

tech.info

Manuel technique
pour systèmes de conduites tubulaires

Édition: Août 2010



Concernant ce manuel

Grâce aux données qu'il rassemble, ce manuel a pour objet de vous faciliter les travaux de planification et de conception. De plus, il vous présente les possibilités de transformation et les domaines d'application de nos systèmes de tubes de grande qualité en PE, PP et PVDF.

Concernant ce Manuel technique, veuillez tenir compte de la toute dernière version de notre CD-ROM SIMCAT, qui comporte tous les tubes, raccords et vannes avec leurs dimensions techniques.

Pour un complément d'informations, veuillez vous adresser à notre Technical Support :
+49 (0) 67 52 14-254
pipingsystems@simona.de

Sommaire

Partie	Page	
Profil de l'entreprise	4	
1 Paramètres caractéristiques des matériaux et homologations	6	1
2 Caractérisation des contraintes par essais de pression interne en fonction du temps	16	2
3 Module d'élasticité en fonction du temps (module de fluage)	22	3
4 Propriétés des matériaux et limites de résistance	28	4
5 Pose, montage, essais de mise sous pression	50	5
6 Soudage	94	6
7 Affectation des diamètres nominaux	102	7
8 Tolérances	106	8
9 Unités de base du Système International (SI)	112	9
10 Explications	118	10
11 Services	131	11

Profitez de notre dynamisme et de notre enthousiasme – Bienvenue chez SIMONA



Derrière chaque produit de notre entreprise, on trouve des hommes et des femmes, qui l'ont développé et fabriqué. Nos collaborateurs ont façonné SIMONA avec leur réflexion, leur action et leur passion – depuis plus de 150 ans.

Aujourd'hui, nous sommes l'un des leaders mondiaux de la fabrication de semi-produits thermoplastiques.

Des produits qui répondent à chaque exigence

SIMONA vous propose la plus large gamme de semi-produits thermoplastiques au monde. Notre offre complète met à votre disposition des tubes, des raccords, des vannes, des plaques, des joncs, des profilés, des fils à souder et des pièces usinées pour pratiquement chacune de vos applications. En l'occurrence, la diversité des matériaux proposés va du PE et du PP au PVC, au PVDF, au E-CTFE et au PETG. Sur demande, nous développons un produit répondant spécifiquement à vos besoins, en étroite collaboration avec vous.

Une qualité remarquable

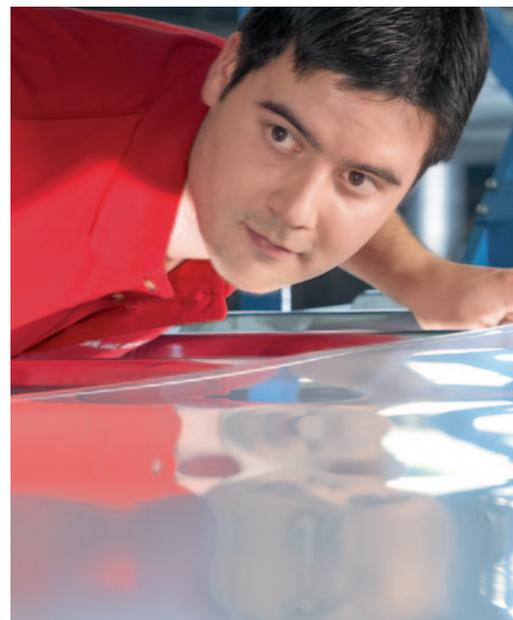
Nos produits et services vous garantissent une qualité maximale. Nous attachons une grande importance au professionnalisme pour la réalisation de vos projets. Notre gestion de la qualité en est le garant – vous pouvez vous y fier.

Un réseau de distribution mondial

Grâce à un réseau de filiales et de partenaires commerciaux mis en place à l'échelle mondiale, SIMONA peut livrer avec flexibilité, rapidité et fiabilité. Nous nous faisons un plaisir de vous aider.

Un service de conseil de premier ordre

En tant que client, vous êtes au centre de nos activités : de la conception du projet à son étude in situ, en passant par l'achat des matières premières et la production, nous sommes un partenaire à vos côtés pour vous conseiller. De plus, nous mettons volontiers à votre disposition tous les documents relatifs à nos produits et nous vous proposons des formations spécifiques en cas de besoin.



Le système de gestion de la qualité et de l'environnement de SIMONA AG est certifié DIN EN ISO 9001 : 2000 et DIN EN ISO 14001 : 2005.

Le système de gestion de la qualité de SIMONA AG est certifié conforme à la directive européenne sur les équipements sous pression 97/23/CE Annexe I, alinéa 4.3.



1 Paramètres caractéristiques des matériaux et homologations

1.1	Paramètres caractéristiques des matériaux	7
1.1.1	Paramètres caractéristiques du PE	8
1.1.2	Paramètres caractéristiques du PP	10
1.1.3	Paramètres caractéristiques du PVDF et E-CTFE	12

1.2	Agréments/Normes	14
------------	-------------------------	-----------

1.3	Abréviations	15
------------	---------------------	-----------

1.1 Paramètres caractéristiques des matériaux



Nous soumettons nos produits à des contrôles réguliers et à des tests de longue durée. Dans le laboratoire de notre entreprise, les paramètres caractéristiques des matériaux et leurs propriétés à long terme sont contrôlés en permanence.

Nous partageons volontiers nos connaissances avec vous et nous réalisons des études pour votre compte.

1.1.1 Paramètres caractéristiques du PE

Outre sa formidable aptitude à la transformation, le polyéthylène séduit par sa bonne résistance chimique ainsi que par sa solidité et sa rigidité dans la plage de température allant de -40°C à $+80^{\circ}\text{C}$. Grâce à la part de suie ajoutée à sa formulation, le PE est résistant aux UV et convient donc à une utilisation durable à l'extérieur.

Le dernier développement dans la gamme des polyéthylènes sur base PE 100 est le PE 100 RC (resistant to crack), qui possède une résistance accrue à la propagation lente des fissurations.

Le PE-EL électroconducteur évacue les charges électrostatiques et empêche la formation d'étincelles.



Propriétés du PE

- Très bon comportement hydraulique grâce aux parois intérieures lisses des tubes
- Résistance élevée à l'usure
- Résistance efficace à la corrosion
- Stabilité et flexibilité excellentes
- Remarquable résistance à la lumière et aux intempéries
- Bonne résistance chimique

Propriétés du PE-EL

- En plus des propriétés ci-dessus : électroconducteur (selon ATEX)

Paramètres caractéristiques	Normes/Directives	PE 80	PE 100	PE 100 RC	PE-EL
Densité, g/cm ³	ISO 1183	0,950	0,960	0,960	0,990
Résistance au seuil de fluage, MPa	DIN EN ISO 527	22	23	23	26
Allongement au seuil de fluage, %	DIN EN ISO 527	9	9	9	7
Allongement à la rupture, %	DIN EN ISO 527	300	600	> 350	60
Module E à la traction, MPa	DIN EN ISO 527	800	1100	900	1300
Résistance sur éprouvette lisse, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	sans casse	sans casse	26	sans casse
Résistance sur éprouvette entaillée, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	12	30	30	6
Dureté à la bille, MPa	DIN EN ISO 2039-1	40	40	40	50
Dureté Shore, D	ISO 868	63	65	63	67
Coefficient de dilatation linéique thermique, K ⁻¹	DIN 53752	1,8 · 10 ⁻⁴			
Conductibilité thermique, W/m · K	DIN 52612	0,38	0,38	0,38	0,38
FNCT, heures	ISO 16770/PAS 1075	> 100	> 300	> 8760	-
Résistivité superficielle, Ohm	DIN IEC 167	1 · 10 ¹⁴	1 · 10 ¹⁴	1 · 10 ¹⁴	< 1 · 10 ⁶
Inflammabilité	DIN 4102	B2	B2	B2	B2
Innocuité physiologique	selon le BfR	oui	oui	oui	non
Résistance chimique	selon l'addendum DIN 8075	conforme	conforme	conforme	conforme
Température d'utilisation, °C		-40 à +80	-40 à +80	-40 à +80	-20 à +60
MRS, MPa	ISO/TR 9082	8	10	10	8
OIT, min	EN 728	30	30	30	30

1.1.2 Paramètres caractéristiques du PP

Par rapport au PE, le matériau PP présente une rigidité accrue, notamment dans la plage de températures élevées (jusqu'à +100°C). Il se caractérise par une résistance chimique élevée et par une bonne durabilité, même à hautes températures, envers un grand nombre de substances.

Grâce à leur ininflammabilité attestée combinée à leur électroconductibilité, les types spéciaux que sont le PPs et le PP-EL-s assurent une protection contre les explosions et en cas d'incendie.



Propriétés du PP

- Grande résilience
- Très bon en contact avec de nombreux acides, alcalis et solvants
- Résistance maximale au fendillement par contrainte
- Résistance efficace à la corrosion
- Moins de tensions internes potentielles grâce à la réduction de la tension résiduelle

- Finesse de texture et stabilité de la structure des cristallites
- Remarquable aptitude au soudage grâce à sa texture fine et stable au plan thermodynamique

Propriétés du PPs

- En plus des propriétés ci-dessus : difficilement inflammable selon la DIN 4102 B1

1

Paramètres caractéristiques	Normes/Directives	PP-H AlphaPlus®	PPs
Densité, g/cm ³	ISO 1183	0,915	0,950
Résistance au seuil de fluage, MPa	DIN EN ISO 527	33	32
Allongement au seuil de fluage, %	DIN EN ISO 527	8	8
Allongement à la rupture, %	DIN EN ISO 527	80	100
Module E à la traction, MPa	DIN EN ISO 527	1700	1600
Résistance sur éprouvette lisse, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	sans casse	sans casse
Résistance sur éprouvette entaillée, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	9	6
Dureté à la bille, MPa	DIN EN ISO 2039-1	70	70
Dureté Shore, D	ISO 868	72	72
Coefficient de dilatation linéique thermique, K ⁻¹	DIN 53752	1,6 · 10 ⁻⁴	1,6 · 10 ⁻⁴
Conductibilité thermique, W/m · K	DIN 52612	0,22	0,22
Rigidité diélectrique, kV/mm	VDE 0303-21	52	22
Résistivité superficielle, Ohm	DIN IEC 167	10 ¹⁴	10 ¹⁴
Inflammabilité	DIN 4102	B2	B1
Innocuité physiologique	selon le BfR	oui	non
Résistance chimique	selon l'addendum DIN 8075	conforme	conforme
Température d'utilisation, °C		0 à +100	0 à +100

1.1.3 Paramètres caractéristiques du PVDF et E-CTFE

Le polyfluorure de vinylidène (PVDF) fait partie des thermoplastiques hautes performances hautement cristallins. Le PVDF possède une rigidité élevée même à température élevée. Ce matériau est remarquablement résistant à presque toutes les substances organiques et anorganiques ; il présente également une innocuité physiologique et il est difficilement inflammable.

Le PVDF-EL est doté de particules électroconductrices et possède une faible résistivité superficielle.



Le matériau hautes performances qu'est l'éthylène-chlorotrifluoréthylène partiellement fluoré (E-CTFE) possède une résistance chimique extrême, même dans le domaine alcalin ; il est difficilement inflammable, présente une innocuité physiologique et résiste remarquablement bien aux intempéries.

Propriétés du PVDF

- Excellente résistance chimique
- Innocuité physiologique (selon BfR et FDA)
- Température d'utilisation élevée
- Difficilement inflammable (selon DIN 4102 B1 et FM 4910)
- Bon comportement hydraulique grâce aux parois internes lisses des tubes
- Résistance au vieillissement exceptionnelle

Propriétés du PVDF-EL

- En plus des propriétés ci-dessus : électroconducteur

Propriétés du E-CTFE

- Résistance chimique extrême
- Innocuité physiologique (selon BfR et FDA)
- Température d'utilisation très élevée
- Difficilement inflammable (selon DIN 4102 B1)

1

Paramètres caractéristiques	Normes/Directives	PVDF	E-CTFE
Densité, g/cm ³	ISO 1183	1,780	1,680
Résistance au seuil de fluage, MPa	DIN EN ISO 527	55	31
Allongement au seuil de fluage, %	DIN EN ISO 527	8	4
Allongement à la rupture, %	DIN EN ISO 527	30	125
Module E à la traction, MPa	DIN EN ISO 527	1950	1650
Résistance sur éprouvette lisse, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	sans casse	sans casse
Résistance sur éprouvette entaillée, kJ/m ²	DIN EN ISO 179	12	> 100
Dureté à la bille, MPa	DIN EN ISO 2039-1	120	56
Dureté Shore, D	ISO 868	78	74
Coefficient de dilatation linéique thermique, K ⁻¹	DIN 53752	1,3 · 10 ⁻⁴	0,5 · 10 ⁻⁴
Conductibilité thermique, W/m · K	DIN 52612	0,14	0,15
Rigidité diélectrique, kV/mm	VDE 0303-21	25	–
Résistivité superficielle, Ohm	DIN IEC 167	10 ¹³	10 ¹⁵
Inflammabilité	DIN 4102	B1	B1
Innocuité physiologique	selon le BfR	oui	oui
Résistance chimique	selon l'addendum DIN 8075	conforme	conforme
Température d'utilisation, °C		-30 à +140	-40 à +150

1.2 Agréments/Normes

Agréments/Normes

	Cotes, conditions générales de conformité et contrôles	Normes et directives supplémentaires en vigueur	Marque d'homologation
Tubes			
Tubes de pression PE 80/PE 100	DIN 8074/8075		DIBt : Z-40.23-311 (pour les liquides mettant l'eau en danger, §19 WHG)
Tubes de pression pour eaux usées PE 80/PE 100	DIN 8074/8075	DIN EN 13244	
Tubes de pression pour eau potable PE 80/PE 100	DIN 8074/8075	DIN EN 12201, DVGW GW 335 – partie A2	DVGW, WRAS
Tubes à gaz PE 80/PE 100	DIN 8074/8075	DIN EN 1555, DVGW GW 335 – partie A2	DVGW
Tubes de canalisation PE 80 CoEx	Basés sur la DIN 8074/8075	DIN 19537	
Tubes d'évacuation PE 80	DIN 8074/8075	DIN EN 1519	
Tubes SPC PE 80/PE 100	Tube central basé sur la DIN 8074/8075	DIN 19537, DIN 19533, enveloppe protectrice selon DIN 4033 (DIN EN ISO 1610)	
Tubes de pression PE-EL	DIN 8074/8075		
Tubes de pression PP-H	DIN 8077/8078		DIBt : Z-40.23-325 (pour les liquides mettant l'eau en danger, §19 WHG)
Tubes de ventilation PPs	Basés sur la DIN 8077/8078	DIN 4102, résistant au feu conformément à la classe B1	MPA : P-BWU03-I-16.5.8 (matériau de construction difficilement inflammable)
Tubes de ventilation PP-EL-s	Basés sur la DIN 8077/8078	UL 94 V-0, résistant au feu conformément à la classe V-0	
Tubes de pression PVDF	ISO 10931		DIBt : Z-40.23-323 (pour les liquides mettant l'eau en danger, §19 WHG) Autorisation FM (coupe-feu) : 3003707, Catégorie N° 4910
Tubes de pression E-CTFE	Basés sur la ISO 10931		

Raccords

Raccords moulés par injection PE 80/PE 100	DIN 16963		DIBt : Z-40.23-311 (pour les liquides mettant l'eau en danger, §19 WHG)
Raccords moulés par injection pour eau potable PE 80/PE 100	DIN 16963	DIN EN 13244	DVGW, WRAS, PIIP
Raccords moulés par injection pour le gaz PE 80/ PE 100	DIN 16963	DIN EN 12201, DVGW GW 335 – partie A2	DVGW, PIIP
Raccords pour canalisations et conduites d'eaux usées PE 80/PE 100	DIN 16963	DIN EN 1555, DVGW GW 335 – partie A2	DVGW
Raccords moulés par injection PP	DIN 16962	DIN 19537	DIBt : Z-40.23-311 (pour les liquides mettant l'eau en danger, §19 WHG)
Pièce moulée par injection PVDF	ISO 10931	DIN EN 1519	DIBt : Z-40.23-323 (pour les liquides mettant l'eau en danger n, §19 WHG) Autorisation FM (coupe-feu) : 3003707, Catégorie N° 4910

Un contrôle externe régulier est effectué par les bureaux de vérification suivants, reconnus par l'État : TÜV Allemagne Sud, SKZ, MPA Darmstadt (Allemagne), KIWA Pays Bas, IIP Italie, Electrabel Belgique, Benor Belgique.

