

2/Caractéristiques et paramètres d'utilisation des tubes de cuivre.

2.1 Caractéristiques du cuivre

Le cuivre utilisé dans la fabrication des tubes est le cuivre Cu-b1 défini par la norme NF A 51-050. Le Cu-b1 correspond à la dénomination ISO Cu-DHP.

Sa teneur minimale en cuivre est de 99,90%. Il a une teneur résiduelle en phosphore comprise entre 0,013 et 0,050%.

Ce cuivre désoxydé est insensible aux atmosphères réductrices et possède par conséquent une bonne aptitude au soudage et au brasage.

La densité du cuivre est de 8,9, sa température de fusion est de 1083 °C et son coefficient de dilatation linéaire est de $16,8 \cdot 10^{-6}$ par °C entre 20 et 100 °C.

2.2 Caractéristiques mécaniques des tubes de cuivre

Les tubes de cuivre normalisés utilisés dans le bâtiment sont définis par la norme NF A 51-120 et font l'objet du Document Technique Unifié (DTU) 60.5.

Les deux états de livraison courants dans lesquels sont livrés les tubes de cuivre sont l'état écroui et l'état recuit. Les deux épaisseurs normalisées sont 0,8 et 1 mm.

Les caractéristiques mécaniques minimum des tubes en fonction des deux états de livraison courants sont données au tableau 1. Ces caractéristiques sont valables dans les deux épaisseurs 0,8 et 1 mm.

Tableau 1

Caractéristiques mécaniques			
Etat	Symbole AFNOR	Résistance minimum à la traction N/mm ²	Allongement minimum A%
Recuit	O	200	35
Ecroui	H 14	310	5

2.3 Caractéristiques physiques des tubes de cuivre

L'ensemble des caractéristiques physiques des tubes de cuivre est donné au tableau 2

ci-dessous pour les tubes de diamètres extérieurs normalisés.

Tableau 2

Caractéristiques physiques des tubes de cuivre							
Diamètre extérieur (mm)	Epaisseur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Poids au mètre (kg)	Section de passage (mm ²)	Volume intérieur au mètre (dm ³)	Surface intérieure au mètre (m ²)	Surface extérieure au mètre (m ²)
8	0,8	6,4	0,161	32,17	0,0322	0,0201	0,0251
	1	6	0,196	28,27	0,0283	0,0188	0,0251
10	0,8	8,4	0,206	55,42	0,0554	0,0264	0,0314
	1	8	0,252	50,27	0,0503	0,0251	0,0314
12	0,8	10,4	0,251	84,95	0,0850	0,0327	0,0377
	1	10	0,308	78,54	0,0785	0,0314	0,0377
14	0,8	12,4	0,295	120,76	0,1208	0,0389	0,0439
	1	12	0,363	113,10	0,1131	0,0377	0,0439
15	0,8	13,4	0,318	141,03	0,1410	0,0421	0,0471
	1	13	0,391	132,73	0,1327	0,0408	0,0471
16	0,8	14,4	0,340	162,86	0,1629	0,0452	0,0503
	1	14	0,419	153,94	0,1539	0,0439	0,0503
18	0,8	16,4	0,385	211,24	0,2112	0,0515	0,0565
	1	16	0,475	201,06	0,2011	0,0503	0,0565
22	0,8	20,4	0,474	326,85	0,3269	0,0641	0,0691
	1	20	0,587	314,16	0,3142	0,0628	0,0691
25	0,8	23,4	0,541	430,05	0,4301	0,0735	0,0785
	1	23	0,671	415,48	0,4155	0,0723	0,0785
28	0,8	26,4	0,608	547,39	0,5474	0,0829	0,0879
	1	26	0,755	530,93	0,5309	0,0817	0,0879
35	0,8	33,4	0,765	876,16	0,8762	0,1049	0,1100
	1	33	0,951	855,30	0,8553	0,1037	0,1100
40	0,8	38,4	0,877	1 158,12	1,1581	0,1206	0,1257
	1	38	1,090	1 134,11	1,1341	0,1194	0,1257
42	0,8	40,4	0,922	1 281,89	1,2819	0,1269	0,1319
	1	40	1,150	1 256,64	1,2566	0,1257	0,1319
54	0,8	52,4	1,190	2 156,51	2,1565	0,1646	0,1696
	1	52	1,482	2 123,71	2,1237	0,1634	0,1696

Ces valeurs sont calculées pour les dimensions théoriques des tubes.

