (sièges obliques)	3,5	3,5	3	3	2,5	2,5	2	
vannes à opercule	1,5	1	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	
vannes papillon	4	3,5	2	2	1,5	1,5	1	
clapet anti-retour	Environ 40							
courbe à 90°	2	1,5	1	1	0,5	0,5	0,5	
courbe à 180°	2,5	2,5	2	2	1	1	1	
coude à 90° équerre	2,5	2	1,5	1,5	1	1	1	
chaudière ou échangeur				2,5				
radiateur				3				
reservoir dbi enveloppe	sortie 0,5			entrée 1				
changement de section				0,5				

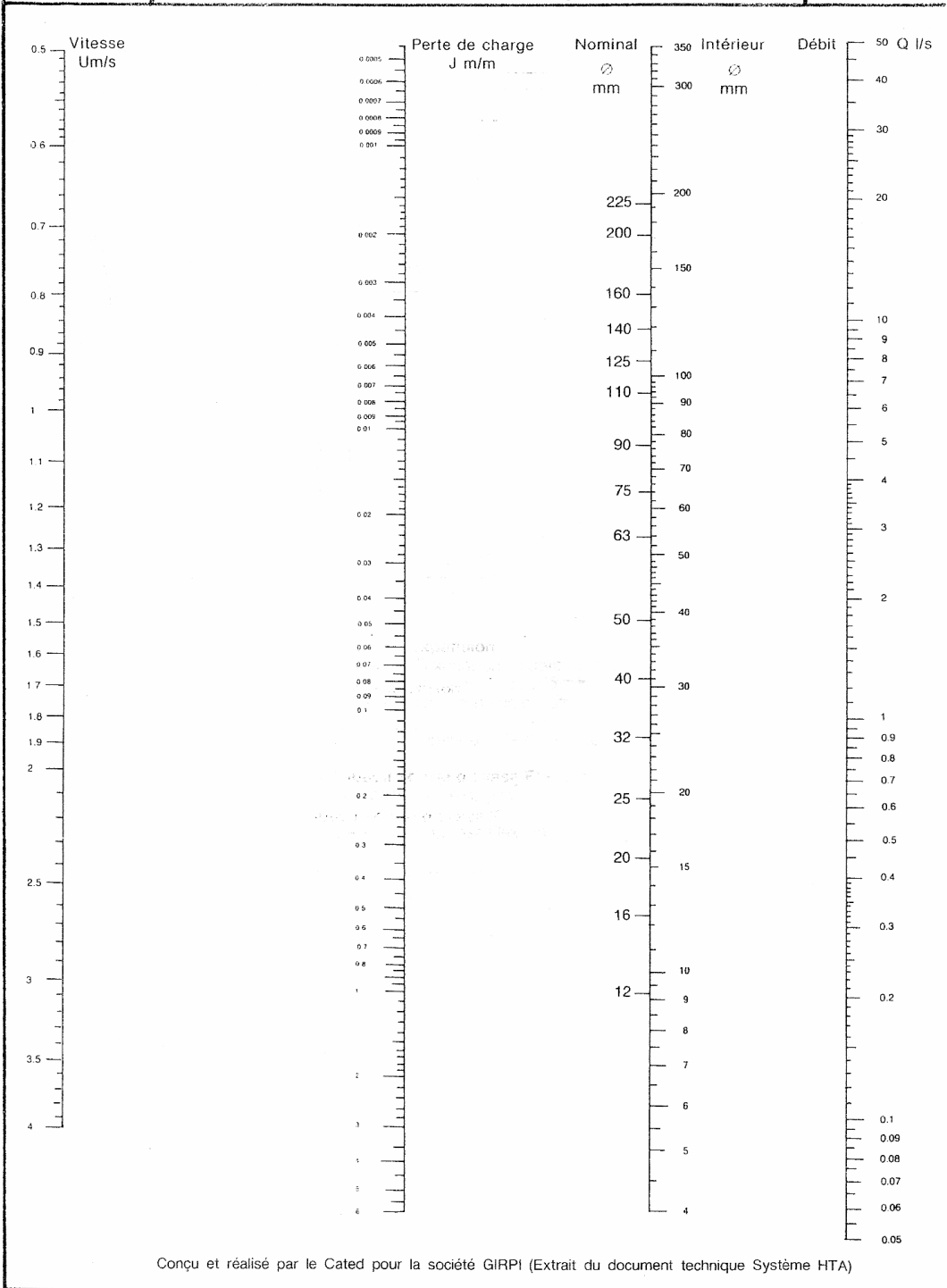
Appendice 4 bis

PERTES
DE CHARGE

EAU à 90°C /

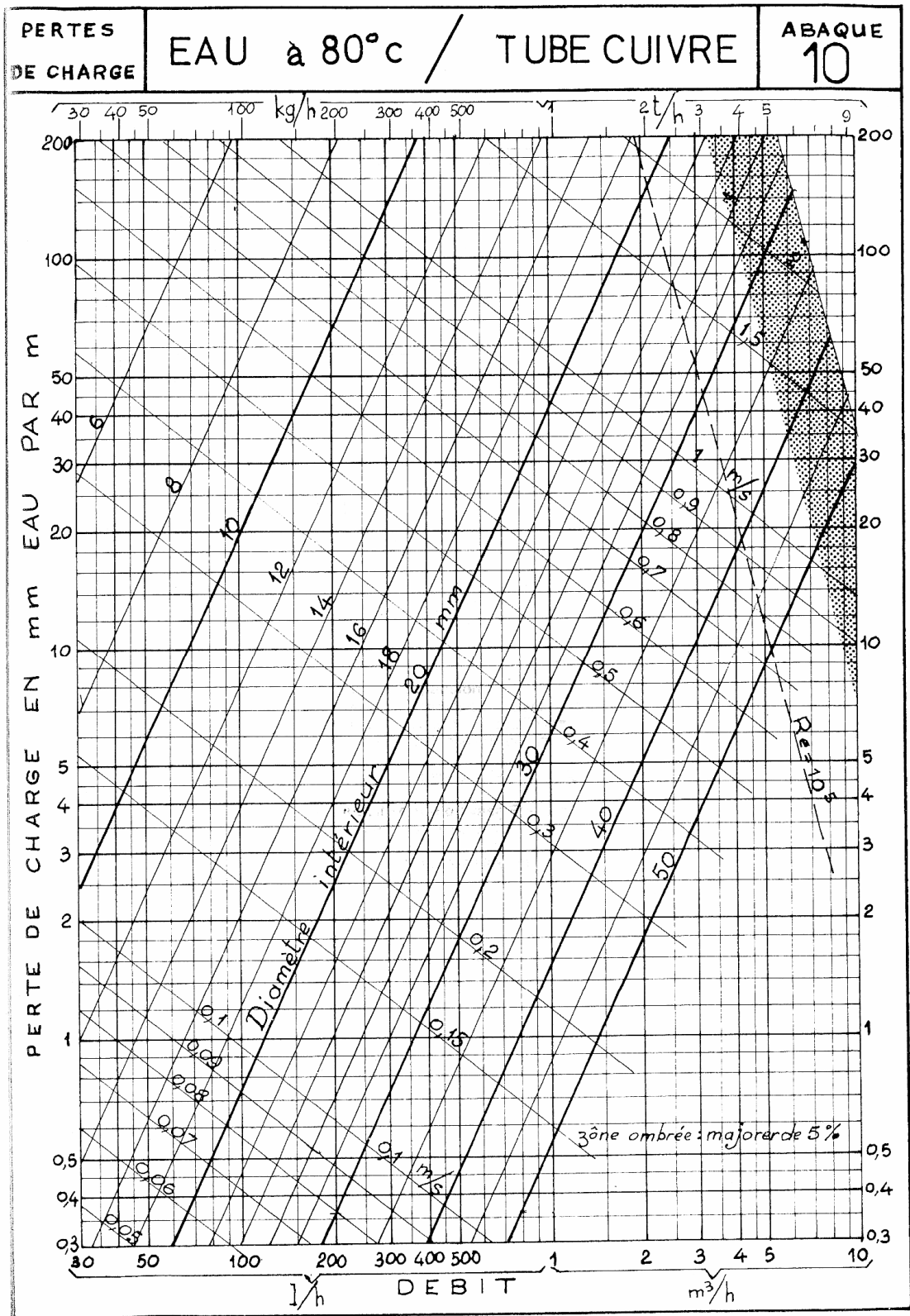
TUBE
EN MATERIAU SYNTHESE
rugosité $\lambda = 0,001 \text{ mm}$