1.3 Abréviations

Matériaux

PE	Polyéthylène
PE-EL	Polyéthylène, électroconducteur
PE RC	Polyéthylène, resistant to crack
PP-H	Polypropylène, homopolymère
PP-R	Polypropylène, random copolymère
PPs	Polypropylène, difficilement inflammable
PP-EL-s	Polypropylène, électroconducteur, difficilement inflammable
PVDF	Polyfluorure de vinylidène
E-CTFE	Ethylène-chlorotrifluoroéthylène

Normes, directives

ANSI	American National Standard Institute
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsche Industrienorm
DVGW	Deutscher Verband für Gas und Wasser
EN	Norme européenne
FM	Factory Mutual Research
ISO	International Standardization Organisation
TÜV	Techn. Überwachungsverein Süddt.
WRAS	Water Regulations Advisory Scheme

Abréviations, mesures et dimensions

d	diamètre extérieur du tube
DN	diamètre nominal
e	épaisseur de paroi
kg	kilogramme par pièce
kg/m	kilogramme par mètre
m	mètre
mm	millimètre
NPT	manchon taraudé mâle/femelle cylindrique
PN	pression nominale
R	manchon taraudé mâle cylindrique
Rp	manchon taraudé femelle cylindrique
SDR	Standard Dimension Ratio (correspond au diamètre extérieur du tube divisé par l'épaisseur de paroi)
SF	facteur de sécurité

Matériaux additifs (joints)

EPDM	éthylène-propylène-caoutchouc
FPM	caoutchouc fluoré
NBR	caoutchouc nitrile

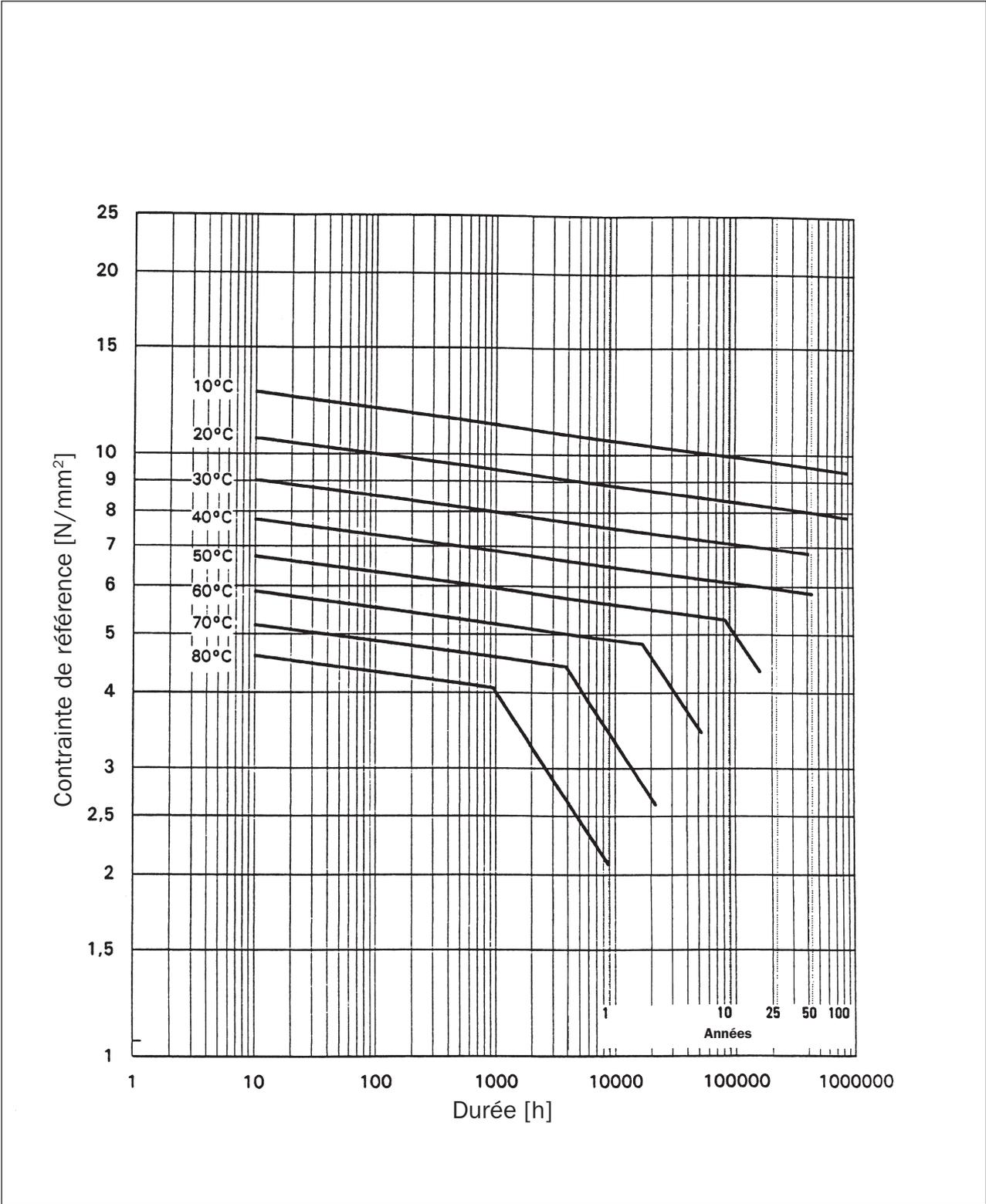
Toutes les dimensions du programme de livraison sont indiquées en mm.

Sous réserve de modifications techniques.

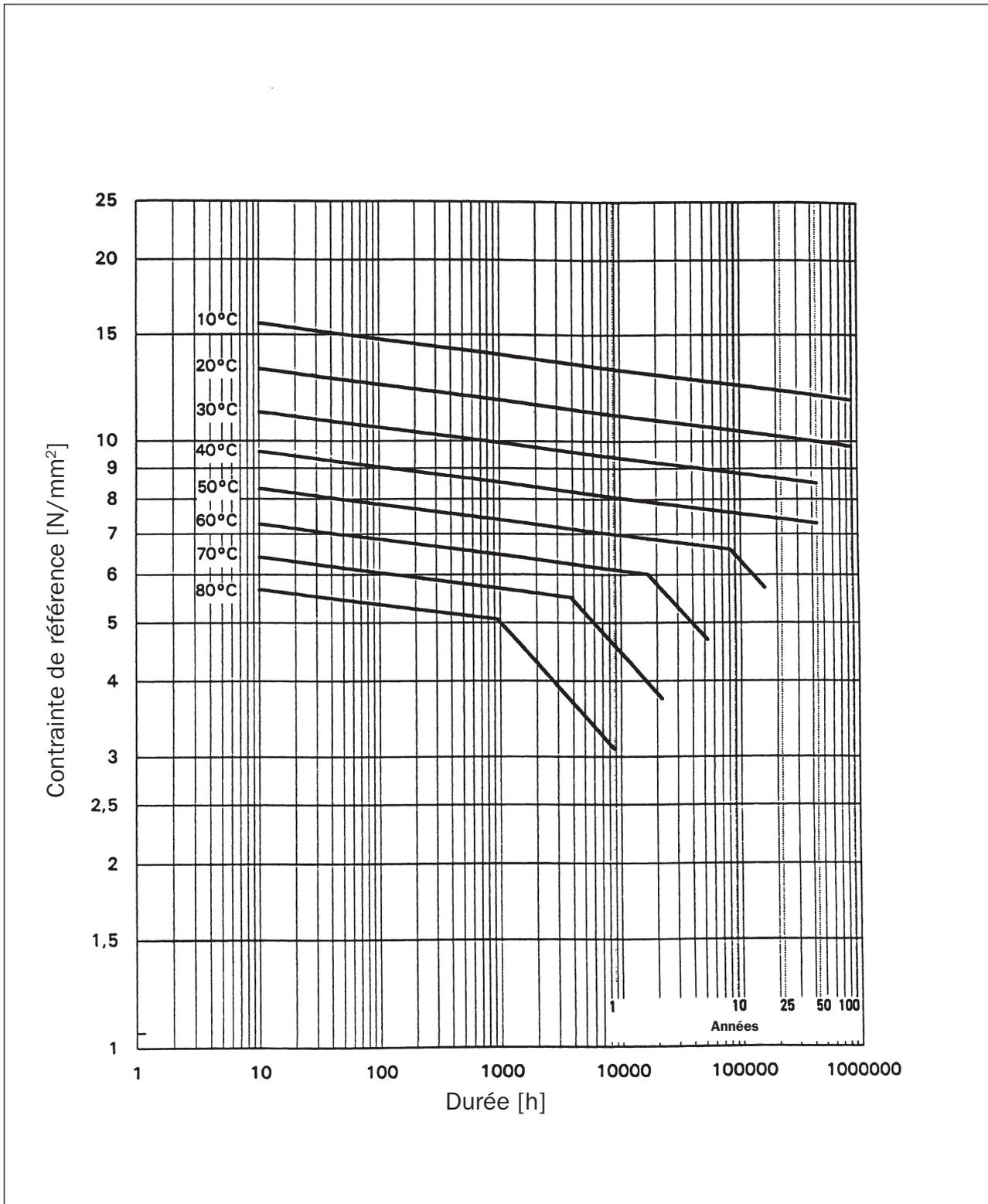
2 Caractérisation des contraintes par essais de pression interne en fonction du temps

2.1	Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PE 80	17
<hr/>		
2.2	Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PE 100	18
<hr/>		
2.3	Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PP-H	19
<hr/>		
2.4	Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PP-R	20
<hr/>		
2.5	Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PVDF	21

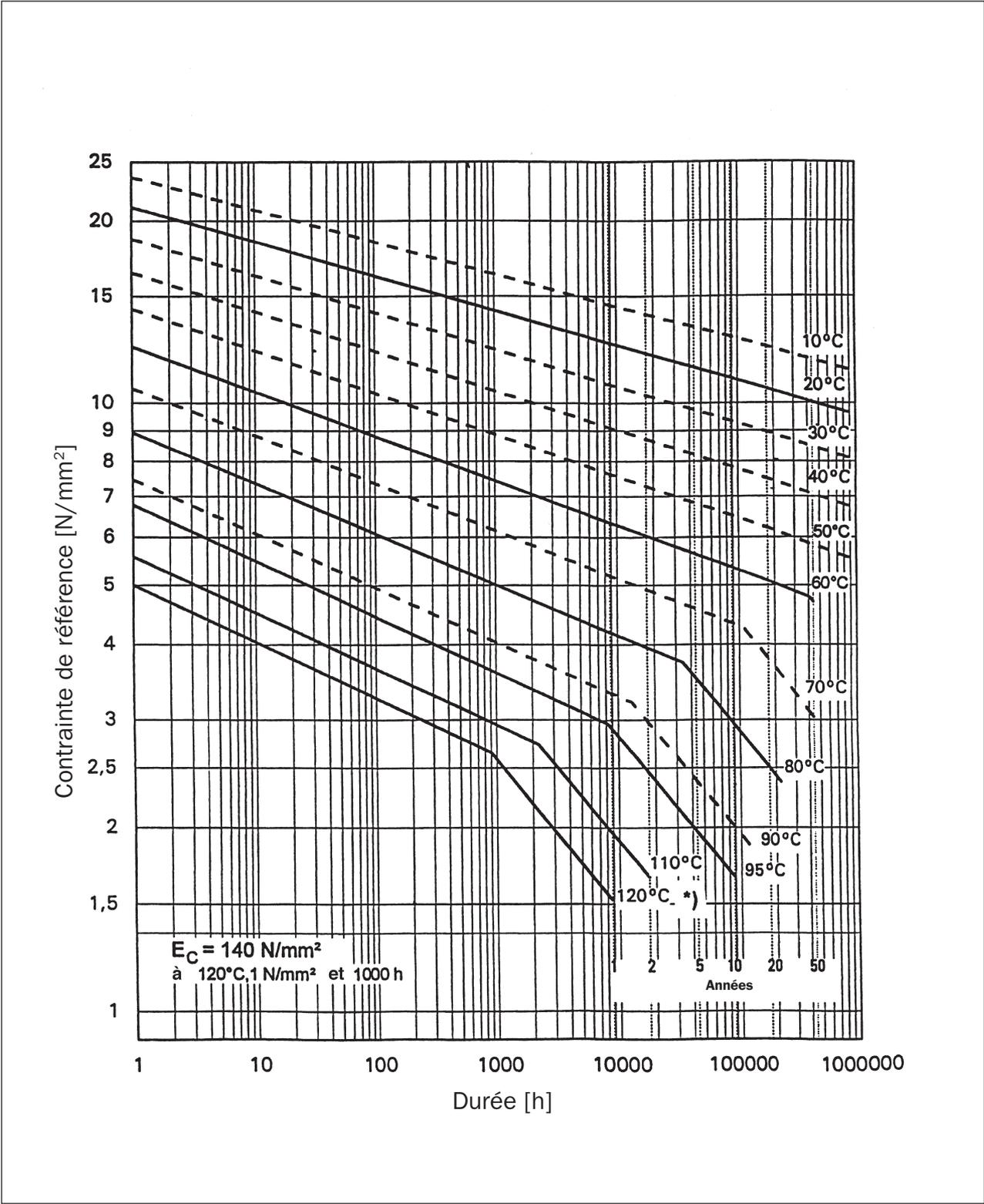
2.1 Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PE 80



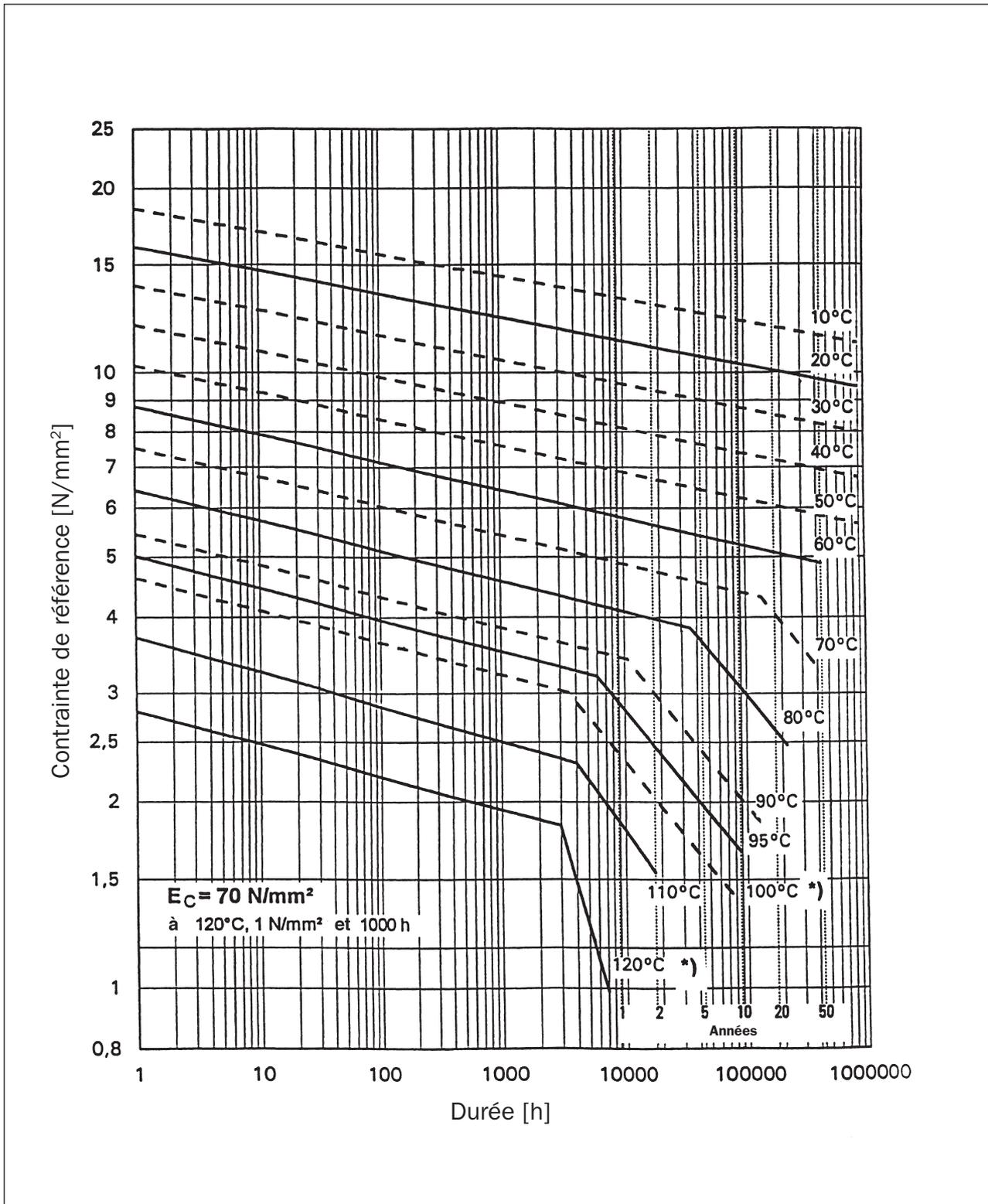
2.2 Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PE 100