2.4 Conditionnement

Les tubes écrouis sont généralement livrés en longueur droite de 5 mètres.

Les tubes cuivre recuits sont livrés en couronne jusqu'à un diamètre extérieur maximum de 22 mm.

La longueur des couronnes est comprise entre 25 et 50 mètres. Les couronnes n'excèdent généralement pas un poids d'une vingtaine de kilos.

2.5 Marquage

Le DTU 60.5 prévoit que les tubes doivent être choisis **dans une** fabrication bénéficiant de la marque **NF**.

La norme NF A 51-120 prescrit un marquage des tubes tous les 40 cm environ, dans des conditions bien définies.

Pour les produits titulaires du droit d'usage de la marque **NF**, le marquage doit comprendre, dans l'ordre, les indications suivantes :

- monogramme **NF**
 - repère du fabricant (sigle ou nom),
 - identification de l'usine productrice,
 - pays de fabrication en toutes lettres,
 - diamètre extérieur et épaisseur,
 - état de livraison pour les états autres qu'écroui ou recuit, repérés par le signe =
- Les deux états courants, écroui et recuit, ne font pas l'objet d'une identification.
- référence de la norme NF A 51-120,
 - logotype **A**

Exemple de marquage d'un tube :

NF XXX 02 FRANCE 14 X 1 A 51-120 **A**

Ce marquage signifie : tube cuivre bénéficiant du droit d'usage de la marque **NF**, fabriqué par l'usine n° 2 de la société XXX en France de dimensions 14 X 1 à l'état écroui ou recuit.

2.6 Pertes de charge et vitesse des fluides

On trouvera dans les tableaux 3 et 4 les abaques permettant le calcul des débit, vitesse, perte de charge et diamètre.

Connaissant deux éléments recherchés, généralement le débit et la vitesse, ou le débit et la perte de charge, on joint les points représentant ces valeurs sur les échelles considérées.