ABAQUE
19



Conçu et réalisé par le Cated pour la société GIRPI (Extrait du document technique Système HTA)

Appendice 5

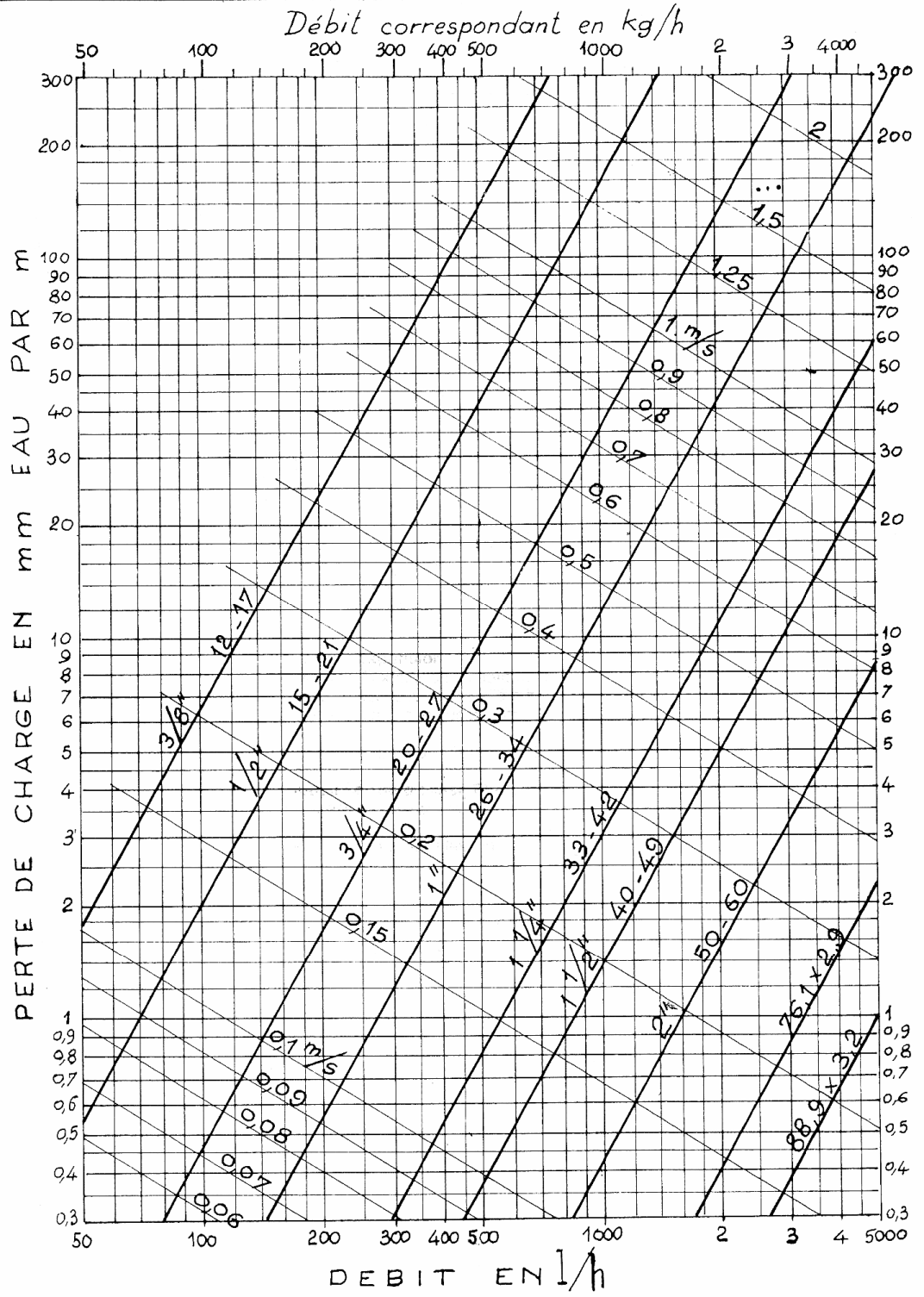


Appendice N°6