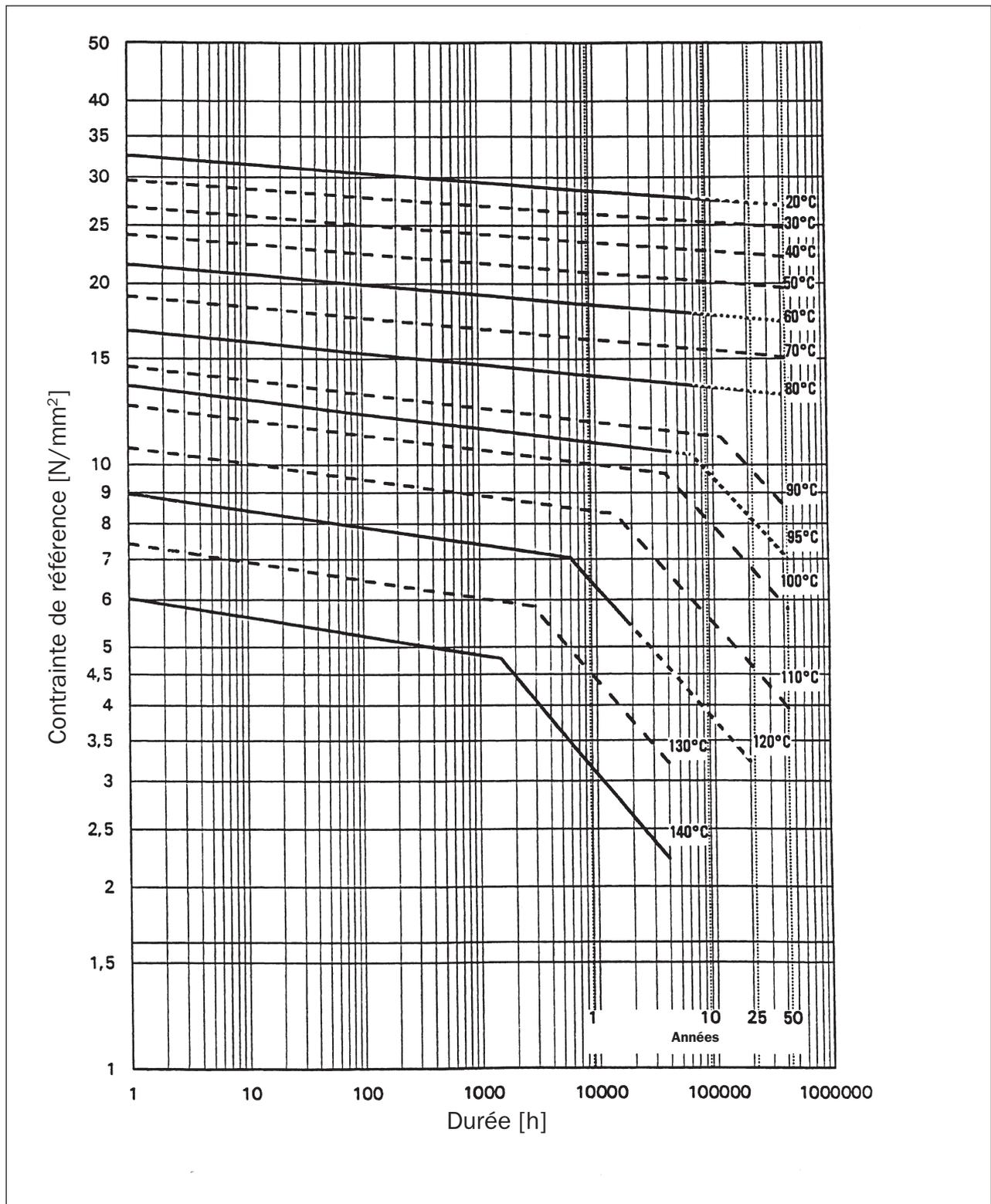
2.3 Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PP-H



2.4 Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PP-R



2.5 Courbes de résistance à la pression interne en fonction du temps des tubes en PVDF



3 Module d'élasticité en fonction du temps (module de fluage)

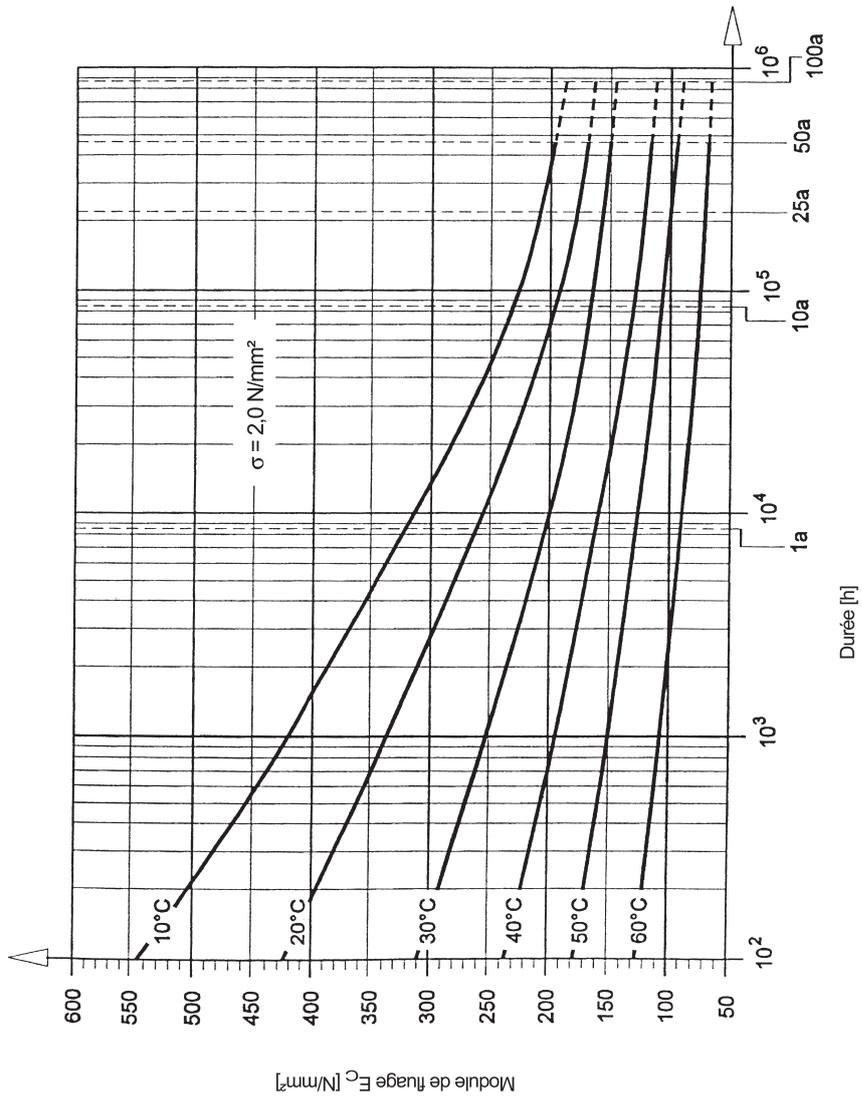
3.1	Module de fluage du PE 80/PE 100	23
3.2	Module de fluage du PP-H	24
3.3	Module de fluage du PP-R	25
3.4	Module de fluage du PVDF	26

3.1 Module de fluage du PE 80/PE 100

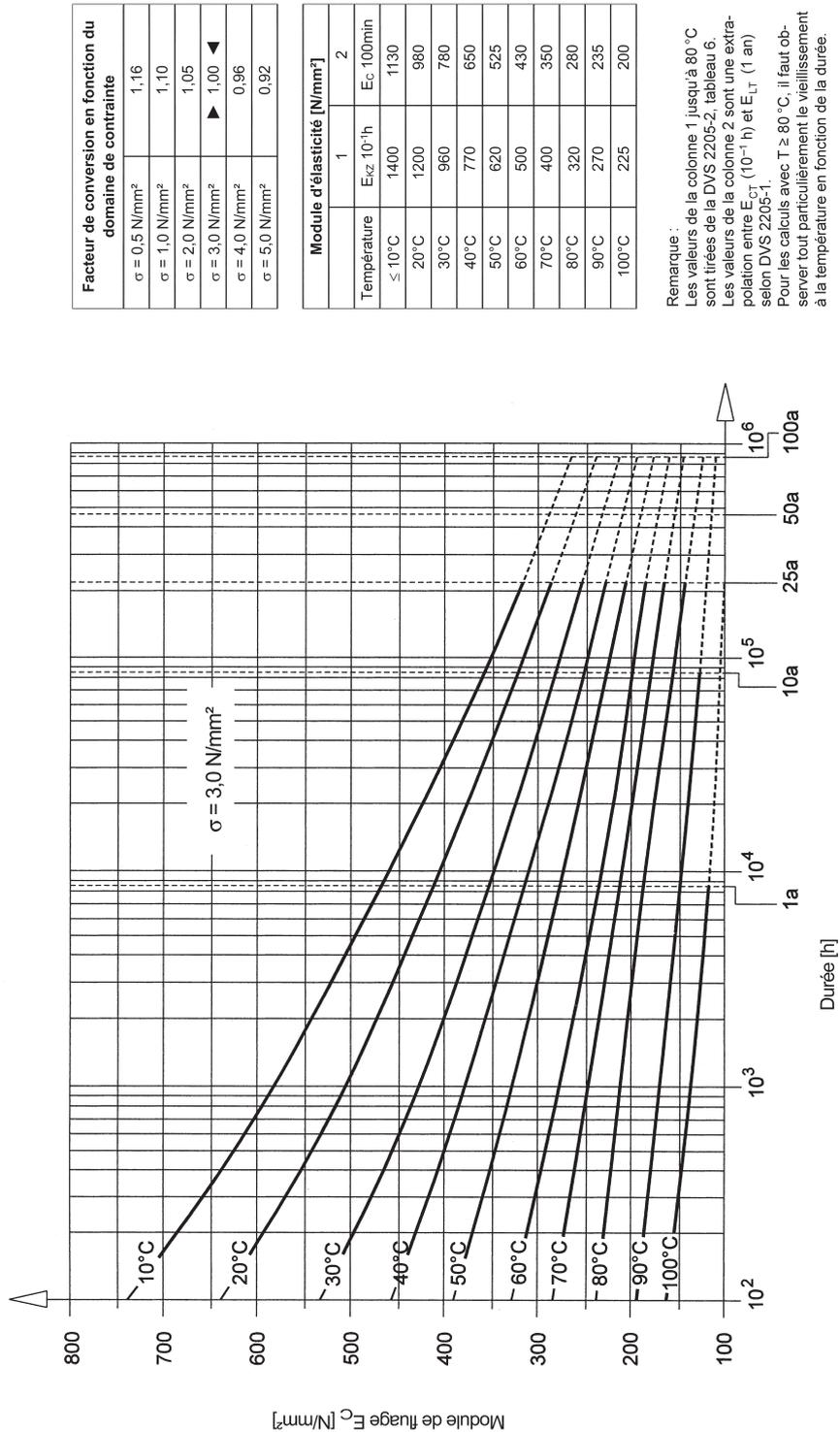
Facteur de conversion en fonction du domaine de contrainte	
$\sigma = 0,5 \text{ N/mm}^2$	1,20
$\sigma = 1,0 \text{ N/mm}^2$	1,08
$\sigma = 2,0 \text{ N/mm}^2$	▶ 1,00 ◀
$\sigma = 3,0 \text{ N/mm}^2$	0,78
$\sigma = 4,0 \text{ N/mm}^2$	0,70
$\sigma = 5,0 \text{ N/mm}^2$	0,60

Température	Module d'élasticité [N/mm ²]	
	1	2
≤ 10°C	$E_{kz} 10^{-3} \text{ h}$	$E_c 100 \text{ min}$
20°C	1100	850
30°C	800	630
40°C	550	450
50°C	390	325
60°C	270	230

Remarque:
 Les valeurs de la colonne 1 sont tirées de la DVS 2205-2, tableau 6. Les valeurs de la colonne 2 sont une extrapolation entre $E_{cT} (10^{-1} \text{ h})$ et $E_{LT} (1 \text{ an})$ selon DVS 2205-1.



3.2 Module de fluage du PP-H

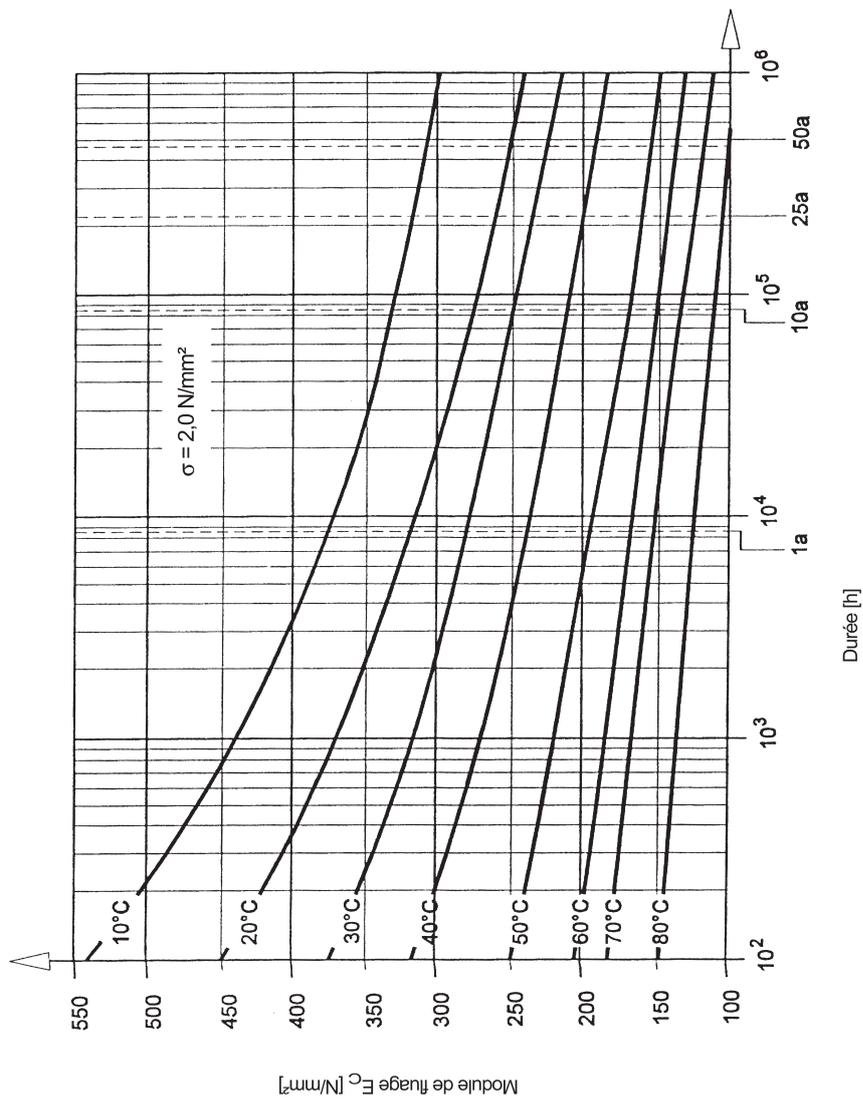


Facteur de conversion en fonction du domaine de contrainte	
$\sigma = 0,5$ N/mm ²	1,16
$\sigma = 1,0$ N/mm ²	1,10
$\sigma = 2,0$ N/mm ²	1,05
$\sigma = 3,0$ N/mm ²	1,00 ◀
$\sigma = 4,0$ N/mm ²	0,96
$\sigma = 5,0$ N/mm ²	0,92

Température	Module d'élasticité [N/mm ²]	
	1	2
$\leq 10^\circ\text{C}$	$E_{kz} \cdot 10^{-1} \text{h}$	$E_c \cdot 100 \text{min}$
20°C	1400	1130
30°C	1200	980
40°C	960	780
50°C	770	650
60°C	620	525
70°C	500	430
80°C	400	350
90°C	320	280
100°C	270	235
100°C	225	200

Remarque :
 Les valeurs de la colonne 1 jusqu'à 80 °C sont tirées de la DVS 2205-2, tableau 6.
 Les valeurs de la colonne 2 sont une extrapolation entre E_{CT} (10⁻¹ h) et E_{LT} (1 an) selon DVS 2205-1.
 Pour les calculs avec $T \geq 80^\circ\text{C}$, il faut observer tout particulièrement le vieillissement à la température en fonction de la durée.