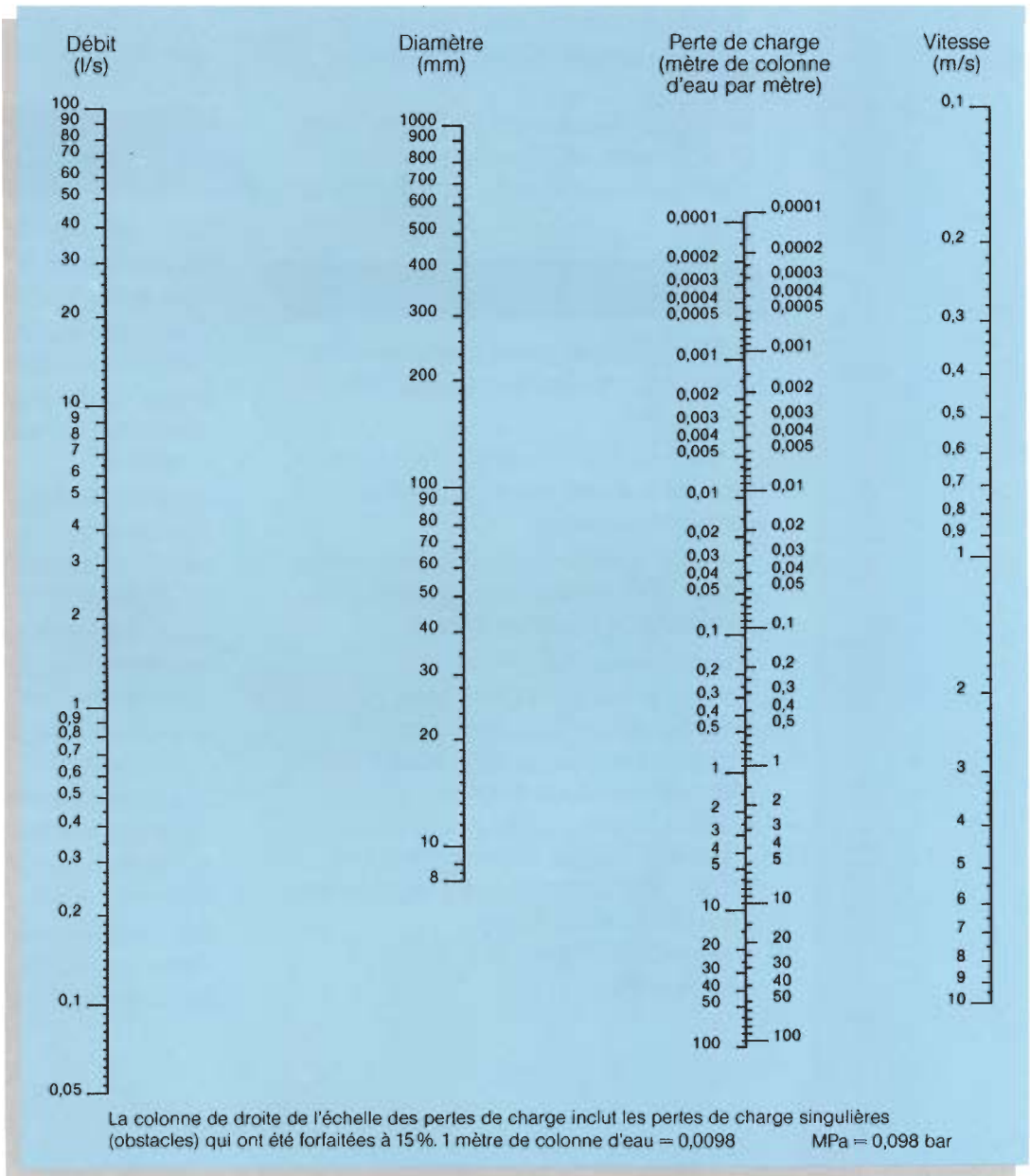
On obtient les deux éléments recherchés, diamètre et perte de charge ou diamètre et vitesse, par lecture à l'intersection des échelles correspondantes.

Il faut noter que la vitesse de l'eau à l'intérieur des canalisations doit être comprise entre certaines limites extrêmes pour que les tubes soient placés dans des conditions optimales d'utilisation.

Une vitesse excessive du fluide transporté peut causer prématurément une détérioration des canalisations par corrosion-érosion ; la vitesse maximum à ne pas dépasser est d'environ 1,5 m/s. Si le diamètre retenu initialement conduit à une vitesse supérieure à cette valeur, il est recommandé de choisir une dimension supérieure.