PERTES
DE CHARGE

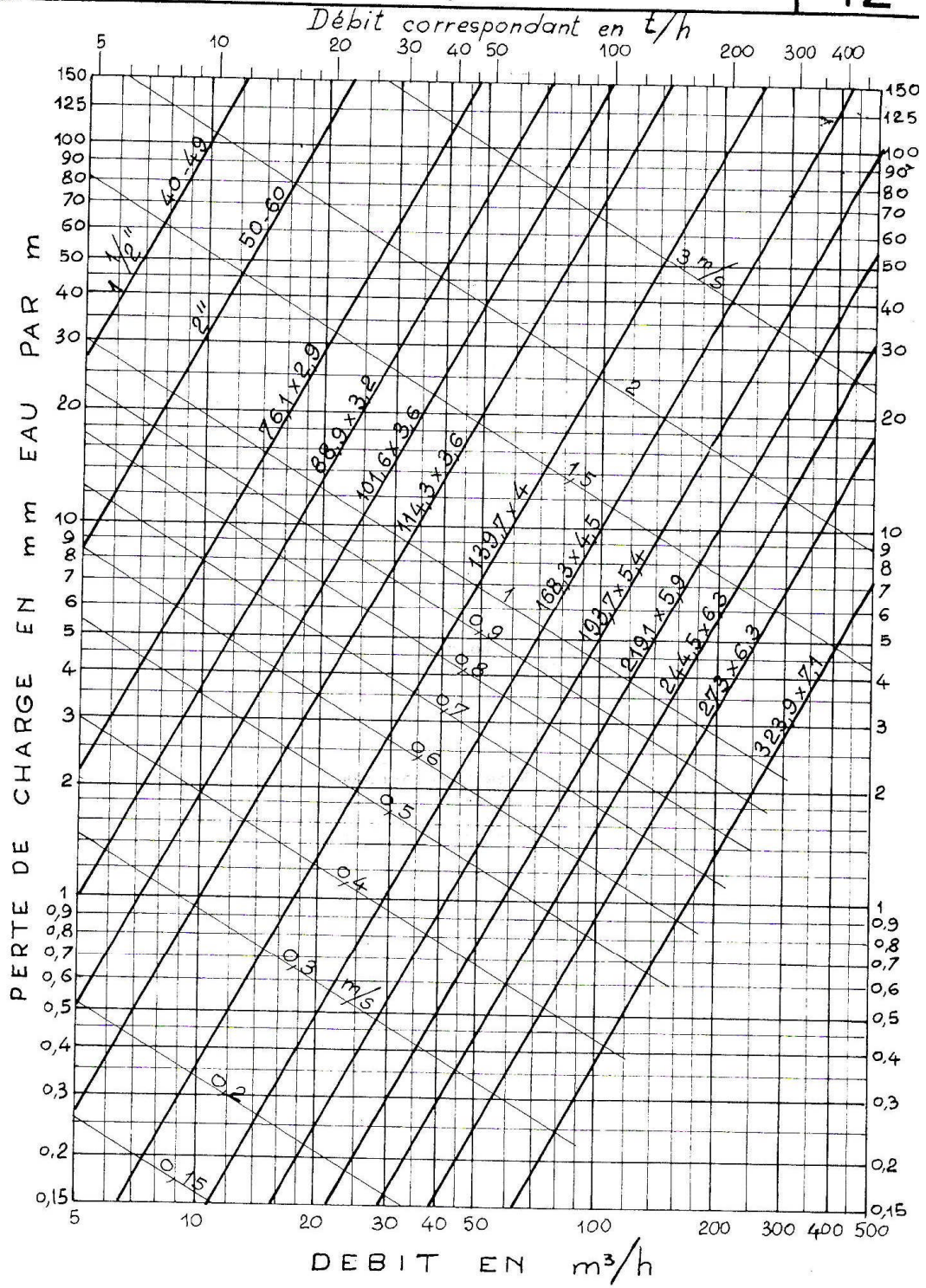
EAU à 80°C / TUBE ACIER

ABAQUE
11



Appendice N°7

PERTES DE CHARGE / EAU à 80° c / TUBE ACIER / ABAQUE 12



Appendice N°8