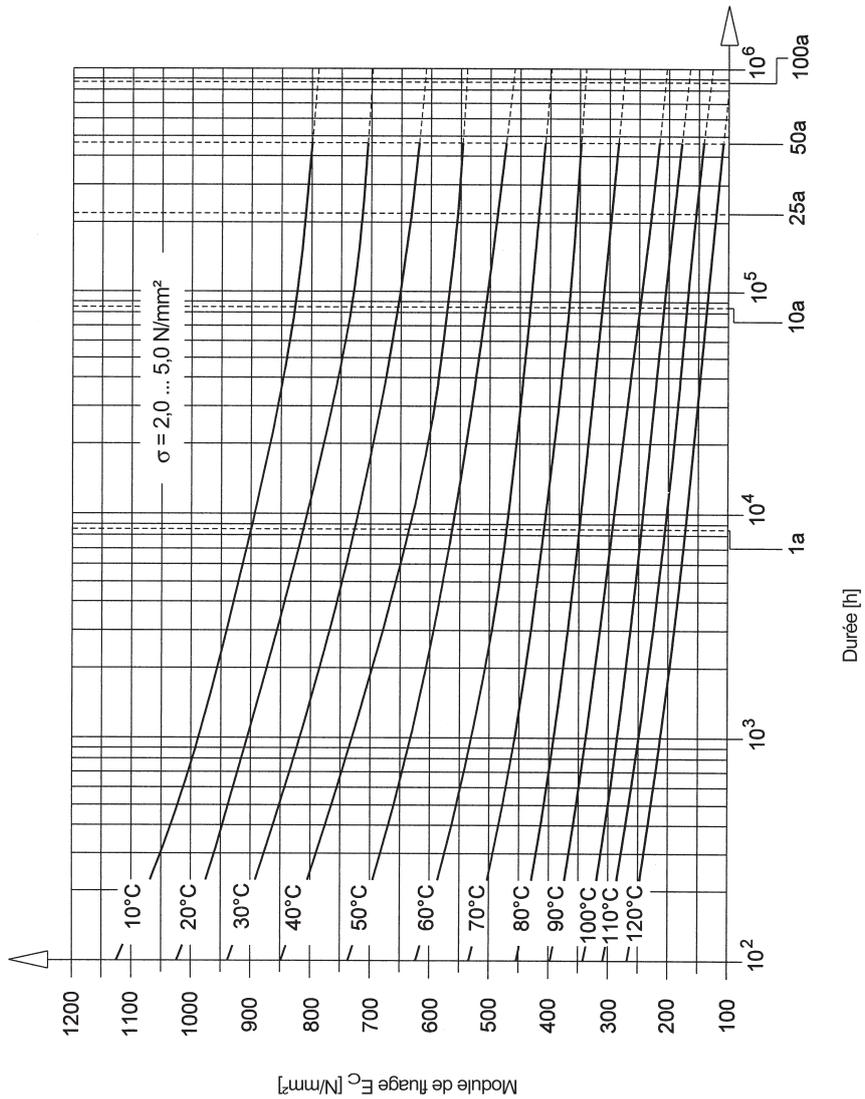
3.3 Module de fluage du PP-R



Module d'élasticité [N/mm²]		
Température	1	2
	$E_{kz} 10^{-1}h$	$E_c 100min$
$\leq 10^\circ C$	1000	800
20°C	800	650
30°C	620	515
40°C	490	420
50°C	380	320
60°C	300	260
70°C	230	210
80°C	180	170

Remarque:
Les valeurs de la colonne 1 sont tirées de la DVS 2205-2, tableau 6. Les valeurs de la colonne 2 sont une extrapolation entre $E_{kz} (10^{-1} h)$ et $E_{1T} (1 an)$ selon DVS 2205-1.

3.4 Module de fluage du PVDF



Module d'élasticité [N/mm²]		
Température	1	2
	$E_{rz} \cdot 10^{-1}h$	$E_c \cdot 100min$
≤ 10°C	1900	1540
20°C	1700	1390
30°C	1515	1255
40°C	1330	1110
50°C	1190	980
60°C	1050	850
70°C	935	750
80°C	820	650
90°C	735	570
100°C	650	505
110°C	580	455
120°C	505	395

Remarque:
 Les valeurs de la colonne 1 sont tirées de la DVS 2205-2, tableau 6. Les valeurs de la colonne 2 sont une extrapolation entre $E_{cr} (10^{-1} h)$ et $E_{cr} (1 an)$ selon DVS 2205-1.

4 Propriétés des matériaux et limites de résistance

4.1	Propriétés des matériaux	29
4.1.1	Résistance chimique	29
4.1.2	Résistance au rayonnement	29
4.1.3	Comportement à la flamme	29
4.1.4	Résistance aux intempéries	30
4.1.5	Reprise d'humidité	31
4.1.6	Innocuité physiologique	31
4.1.7	Résistance aux rongeurs et aux micro-organismes	31
4.1.8	Conductibilité électrique	31

4.2	Charges admissibles	33
4.2.1	Module d'élasticité et son importance lors du dimensionnement	33
4.2.2	Détermination des contraintes admissibles	34
4.2.3	Cas d'une surpression interne	36
4.2.4	Cas d'une dépression interne ou d'une surpression externe	42

4.1 Propriétés des matériaux

4.1.1 Résistance chimique

Les polyoléfines PE-HD et PP ont une aptitude à résister aux produits chimiques très comparable. Elles résistent aux sels, aux acides et aux alcalis en solutions aqueuses diluées.

Ces matériaux peuvent être utilisés en présence de nombreux solvants jusqu'à 60 °C. A température élevée, ils sont dissous par les hydrocarbures aromatiques et halogénés.

Les tubes en PVC résistent aux acides et aux bases dilués et concentrés, aux huiles minérales et végétales, aux alcools et aux hydrocarbures aliphatiques. Ils sont attaqués par les hydrocarbures aromatiques et chlorés, ainsi que par les esters et les cétones.

Le PVDF résiste à la plupart des produits chimiques, acides, sels et bases inorganiques, y compris fortement concentrés et à température élevée. Il présente une remarquable résistance aux hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, aux acides organiques, aux alcools et aux corps de la série aromatique. Il est attaqué par de nombreuses cétones et bases en forte concentration, par l'acide sulfurique fumant, les amines et la pyridine. Il est dissous par la formamide de diméthyle et l'acétamide de diméthyle.

La résistance chimique est à considérer lors de la sélection du matériau à utiliser pour une application déterminée. Cette résistance chimique dépend :

- du milieu,
- de la concentration,
- de la température,
- des conditions de fabrication de la pièce finie et
- de la charge.

Notre très vaste expérience qui porte sur plus de 3000 milieux est réunie dans le CD SIMONA® SIMCHEM sous la forme d'un CD-ROM d'un grand confort d'utilisation. Le CD apporte des réponses détaillées à la plus part de vos questions.

4.1.2 Résistance au rayonnement

L'effet d'un rayonnement chargé en énergie sur la matière plastique ne dépend que de la dose de rayonnement et non de son type (à l'exception des particules très lourdes). La durée de vie est plus réduite lors d'une exposition par rayonnement à l'air qu'en absence d'oxygène. La dose de rayonnement, dont le tableau ci-dessous indique des valeurs de référence, est le seul facteur important.

Tableau 1: Doses de rayonnement

Matériau	Dose maximale admissible ~ Mrad ^①	Dose d'exposition de longue durée ~ Mrad ^①
PE-HD	10,0	1,0
PP	3,0	0,1
PVC	60,0	6,0
PVDF	40,0	20,0

① 10⁴ J/kg = 1 Mrad

Pour donner un ordre de grandeur, la dose mortelle pour l'homme est d'environ 0,0006 Mrad. Par conséquent, pratiquement tous les plastiques peuvent être utilisés dans les locaux où un séjour prolongé est autorisé à l'être humain.

4.1.3 Comportement à la flamme

La DIN 4102 distingue :

- les matériaux non inflammables (classe A), et
- les matériaux inflammables (classe B).

PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

Tableau 2: Évaluation du comportement au feu

Matériau	Classification selon DIN 4102	Température d'allumage par une source extérieure selon ASTM 1929	Indice d'oxygène selon ASTM 2863	Classification ^① selon UL 94	Classification selon DIN 53438	
	Classe	°C	%	Classe	Classe	
PE-HD (PE 80/PE 100)	B2	340	18		F2	K2
PE-EL	B2	340	18		F2	K2
PP-H	B2	345	18		F2	K2
PP-R	B2	345	18		F2	K2
PPs	B1	> 390	28		F1	K1
PVDF	B1	> 390	78	V-0	F1	K1

① Classification SIMONA

Tous les plastiques sans exception appartiennent à cette dernière classe. Une classification plus détaillée donne :

- B 1 : difficilement inflammable,
- B 2 : normalement inflammable,
- B 3 : facilement inflammable.

L'indice d'oxygène (voir tableau 2, page 30) donne une indication supplémentaire sur le comportement au feu. Cet indice désigne la concentration minimale d'oxygène nécessaire dans le milieu de combustion pour permettre une combustion continue. Lorsque la teneur en oxygène du milieu est inférieure à 20,8%, il y a risque d'inflammation et de combustion continue dans l'atmosphère même après éloignement de la source d'allumage.

4.1.4 Résistance aux intempéries

Une utilisation ou un stockage prolongé à l'extérieur la plupart des substances naturelles ou de synthèse du fait de l'action de facteurs de vieillissement, dont notamment le rayonnement UV de la lumière solaire associé à l'oxygène de l'air. Il se produit une décoloration et une diminution des propriétés mécaniques qui, avec le temps, peuvent diminuer les qualités intrinsèques du produit.

Ce phénomène s'observe plus particulièrement avec les matériaux suivants lorsqu'ils n'ont pas été stabilisés spécifiquement pour l'utilisation à l'extérieur :

- le PE-HD naturel ou coloré (à l'exception du noir),
- le PP naturel ou coloré, par exemple gris,
- le PPs gris.

Le matériau suivant présente une très bonne résistance aux intempéries sans stabilisants aux UV :

- le PVDF naturel ou coloré.

L'utilisation de stabilisants aux UV (fabrication spéciale) permet de multiplier par quatre environ la résistance à la lumière du matériau coloré par rapport au matériau naturel. L'addition de certains noirs de carbone permet d'améliorer encore cette résistance à la lumière et de conférer une remarquable stabilité au vieillissement des matériaux suivants :

- PE-HD noir,
- PE-EL noir.

4.1.5 Reprise d'humidité

Les matériaux suivants :

- PE-HD,
- PP et
- PVDF

sont hydrofuges. Ils ne subissent aucun gonflement et, par suite, aucune modification de la stabilité dimensionnelle. Dans l'essai selon DIN 53495 (stockage en eau), on constate une faible reprise d'eau, mais celle-ci est due à la seule adsorption des traces d'humidité superficielles.

4.1.6 Innocuité physiologique

Contact avec les aliments

Les dispositions du BfR de Berlin réglementent l'autorisation d'utilisation des matériaux par une liste stipulant les substances – éventuellement en concentration limitée – qui peuvent être contenues dans le matériau considéré. A ce titre, les tubes SIMONA® en :

- PE-HD et
- PP

peuvent être utilisés en contact avec les aliments.

Le matériau :

- PVDF

n'a pas encore été évalué par le BfR. D'après les indications des fabricants de matières premières, le PVDF ne contient aucune substance susceptible d'avoir un effet négatif lorsqu'il est utilisé en contact avec les aliments.

Les matériaux :

- PE-EL et
- PPs

ne conviennent pas aux applications en contact avec les aliments.

Contact avec l'eau potable

L'utilisation en contact avec l'eau potable est régie par les recommandations KTW (Recommandations Plastiques-Eau Potable) du BfR (Institut fédéral de l'évaluation des risques). Les substances qui entrent dans la composition d'un matériau destiné à être utilisé en contact avec l'eau potable doivent être compatibles avec ces recommandations. Les tubes en PP peuvent avoir un effet olfactif de courte durée.

4.1.7 Résistance aux rongeurs et aux micro-organismes

On sait que les rongeurs mordent les objets très durs pour s'aiguiser les dents. Le bois, les métaux tendres et les matières plastiques, dont ni le goût ni l'odeur ne sont pourtant appétissants, n'échappent pas à cette pratique. Toutefois, la surface lisse et ronde des tubes donne difficilement prise aux dents des rongeurs. C'est pourquoi, des dégâts causés par des rongeurs sur les tubes ou les plaques sont rares.

Les matériaux commercialisés par SIMONA ne constituent pas une souche propice à la prolifération des micro-organismes (bactéries, moisissures, spores) qui, de ce fait, ne les attaquent pas. Ceci vaut également pour les bactéries réductrices des sulfates.

4.1.8 Conductibilité électrique

Comme tous les autres plastiques, les :

- PE-HD,
- PP et
- PVDF

sont des matériaux électro-isolants, lesquels sont définis comme ayant une résistance transversale supérieure à 10^6 Ohm · cm. Celle des matériaux

PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

ci-dessus est de l'ordre de 10^{15} Ohm · cm. Pour l'utilisateur, la résistance superficielle est une propriété importante. Lorsque cette valeur dépasse 10^9 Ohm, le matériau est à classer comme susceptible de se charger d'électricité statique.

Dans un réseau de tuyauterie en plastique, il convient d'éviter la formation de charges électrostatiques lorsque les milieux en écoulement ne sont pas conducteurs où lorsque les tuyauteries doivent être posées dans une zone déflagrante. Les gaz ou les fluides inflammables ne peuvent être transportés sans risque que par un système en circuit fermé et relié à la terre. La réduction de la vitesse de transport permet également de réduire le risque de charge électrostatique.

Dans les locaux où sont posées des tuyauteries en matière plastique, une bonne ventilation ou une bonne aspiration permet d'éviter la formation de mélanges inflammables. Une autre mesure préventive consiste à ioniser l'air ambiant pour éviter que le plastique ne se charge d'électricité statique. Du fait qu'il n'y a pratiquement pas de formation de charge électrostatique lorsque l'hygrométrie dépasse 65 %, une autre solution souvent utilisée consiste à augmenter l'humidité de l'air.

Il est en principe possible de rendre conductrice une matière plastique en lui ajoutant les additifs appropriés. Par contre, il est impossible de modifier rétroactivement la conductibilité électrique (résistance intérieure). Les tubes fabriqués en SIMONA® PE-EL (PE 80) conducteur font partie de notre programme standard et sont disponibles sur stock en de nombreux formats.

Des tubes en PP ou en PVDF électroconducteur peuvent être réalisés dans le cadre d'une fabrication spéciale, sous considération de la quantité demandée. Pour ces deux matériaux, c'est avec plaisir que nous établissons des devis sur demande.

4.2 Charges admissibles

4.2.1 Module d'élasticité et son importance lors du dimensionnement

Le module d'élasticité E est une grandeur caractéristique d'un matériau qui désigne la relation entre l'effort σ et l'allongement ε d'une pièce. Sa détermination expérimentale s'effectue par l'application d'un effort monoaxial de traction ou de flexion. Le module d'élasticité, qui a la même unité dimensionnelle que l'effort, s'interprète comme la pente des droites de HOOK dans le diagramme de contrainte-allongement (diagramme σ - ε).