Tableau 3

Abaque pour le calcul des conduites d'eau froide



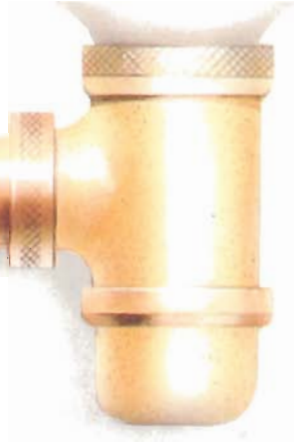
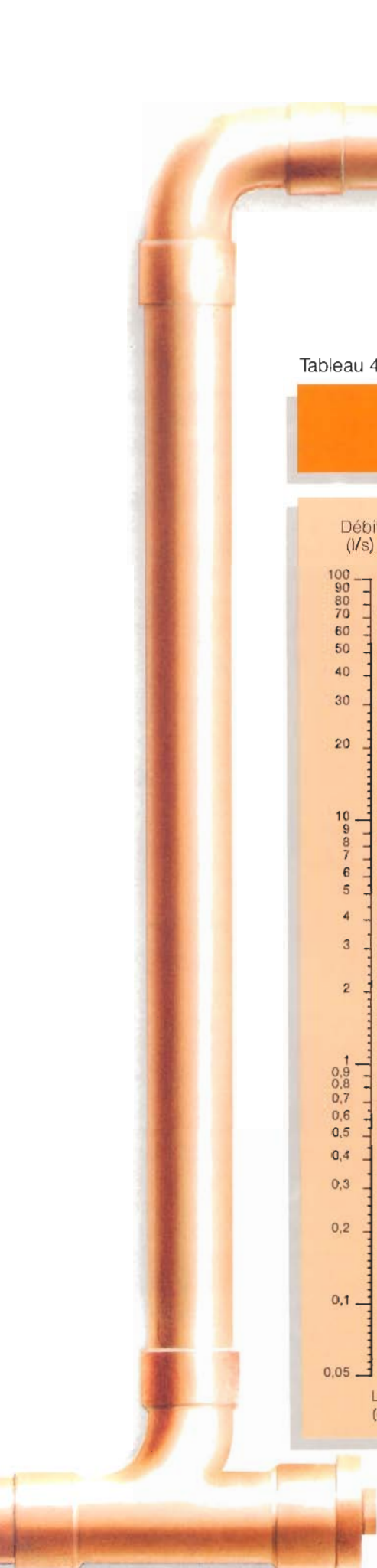
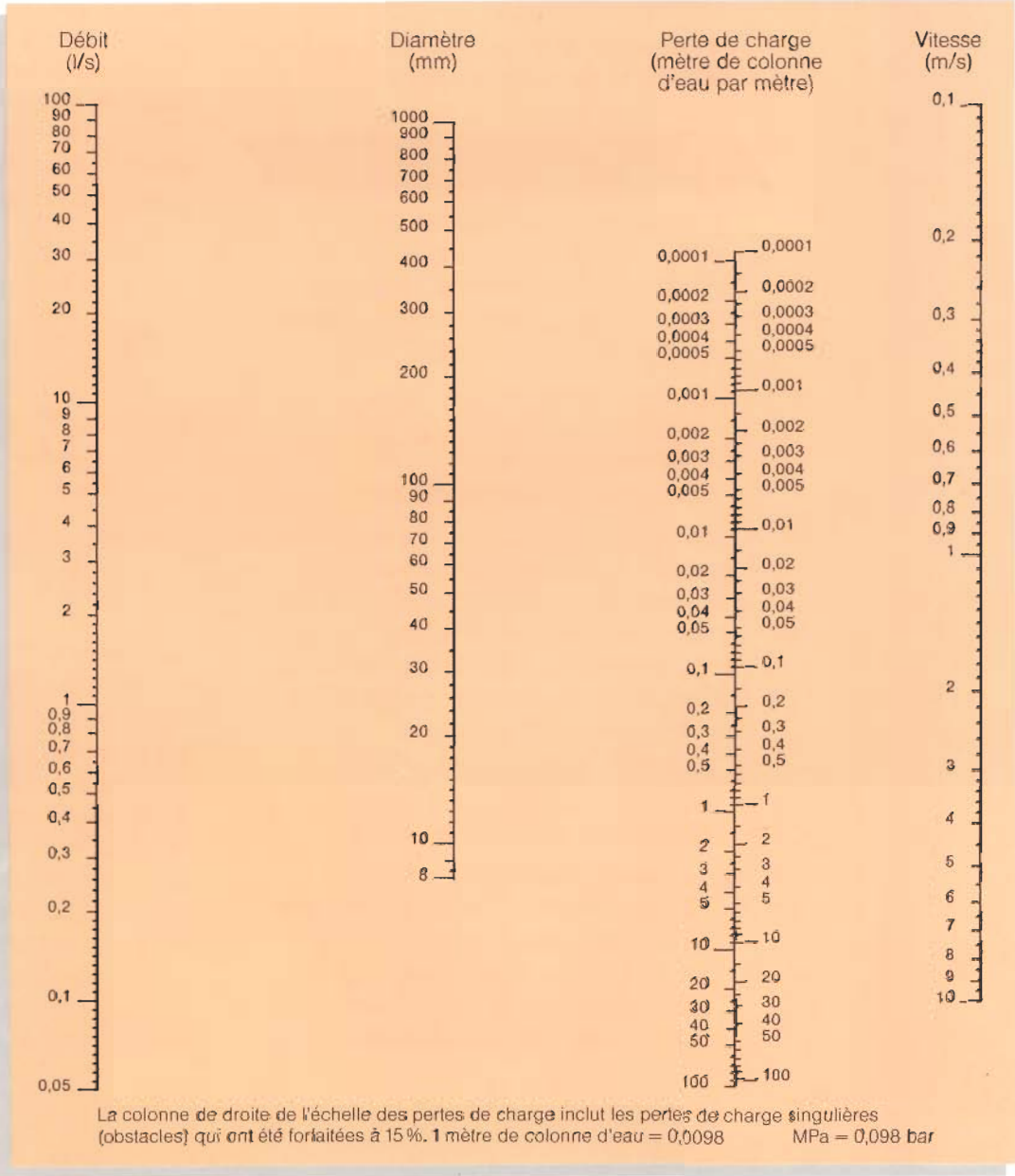