A partir de la loi d'HOOK sur les contraintes monoaxiales :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon,$$

le module d'élasticité s'obtient par :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}.$$

Le principal intérêt du module d'élasticité est de permettre de déterminer la déformation produite par une charge ou une contrainte connues. A l'inverse, moyennant l'utilisation de jauges de contrainte, la contrainte ou la charge peuvent être déduites de la déformation.

Module d'élasticité en fonction du temps (module de fluage)

A la différence du module d'élasticité généralement associé aux métaux, les thermoplastiques sont caractérisés par le module de fluage E_c qui dépend du temps, de la température et de la contrainte. Comme le module d'élasticité, le module de fluage est le quotient de la contrainte par l'allongement total. Dans le cas du module d'élasticité, le domaine proportionnel de la relation contrainte-allongement (loi d'HOOK) n'est significatif que pour une contrainte de courte durée. Pour les contraintes de longue durée, il doit être déterminé à partir du rapport entre une

contrainte constante dans le temps et un allongement qui croît avec le temps (module de fluage).

La méthode de calcul d'un module de fluage admissible d'un thermoplastique est similaire à celle du calcul de contrainte. Outre la température et le temps, l'influence du milieu en écoulement et la relation de contrainte jouent un rôle et une certaine marge de sécurité doit être prise pour la détermination du module de fluage admissible.

Dans le calcul du module de fluage, il doit aussi être tenu compte du type de sollicitation (traction ou flexion), car les valeurs à appliquer sont différentes. Les modules d'élasticité en traction sont plus élevés que ceux en flexion.

Différence entre module d'élasticité et module de fluage

Pour les contraintes de courte durée, on utilisera le module d'élasticité à court terme E_{CT} et, pour les contraintes de longue durée, le module d'élasticité à long terme (module de fluage) E_{LT} , c'est-à-dire le module de fluage E_c . Le module de fluage est la valeur caractéristique déterminante pour le calcul des déformations, et en particulier pour le calcul de la flèche prise par un tube entre – par exemple – deux points d'appui (élançement).

Les questions de stabilité, comme celles portant sur le voilement d'un tube sous l'effet d'une dépression interne, sont à traiter en utilisant le module d'élasticité à court terme. Cette utilisation du module d'élasticité à court terme [E_{CT}] se justifie en raison du caractère brutal (et de courte durée) du phénomène de déformation qui entraîne une instabilité de la tuyauterie. Les données de module d'élasticité à court terme correspondantes peuvent être déduites

CHARGES ADMISSIBLES

des diagrammes SIMONA des points 3.1 à 3.4 (p. 23 à 26). Un exemple de détermination de la résistance à cette déformation est donné au point 4.2.4.

En ce qui concerne le flambage d'une tuyauterie sous l'effet d'une pression axiale, ce sont principalement la distance entre les éléments de guidage et les imperfections du tube (précambreur) qui jouent un rôle, et non le module d'élasticité ou de fluage qui n'ont aucun effet sur ce phénomène. Le calcul de la distance entre les éléments de guidage ou entre les points d'appui d'un tube est traité en détail au paragraphe 5.3.

Un autre critère de dimensionnement dans lequel le module de fluage joue un rôle est celui de la sollicitation au point de fixation d'une tuyauterie encastrée longitudinalement (voir paragraphe 5.3). Pour le calcul de la contrainte au point de fixation, on doit considérer qu'il faut un certain temps pour que les différences de température dans le réseau de tuyauterie déclenchent une variation de longueur. L'empêchement de ces variations de longueur par des points de fixation se traduira par des sollicitations en pression ou en traction en fonction du module de fluage et la différence de température.

Dans ces calculs, on utilisera la valeur de module de fluage pour $t = 100$ mm [$E_c(100 \text{ mm})$] dans l'équation de l'effort au point de fixation. Les données pour $E_c(100 \text{ mm})$ peuvent être déduites des diagrammes SIMONA du chapitre 3 (p. 23 à 26). Un exemple de détermination des efforts au point de fixation est donné au chapitre 10 (p. ex. [6] et [7]).

Les courbes (moyennes) SIMONA de module de fluage permettent de déduire le module de fluage des thermoplastiques PE-HD, PP et PVDF pour une température donnée et une durée de 100 h à 100 ans.

Détermination du module d'élasticité ou du module de fluage admissible

Outre les relations de température, de temps et de contrainte, la détermination du module d'élasticité ou du module de fluage admissible pour une application donnée doit tenir compte des effets du milieu en écoulement et d'un coefficient de sécurité suffisant face à une imprécision des données de conditions de service. On recommande à cet égard d'utiliser un coefficient de sécurité $C_s \geq 1,1$. Il s'ensuit (voir chap. 10, ex. [1]) :

$$E_{C(C,T,L,T)} \text{ adm} = \frac{E_{(T,t,\sigma)}}{A_2 \cdot C_s}$$

Avec :

$E_{C(C,T,L,T)} \text{ adm}$	= module d'élasticité admissible en fonction de la durée de sollicitation	[N/mm ²]
$E_{(T,t,\sigma)}$	= module d'élasticité selon diagramme SIMONA, chapitre 3.1 à 3.4	[N/mm ²]
A_2	= coefficient de réduction du milieu présent [Ⓞ]	[-]
C_s	= coefficient de sécurité par rapport à la limite d'allongement (p. ex. d'après DVS 2205-1, tableau 1)	[-]

[Ⓞ] La valeur du coefficient de réduction A_2 est donnée dans SIMONA® SIMCHEM ou les listes de milieux DIBt.

4.2.2 Détermination des contraintes admissibles

Les calculs de résistance des tuyauteries en matière plastique sont en principe à effectuer à partir des valeurs des caractéristiques à long terme. Ces valeurs doivent se rapporter à la durée de service minimale de la tuyauterie. On utilise couramment les valeurs suivantes :

- 10 ans pour les cuves et appareils industriels
- 25 ans pour les tuyauteries industrielles
- 50 ans pour les tuyauteries de viabilisation

Dans certains cas, le calcul peut porter sur des durées de service moindres. Ceci est toutefois soumis à l'accord exprès de l'utilisateur de la tuyauterie. En tout état de cause, il est exclu de réduire la durée de service de calcul pour les installations de stockage, de déversement ou de manutention de substances dangereuses (installations LAU).

Caractéristiques des matériaux à partir des courbes de durée de service-pression interne

Les caractéristiques de résistance des récipients et des tuyauteries en thermoplastique en fonction de la température de service peuvent être déduites des représentations graphiques SIMONA ou des normes fondamentales des tuyauteries, ou encore de la directive DVS 2205-1 et de ses annexes. Les représentations graphiques de durée de service permettent de déduire la caractéristique de résistance pour une température et une durée de service données à partir d'une courbe des minimas. La caractéristique de résistance K se rapporte généralement au comportement d'un matériau soumis à une sollicitation mono-axiale à 20 °C (p. ex. limite d'élasticité en traction de l'acier).

Pour les thermoplastiques, les graphiques de durée de service indiquent la résistance des tubes non soudés soumis à une pression interne (contrainte bi-axiale), dans lesquels les courbes représentent la contrainte de référence σ_v . L'utilisation de ces graphiques est explicitée à l'aide de l'exemple qui suit.

Détermination de la contrainte admissible

La détermination de la contrainte admissible à utiliser pour calculer la résistance d'une tuyauterie en thermoplastique repose sur les contraintes de référence σ_v qui résultent des courbes de durée de service en fonction de la pression interne. La con-

trainte circonférentielle se détermine comme suit (voir chap. 10, ex. [2]) :

$$\sigma_{(u)} \text{ adm} = \frac{\sigma_v}{A_2 \cdot A_4 \cdot C_s}$$

Avec :

$\sigma_{(u)} \text{ adm}$	= circonférentielle admissible ^①	[N/mm ²]
σ_v	= caractéristique de résistance d'après graphique	[N/mm ²]
A_2	= coefficient de réduction du milieu en écoulement ^②	[-]
A_4	= coefficient de réduction de résilience du matériau	[-]
C_s	= coefficient de sécurité	[-]

^① Pour la température et la durée de service choisies.

^② La valeur du coefficient de réduction A_2 est donnée dans SIMONA® SIMCHEM ou les listes de milieux DIBt.

Remarque : Le coefficient de joint ou de soudage de la tuyauterie n'intervient pas dans la détermination de la contrainte circonférentielle du fait que la contrainte s'exerce parallèlement au plan de joint. Ce coefficient de joint f_s est à considérer en cas de contrainte axiale (p. ex. traction ou flexion) qui s'exerce alors perpendiculairement au plan de joint.

Dans la formule ci-dessus, le coefficient de joint f_s à utiliser doit être tel qu'il réduit la contrainte de référence d'un facteur < 1,0. La contrainte longitudinale admissible (traction, pression) s'obtient par (voir chap. 10, ex. [2]) :

$$\sigma_{(l)} \text{ adm} = \frac{\sigma_v \cdot f_s}{A_2 \cdot A_4 \cdot C_s}$$

Avec :

$\sigma_{(l)} \text{ adm}$	= contrainte longitudinale admissible	[N/mm ²]
f_s	= coefficient de joint ou de soudage	[-]

On se reportera à la directive DVS 2205-1 pour les valeurs des coefficients.

4.2.3 Cas d'une surpression interne

Les tuyauteries sont généralement soumises à une pression interne. On se reportera aux normes fondamentales applicables aux tuyauteries en thermoplastique qui indiquent les pressions internes admissibles en fonction de la température et de la durée de service.

Une pression appliquée à l'intérieur d'une tuyauterie crée des contraintes circonférencielles et des contraintes longitudinales (axiales) dans la section du tube. Quantitativement, la contrainte circonférencielle est environ le double de la contrainte longitudinale.

C'est pourquoi le dimensionnement des tubes eu égard à la résistance à la pression interne s'effectue généralement, quel que soit le matériau, en fonction de la contrainte circonférencielle admissible. Les diagrammes SIMONA des pages 37 et suivantes montrent graphiquement comment la pression interne admissible diminue avec l'accroissement de la température de service (température de la paroi du tube).

Dans cette représentation, il convient de noter que les pressions de service admissibles ne sont applicables que pour une durée de service de calcul de 25 ans. Si la tuyauterie doit être conçue pour une durée de service autre, la pression de service à la même température doit être modifiée. Pour complément d'information à cet égard, on se reportera aux normes fondamentales applicables aux tuyauteries réalisées dans les matériaux considérés.

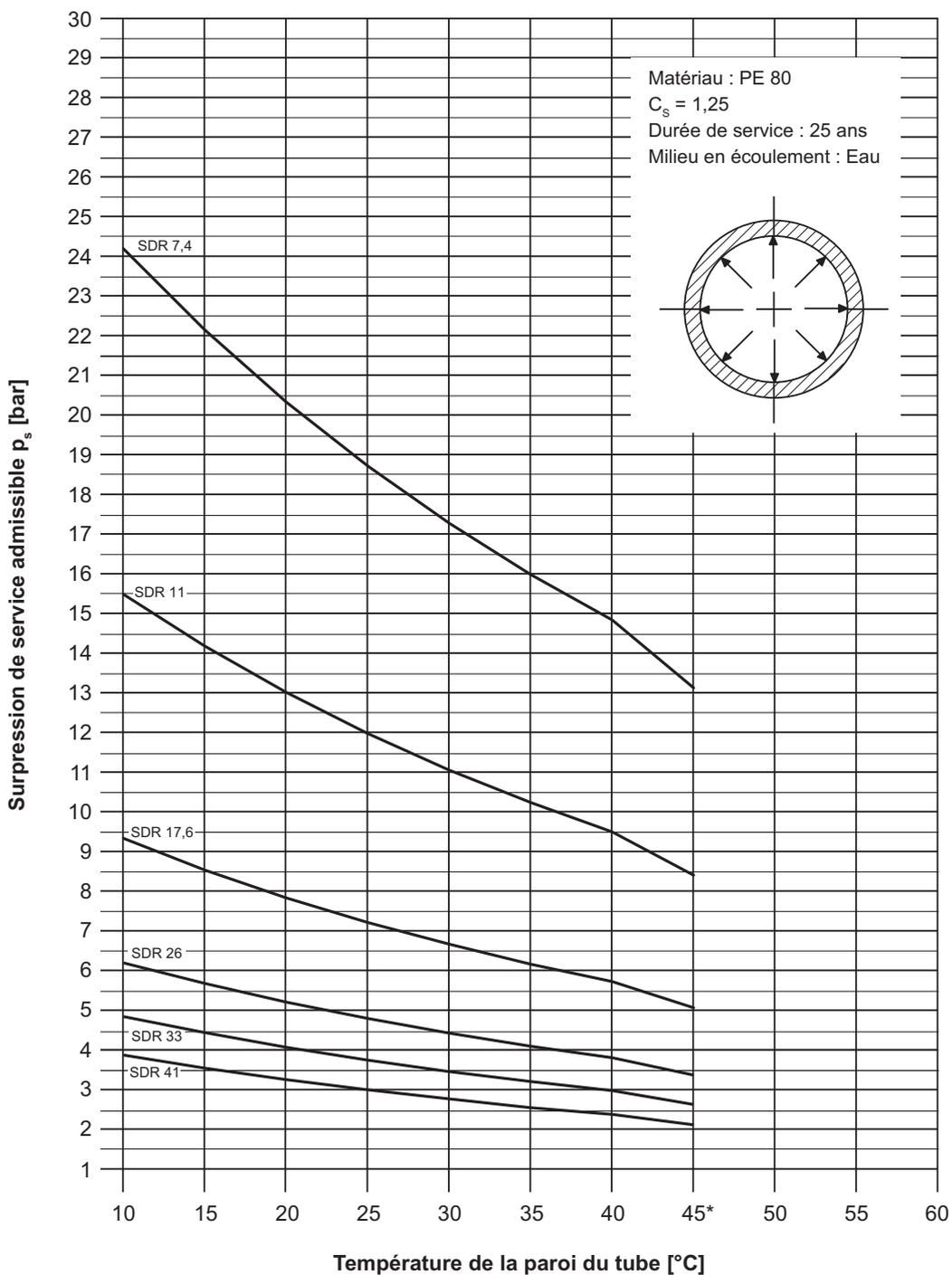
Il est courant de fixer la durée de service à 25 ans pour les tuyauteries industrielles. Pour les canalisations de viabilisation (p. ex. pour le gaz et l'eau), la durée de service est fixée à ≥ 50 ans. Cette diffé-

rence tient pour l'essentiel au fait que la température de service des tuyauteries industrielles est rarement constante. En revanche, celle des conduites d'eau potable peut être considérée comme à peu près constante entre 10 °C et 20 °C, ce qui en prolonge automatiquement la durée de service à la pression nominale.

Malgré leurs températures de service plus élevées, avec de fréquents écarts, les tuyauteries industrielles doivent être en mesure de transporter les produits avec sécurité sur une durée d'au moins 25 ans.

Pour l'utilisation des diagrammes SIMONA, il convient de noter que les indications de durée de service ne sont applicables qu'aux tubes transportant de l'eau ou des produits sans influence sur les caractéristiques mécaniques du matériau du tube. L'effet du milieu en écoulement sur le matériau du tube sera déterminé en laboratoire et donnera lieu à l'attribution d'un coefficient de réduction A_2 . Les remarques concernant ce coefficient A_2 peuvent être consultées dans SIMONA® SIMCHEM (voir chap. 10, ex. [3]).

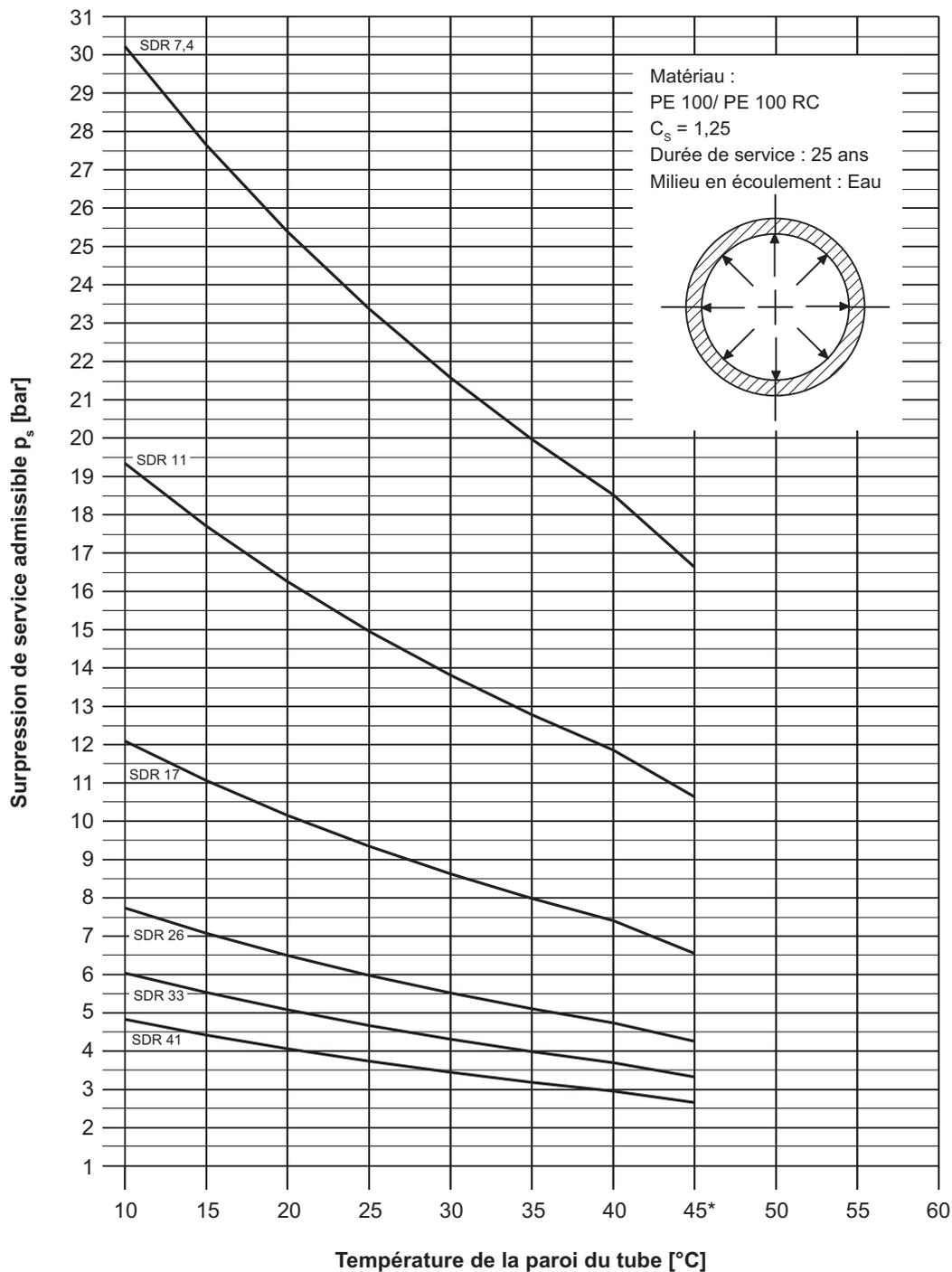
**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une surpression interne**
Matériau : PE 80
SDR 41 / 33 / 26 / 17,6 / 11 / 7,4
 $C_s = 1,25$



Remarque : Les durées de service moindres permettent des températures plus élevées (voir DIN EN 8074)

* La limite de température/durée est de 25 ans, car elle est principalement déterminée par le phénomène de thermo-oxydation.

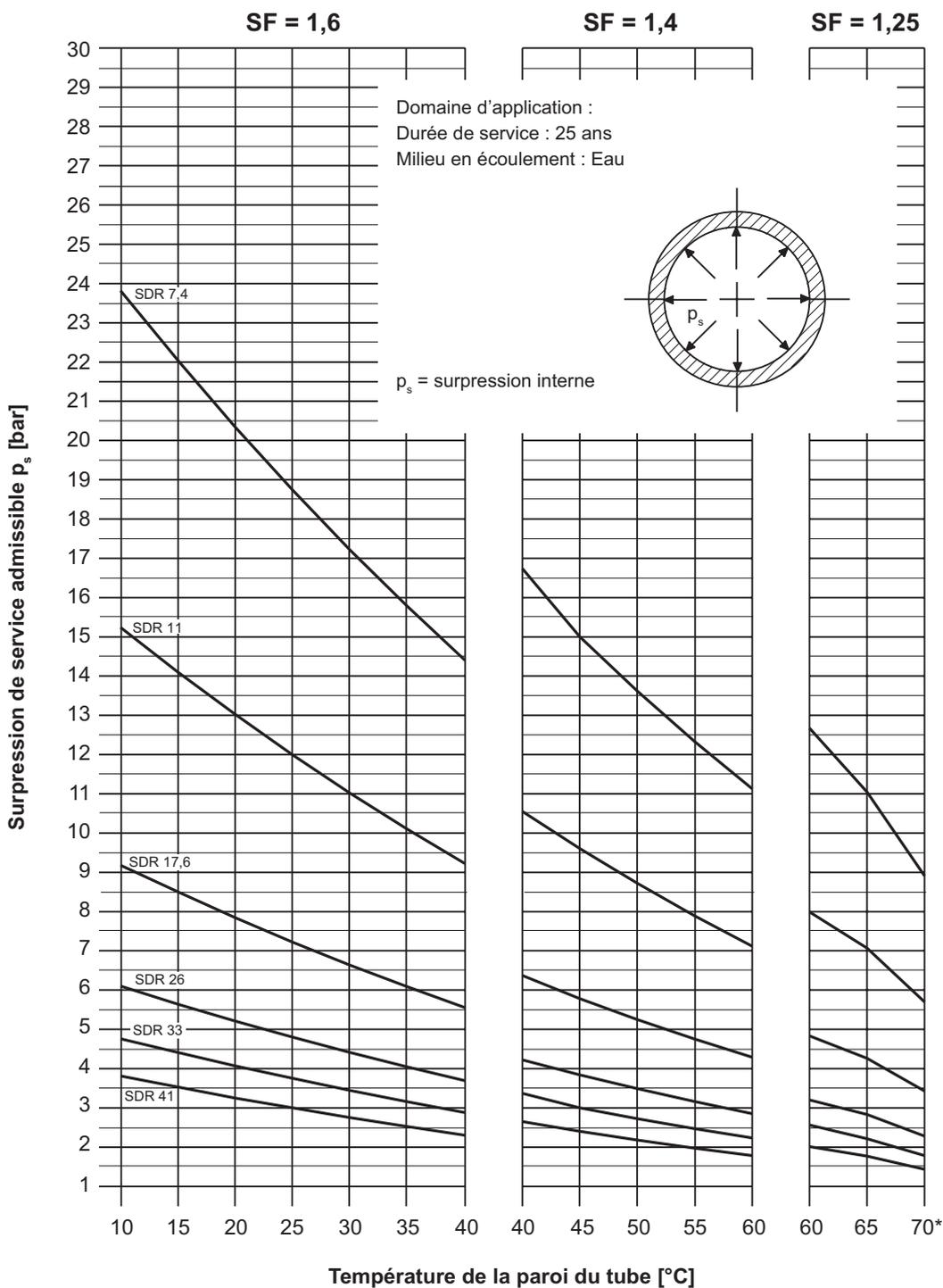
**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une surpression interne**
Matériau : PE 100 / PE 100 RC
SDR 41 / 33 / 26 / 17 / 11 / 7,4
 $C_s = 1,25$



Remarque : Les durées de service moindres permettent des températures plus élevées (voir DIN EN 8074)

* La limite de température/durée est de 25 ans, car elle est principalement déterminée par le phénomène de thermo-oxydation.

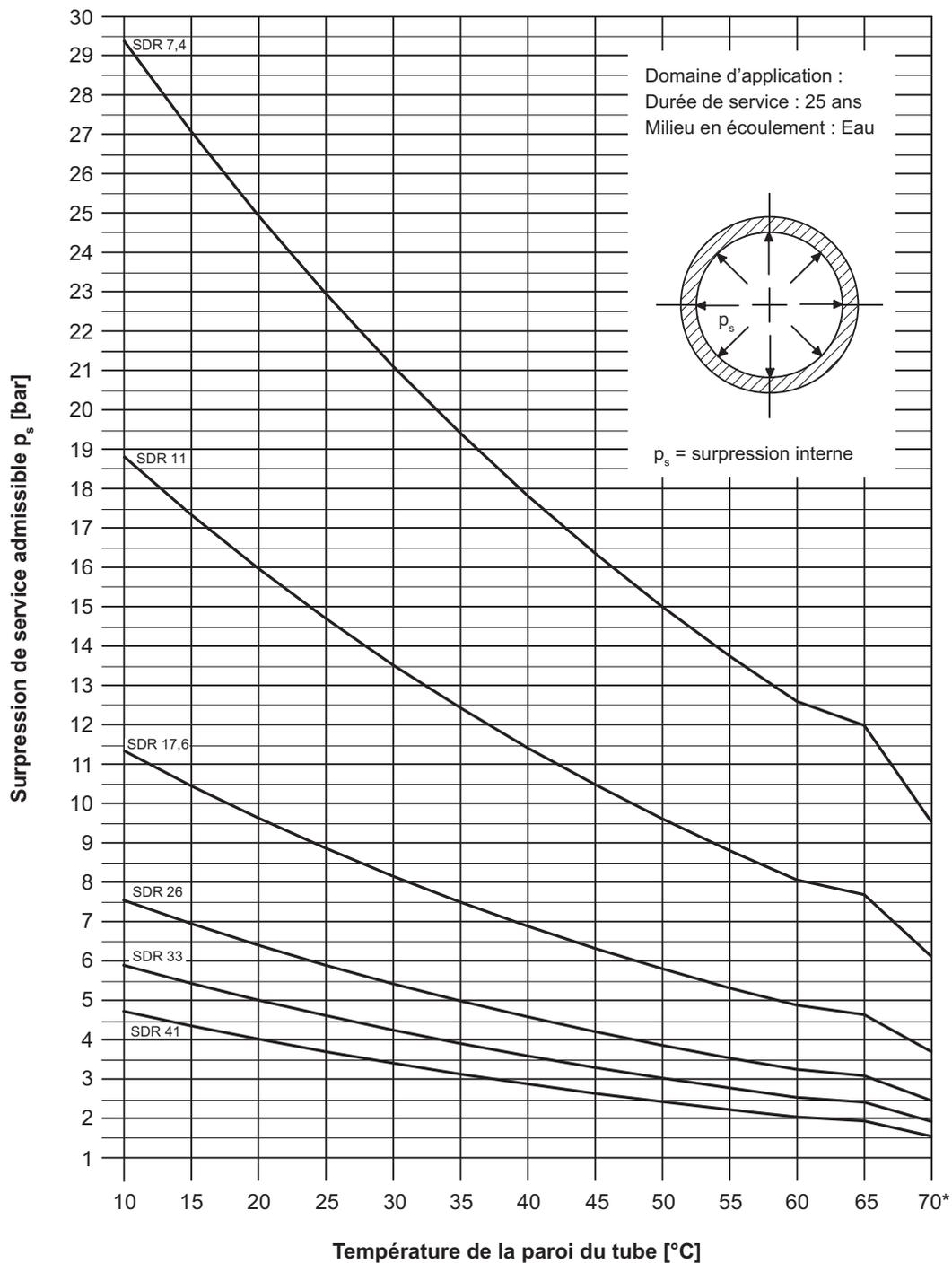
**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une surpression interne
Matériau : PP-H
SDR 41 / 33 / 26 / 17,6 / 11 / 7,4
 $C_s = 1,25 / 1,4 / 1,6$**



Remarque : Les durées de service moindres permettent des températures plus élevées (voir DIN EN 8077)

* La limite de température/durée est de 25 ans, car elle est principalement déterminée par le phénomène de thermo-oxydation.

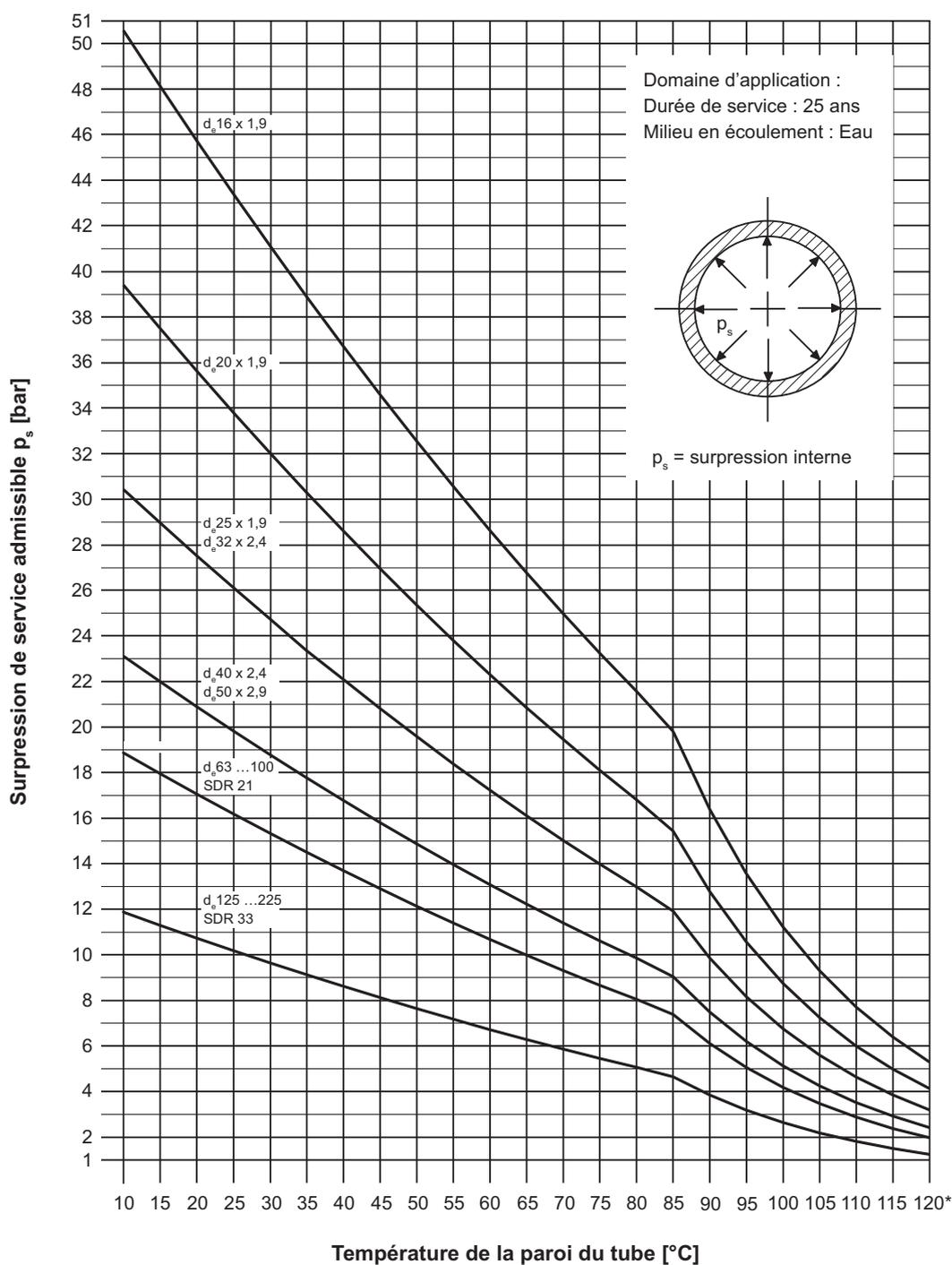
**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une surpression interne
Matériau : PP-R
SDR 41 / 33 / 26 / 17,6 / 11 / 7,4
 $C_s = 1,25$**



Remarque : Les durées de service moindres permettent des températures plus élevées (voir DIN EN 8077)

* La limite de température/durée est de 25 ans, car elle est principalement déterminée par le phénomène de thermo-oxydation.

**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une surpression interne
Matériau : PVDF
 $C_s = 1,6$**



Remarque : Les durées de service moindres permettent des températures plus élevées (voir DIN EN ISO 10931)

* Dure d'utilisation limitée à 25 ans pour cause de vieillissement à la température (effets liés à la cristallinité à proximité du point de fusion).

4.2.4 Cas d'une dépression interne ou d'une surpression externe

Les parois d'une tuyauterie soumise à une dépression interne ou à une surpression externe peuvent subir une déformation de type élastique. Une charge suffisante peut entraîner des déformations plastiques.