Tableau 4

Abaque pour le calcul des conduites d'eau chaude



A l'inverse, une vitesse trop faible du fluide, qui aboutirait à d'éventuels dépôts sur la partie inférieure des tubes, risquerait d'entraîner d'autres types de corrosion, telle que la corrosion par aération différentielle.

Il est recommandé en conséquence de ne pas descendre en dessous d'une vitesse de 0,5 m/s.

2.7 Pressions d'utilisation

La relation entre la pression d'utilisation (P) à l'intérieur d'un tube et la contrainte de traction (σ) appliquée tangentiellement à la paroi du tube dans un plan perpendiculaire à son axe est donnée par la formule suivante :

$$P = \frac{2e}{D - 2e} \sigma$$

où e est l'épaisseur du tube

D est le diamètre extérieur du tube.

Cette expression signifie que le tube soumis à la pression P du fluide ne subira aucune déformation si la contrainte σ reste inférieure à la plus faible des valeurs limites caractéristiques du comportement du métal dans les conditions de sollicitation, c'est-à-dire en pratique à l'une des deux caractéristiques suivantes :

- soit la limite élastique mesurée à la température d'utilisation, à condition que cette dernière reste inférieure à 200°.
- soit, pour des températures de l'ordre de 200°, la contrainte de fluage engendrant une déformation permanente de 0,1% en 10 000 heures. A des températures supérieures à 200°, le phénomène de fluage devient important et les conditions d'utilisation des

tubes doivent être étudiées cas par cas. Par mesure de sécurité, on retiendra comme valeur de la **contrainte maximale admissible** celle qui correspond à l'application d'un coefficient de sécurité de 1,5 à la limite élastique ou à la limite de fluage.

On trouvera ci-dessous les valeurs des contraintes maximales admissibles ainsi calculées. Elles sont données pour différentes valeurs de température, et correspondent à du cuivre Cu-b1 à l'état recuit.

Température (°C)	< 110°	150°	175°	200°
Limite élastique R _{0,2} (MPa)	60	50	40	—
Contrainte de fluage 0,1% en 10 000 h (MPa)	—	—	—	20
Contrainte maximale admissible (MPa)	40	33	27	14

Les tubes de cuivre écrouis ayant pu être recuits localement lors des opérations de mise en œuvre, on prendra toujours, par précaution, les valeurs relatives aux tubes recuits.