La déformation est moins un critère du domaine de la résistance des matériaux que de celui de la stabilité de la tuyauterie qui est exposée à une défaillance radiale de courte durée. A cet égard, les normes fondamentales applicables aux tuyauteries en matière plastique ne donnent aucune indication en ce qui concerne la dépression admissible.

Comme dans le cas d'une sollicitation de surpression interne, la section d'une tuyauterie soumise à une charge de ce type subit des contraintes circonférentielles, longitudinales et radiales. La direction des contraintes est ici l'inverse de celle qui s'observe en sollicitation de surpression interne.

La dépression interne ne pouvant être supérieure à la pression atmosphérique ($p_0 \leq 1033$ mbar), les contraintes afférentes restent faibles. Il n'en va pas de même pour la surpression externe qui s'exerce, par exemple, sur les tuyauteries immergées. On n'établit généralement pas de calcul des contraintes du fait que la défaillance est généralement due à l'instabilité de la coque circulaire. Ce n'est que dans le cas des conduits de ventilation que la contrainte entre les éventuels éléments raidisseurs doit être examinée.

Dans les tuyauteries encastrées longitudinalement, des contraintes de compression dues à l'empêchement de la dilatation thermique viennent se superpo

ser aux contraintes longitudinales (en compression) créées par dépression interne ou surpression externe. Le risque d'instabilité (déformation) est alors plus grand qu'avec une tuyauterie posée mobile dans l'axe.

C'est pourquoi le dimensionnement des tubes soumis à dépression se concentre presque exclusivement sur le calcul de la résistance à la déformation. Cette résistance se définit comme suit :

$$S_{\text{voile}} = \frac{p_{\text{critique}}}{p_{\text{réelle}}} \geq 2 \text{ ①}$$

Avec :

p_{critique} = dépression ou surpression externe de déclenchement du voilement du tube [mbar, bar]

$p_{\text{réelle}}$ = dépression ou surpression externe à laquelle peut être soumis le tube [mbar, bar]

① Dans les calculs qui ne prennent pas explicitement en compte l'ovalisation du tube, on prendra $P_{\text{voile}} \geq 2,5$.

La formule suivante permet de calculer avec une bonne approximation la pression critique de déformation des tronçons de tuyauterie soumis à dépression ou à pression externe :

$$p_{\text{crit}} = \frac{2 \cdot E_{\text{CT}}}{1 - \mu^2} \cdot \frac{e^3}{d_e^3} \cdot 10$$

Avec :

p_{crit} = pression critique de voilement [bar]

d_e = diamètre extérieur du tube [mm]

e = épaisseur de paroi du tube [mm]

E_{CT} = module d'élasticité à court terme à la T_s maxi [N/mm²]

μ = coefficient de contraction transversale = 0,38 [-]

10 = facteur de cohérence des unités [N/mm²] en [bar]

Les diagrammes SIMONA des pages 44 à 49 représentent la dépression admissible des tronçons de tuyauterie encastrés longitudinalement. La mobilité

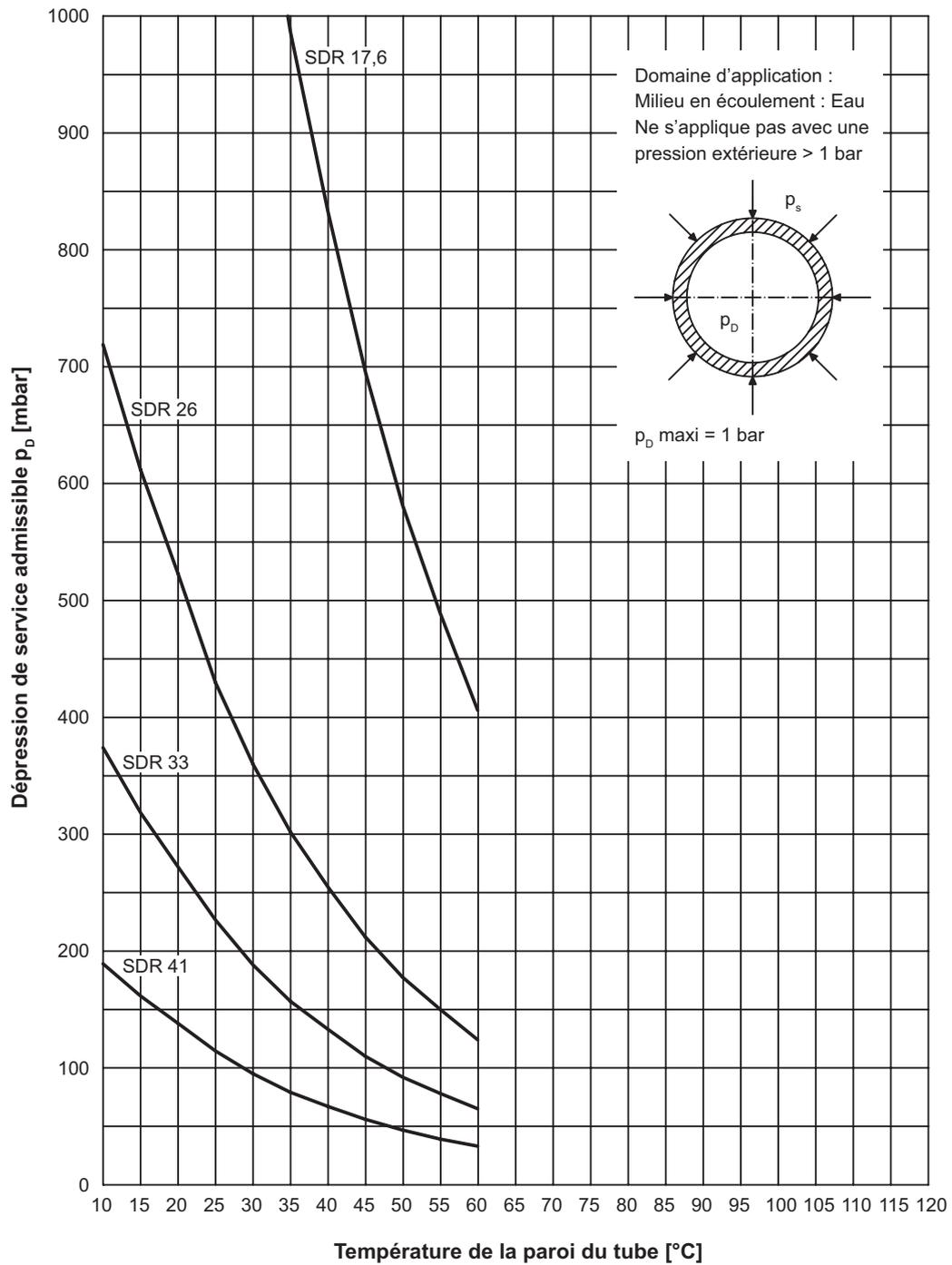
longitudinale des tronçons de tuyauterie ne pouvant être toujours garantie à la pose, le cas de ces tuyauteries n'a pas été distingué.

Toutes les courbes montrent clairement que la dépression admissible varie en fonction de la température de service (température de paroi). Par contre, elle n'est pas fonction de la durée de service de calcul, ce qui signifie que la déformation peut intervenir à tout moment, la valeur de la dépression continue ou soudaine et la valeur du module d'élasticité à court terme pour la température de service maximale étant ici déterminants pour la défaillance.

Du point de vue calcul du cas « dépression interne/surpression externe », il convient de comparer la somme des contraintes axiales en compression à la valeur de la contrainte admissible. La combinaison de la compression axiale et de la compression radiale est à évaluer en tant qu'interaction.

Les diagrammes SIMONA d'évaluation de la dépression admissible des tuyauteries en thermoplastiques doivent être considérés comme des auxiliaires d'étude. Ils ne remplacent en aucun cas le calcul théorique, lequel doit en particulier être exécuté pour les tuyauteries encastrées longitudinalement et à faible épaisseur de paroi (SDR grand). L'exemple [4] en explique l'application (voir chap. 10).

**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une dépression interne**
Matériau : PE 80
SDR 41/33/26/17,6
 $C_s = 2,0$

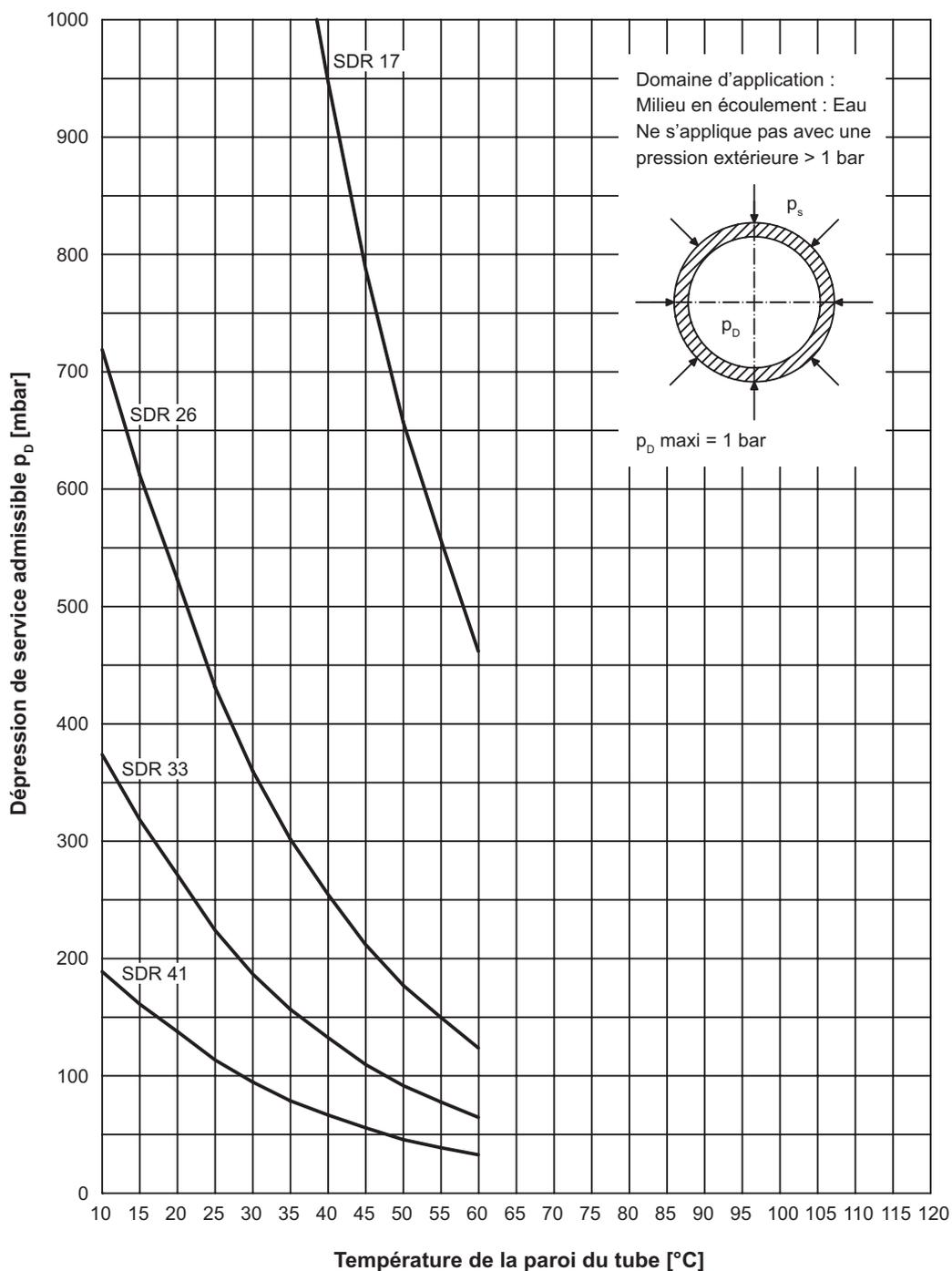


Conversion : 1 mbar = 100 Pa

p_s = surpression externe

p_D = dépression interne

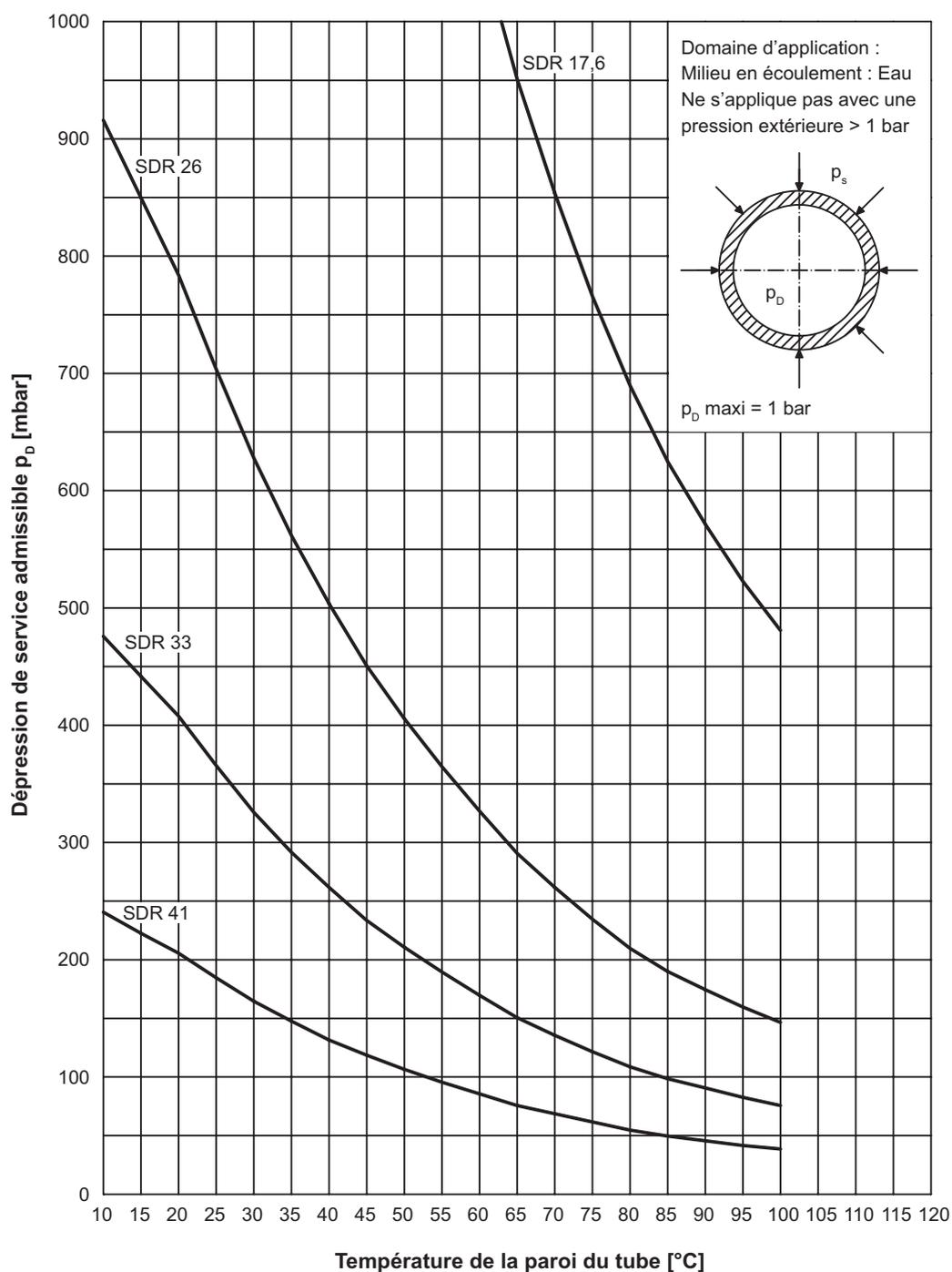
**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une dépression interne
Matériau : PE 100/PE 100 RC
SDR 41/33/26/17
 $C_s = 2,0$**



Conversion : 1 mbar = 100 Pa
 p_s = surpression externe
 p_D = dépression interne