On trouvera au tableau 5 les pressions d'utilisation résultant de l'application de la formule pour des températures < 110°.

Il faut noter que l'éclatement des tubes ne se produira que pour des pressions 5 fois supérieures aux pressions d'utilisation de ce tableau. Enfin, l'application de la formule doit être limitée à des tubes dont le rapport épaisseur/diamètre extérieur est supérieur à 0,03.

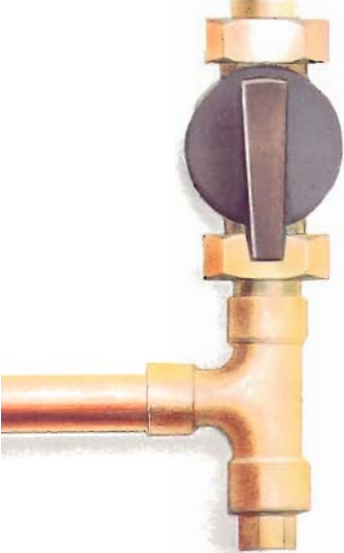


Tableau 5

Pressions d'utilisation (MPa) pour des températures < 110° 1 MPa = 1 N/mm ² = 10 bars													
Diamètre extérieur (mm)	Epaisseur (mm)												
	0,5	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10
3	20	45,7	80										
4	13,3	26,7	40										
5	10	18,8	26,7	36,9									
6	8	14,5	20	26,7	45,7								
7	6,7	11,9	16	20,9	33,7	53,3							
8	5,7	10	13,3	17,1	26,7	40							
9	5	8,6	11,4	14,5	22,1	32	50						
10	4,4	7,6	10	12,6	18,8	26,7	40						
12	3,6	6,2	8	10	14,5	20	28,6						
14	3,1	5,2	6,7	8,3	11,9	16	22,2	30					
15	2,9	4,8	6,2	7,6	10,8	14,5	20	26,7					
16	2,7	4,4	5,7	7,1	10	13,3	18,2	24					
18		3,9	5	6,2	8,6	11,4	15,4	20					
20		3,5	4,4	5,5	7,6	10	13,3	17,1	26,7	40			
22		3,1	4	4,9	6,8	8,9	11,8	15	22,9	33,3			
25		2,7	3,5	4,2	5,9	7,6	10	12,6	18,8	26,7	36,9		
28			3,1	3,7	5,2	6,7	8,7	10,9	16	22,2	30		
30			2,9	3,5	4,8	6,2	8	10	14,5	20	26,7		
32			2,7	3,2	4,4	5,7	7,4	9,2	13,3	18,2	24		
35				2,9	4	5,2	6,7	8,3	11,9	16	20,9	33,7	
38				2,7	3,7	4,7	6,1	7,5	10,7	14,3	18,5	29,1	
40				2,6	3,5	4,4	5,7	7,1	10	13,3	17,1	26,7	
42					3,3	4,2	5,4	6,7	9,4	12,5	16	24,6	36,4
45					3,1	3,9	5	6,2	8,6	11,4	14,5	22,1	32
48					2,9	3,6	4,7	5,7	8	10,5	13,3	20	28,6
50					2,7	3,5	4,4	5,5	7,6	10	12,6	18,8	26,7
52					2,6	3,3	4,3	5,2	7,3	9,5	12	17,8	25
54						3,2	4,1	5	7	9,1	11,4	16,8	23,5
56						3,1	3,9	4,8	6,7	8,7	10,9	16	22,2
63						2,7	3,4	4,2	5,8	7,5	9,4	13,6	18,6
70							3,1	3,7	5,2	6,7	8,3	11,9	16
75							2,9	3,5	4,8	6,2	7,6	10,8	14,5
80							2,7	3,2	4,4	5,7	7,1	10	13,3
85								3	4,2	5,3	6,6	9,3	12,3
90								2,9	3,9	5	6,2	8,6	11,4
100								2,6	3,5	4,4	5,5	7,6	10
110									3,1	4	4,9	6,8	8,9
120									2,9	3,6	4,4	6,2	8
125									2,7	3,5	4,2	5,9	7,6
130									2,6	3,3	4,1	5,6	7,3
140										3,1	3,7	5,2	6,7
150										2,9	3,5	4,8	6,2
160										2,7	3,2	4,4	5,7
170											3	4,2	5,3
180											2,9	3,9	5

2.8 Mesure de la dilatation thermique

On trouvera au tableau 6 la valeur de la dilatation thermique des tubes de cuivre en

fonction des variations de température Δt et de la longueur des tubes.

Tableau 6

Dilatation thermique (mm) des tubes de cuivre en fonction de la longueur des tubes et de la variation de température								
Longueur du tube de cuivre (m)	Variation de température Δt							
	$\Delta t = 30^\circ$	$\Delta t = 40^\circ$	$\Delta t = 50^\circ$	$\Delta t = 60^\circ$	$\Delta t = 70^\circ$	$\Delta t = 80^\circ$	$\Delta t = 90^\circ$	$\Delta t = 100^\circ$
0,1	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17
0,2	0,10	0,13	0,17	0,20	0,24	0,27	0,30	0,34
0,3	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
0,4	0,20	0,27	0,34	0,40	0,47	0,54	0,60	0,67
0,5	0,25	0,34	0,42	0,50	0,59	0,67	0,76	0,84
0,6	0,30	0,40	0,50	0,60	0,71	0,81	0,91	1,01
0,7	0,35	0,47	0,59	0,71	0,82	0,94	1,06	1,18
0,8	0,40	0,54	0,67	0,81	0,94	1,08	1,21	1,34
0,9	0,45	0,60	0,76	0,91	1,06	1,21	1,36	1,51
1	0,50	0,67	0,84	1,01	1,18	1,34	1,51	1,68
2	1,01	1,34	1,68	2,02	2,35	2,69	3,02	3,36
3	1,51	2,02	2,52	3,02	3,53	4,03	4,54	5,04
4	2,02	2,69	3,36	4,03	4,70	5,40	6,05	6,72
5	2,52	3,36	4,20	5,04	5,88	6,72	7,56	8,40
6	3,02	4,03	5,04	6,05	7,06	8,06	9,07	10,08
7	3,53	4,70	5,88	7,06	8,23	9,41	10,58	11,76
8	4,03	5,38	6,72	8,06	9,41	10,75	12,10	13,44
9	4,54	6,05	7,56	9,07	10,58	12,10	13,61	15,12
10	5,04	6,72	8,40	10,08	11,76	13,44	15,12	16,80
11	5,54	7,39	9,24	11,09	12,94	14,78	16,63	18,48
12	6,05	8,06	10,08	12,10	14,11	16,13	18,14	20,16
13	6,55	8,74	10,92	13,10	15,29	17,47	19,66	21,84
14	7,06	9,41	11,76	14,11	16,46	18,82	21,17	23,52
15	7,56	10,08	12,60	15,12	17,64	20,16	22,68	25,20
16	8,06	10,75	13,44	16,13	18,82	21,50	24,19	26,88
17	8,57	11,42	14,28	17,14	19,99	22,85	25,70	28,56
18	9,07	12,10	15,12	18,14	21,17	24,19	27,22	30,24
19	9,58	12,77	15,96	19,15	22,34	25,54	28,73	31,92
20	10,08	13,44	16,80	20,16	23,52	26,88	30,24	33,60
21	10,58	14,11	17,64	21,17	24,70	28,22	31,75	35,28
22	11,09	14,78	18,48	22,18	25,87	29,57	33,26	36,96
23	11,59	15,46	19,32	23,18	27,05	30,91	34,78	38,64
24	12,10	16,13	20,16	24,19	28,22	32,26	36,29	40,32
25	12,60	16,80	21	25,20	29,40	33,60	37,80	42