**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une dépression interne**

**Matériau : PP-H
SDR 41/33/26/17,6
 $C_s = 2,0$**

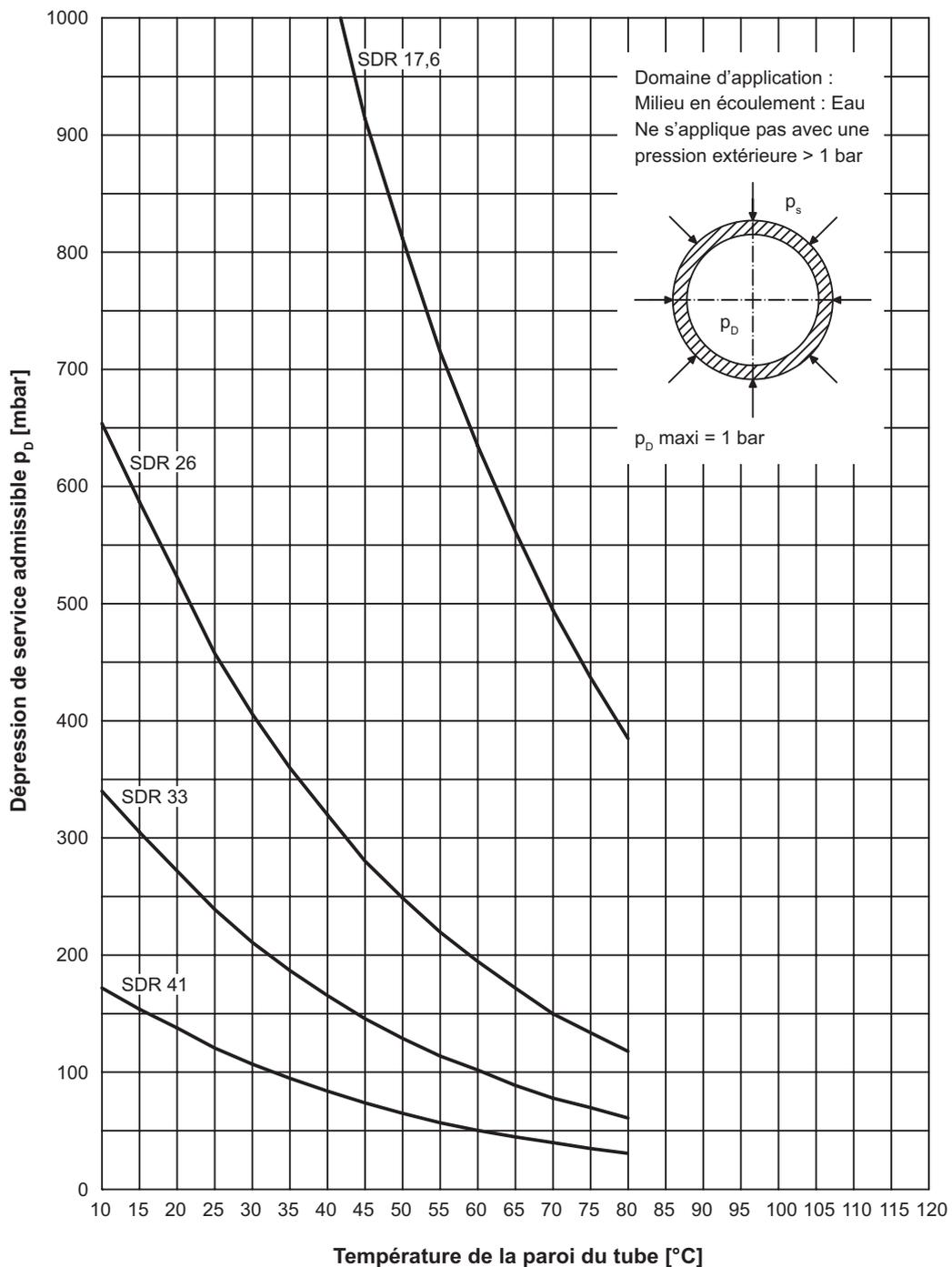


Conversion : 1 mbar = 100 Pa

p_s = surpression externe

p_D = dépression interne

**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une dépression interne
Matériau : PP-R
SDR 41/33/26/17,6
 $C_s = 2,0$**



Conversion : 1 mbar = 100 Pa
 p_s = surpression externe
 p_D = dépression interne

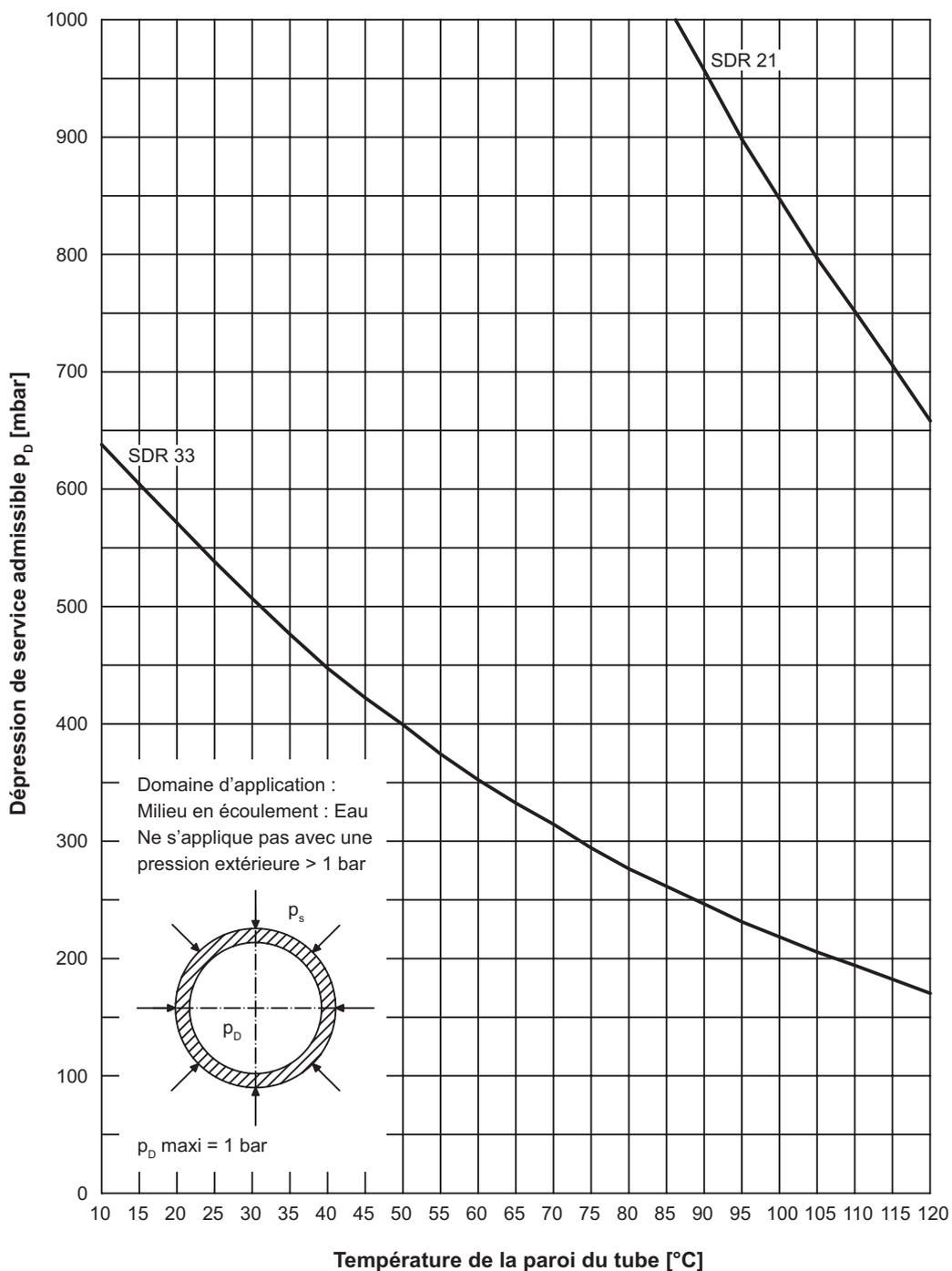
**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une dépression interne**

Matériau : PVDF

SDR 33/21

$C_s = 2,0$

Remarque : En raison des contraintes de compression élevées, il n'est pas recommandé d'utiliser des tuyauteries en PVDF encastrées longitudinalement lorsque $T_s \geq 80^\circ\text{C}$.



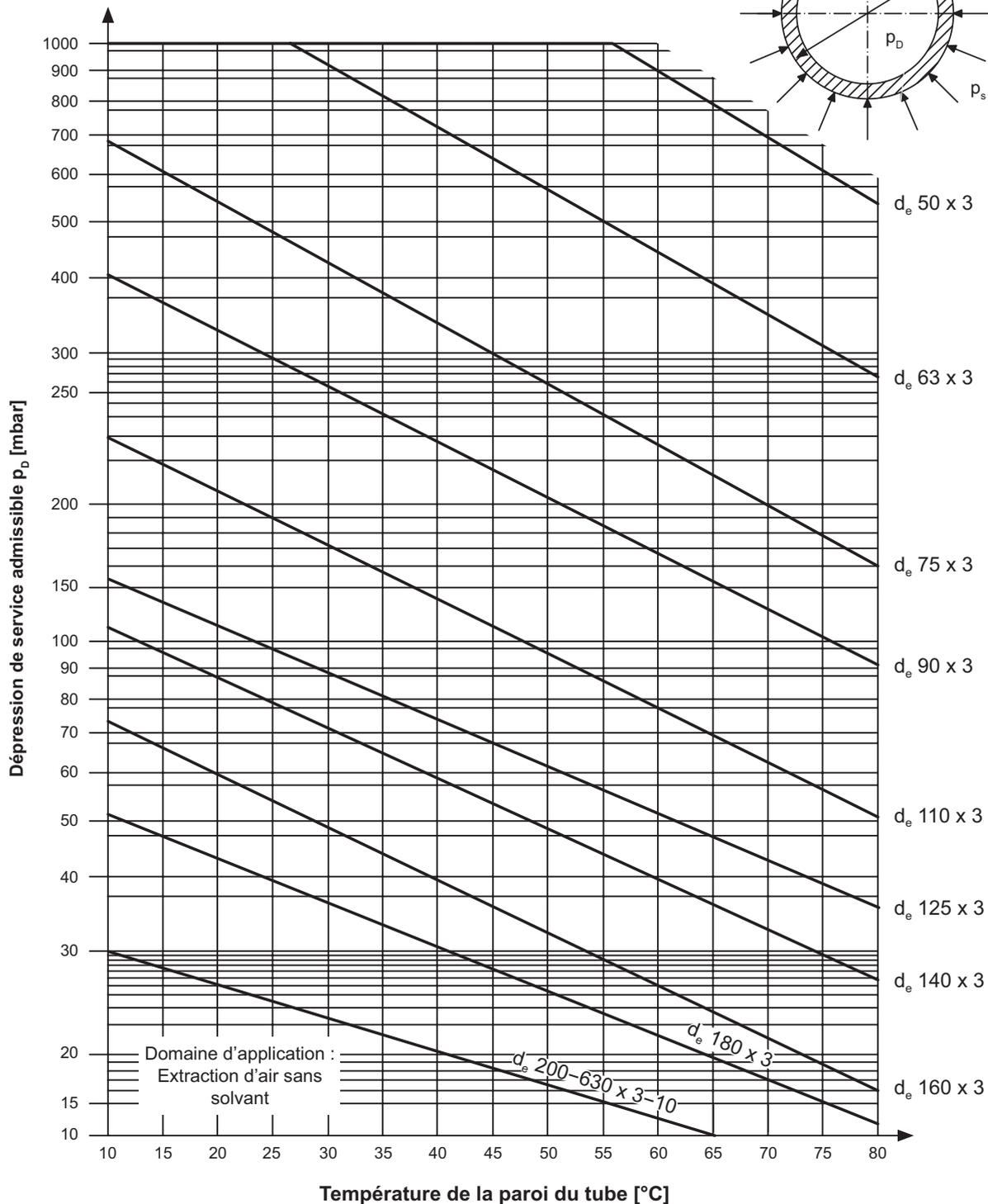
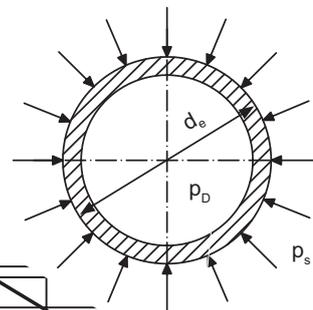
Conversion : 1 mbar = 100 Pa

p_s = surpression externe

p_D = dépression interne

**Contrainte admissible des tuyauteries
en matière plastique soumises à une dépression interne
Matériau : PPs difficilement inflammable (gamme ventilation)
 $C_s = 3,0^*$**

p_D maxi = 1 bar
 p_s = surpression externe
 p_D = dépression interne



Domaine d'application :
 Extraction d'air sans
 solvant

Conversion :
 1 mbar = 100 Pa

* Dimensionnement
 selon DIN 4740-1

5 Pose, montage, essais de mise sous pression

5.1	Transport et stockage	51
<hr/>		
5.2	Pose enterrée	52
<hr/>		
5.3	Tuyauteries aériennes en matière plastique	53
5.3.1	Fixation des tuyauteries en matière plastique	53
5.3.2	Détermination des variations de longueur	57
5.3.3	Tronçons de tuyauterie destinés à absorber les variations de longueur (branches de flexion)	57
5.3.4	Sollicitations aux points de fixation	82
5.3.5	Distances entre les points de fixation	87
<hr/>		
5.4	Essais	93
5.4.1	Essais des tuyauteries en matière plastique sous pression	93
5.4.2	Essais des tuyauteries en matière plastique sans pression	93

5.1 Transport et stockage

Les parties de tuyauterie seront transportées à l'aide de véhicules appropriés et chargés et déchargés avec un soin approprié. Si les opérations de chargement sont effectuées avec des engins de levage, il faut utiliser des dispositifs de suspension adéquats. Il est interdit de laisser tomber les parties de tuyauterie depuis le niveau de chargement. Dans la mesure du possible, les tuyauteries seront transportées reposant sur toute leur longueur. Les chocs sont à éviter, en particulier en présence de températures basses et de matériaux dont la résistance au choc décroît notablement avec la température.

La surface de stockage des tubes doit impérativement être plane et exempte de pierres. On optera pour des empilages permettant d'éviter les dommages et les déformations. On disposera les tubes en quinconce, sans intercalaires de bois entre les couches, en les sécurisant latéralement. D'une manière générale, on respectera les hauteurs maximales d'empilage suivantes :

- PVDF, PP 2,0 m
- PE 80/100 1,5 m

On évitera aux tubes de frotter sur le sol pendant leur transport. La profondeur des détériorations superficielles ne devra pas excéder 10% de l'épaisseur de paroi.

L'influence des intempéries sur les tubes en matière plastique doit être réduite à un minimum. On protégera notamment les tubes et raccords d'une exposition directe au rayonnement solaire. De plus, on tiendra compte du fait que l'absorption unilatérale de chaleur par le rayonnement solaire peut entraîner une déformation de l'axe longitudinal des tubes en plastique.

5.2 Pose enterrée

D'une manière générale, l'exécution des points d'appui et des enrobages est déterminante pour la durée de service des tuyauteries. On n'utilisera que de la terre compactable et non pierreuse pour le radier de tranchée et le remplissage au voisinage immédiat de la tuyauterie. Dans les sols rocheux ou caillouteux, on creusera le radier à au moins 0,15 m plus profond et on remplacera le déblai par une couche non pierreuse (p.ex. du sable ou du gravillon fin). Dans les sols normaux, 0,1 m est suffisant. En cas de besoin, on pourra utiliser un matériau de double concassage (p.ex. du sable de concassage) d'une granulométrie maximale de 5 mm. Si du gravillon concassé à arêtes vives est utilisé à proximité de la tuyauterie, on protégera la surface en polyéthylène par un non-tissé ou un gainage spécial.

Ces dispositions correspondent aux directives de pose et d'essai des tuyauteries et des canalisations d'évacuation des eaux usées de la DIN EN 1610, ainsi qu'aux instructions de pose des canalisations en PE-HD du Kunststoffverband e.V. de Bonn.

Dans les cas d'application spéciaux, SIMONA peut établir un calcul statique justificatif selon l'ATV-A 127.

Rayons de courbure minimum autorisés

Les matériaux thermoplastiques sont habituellement considérés comme des matériaux élastiques, c'est-à-dire qu'ils doivent être pliés plus ou moins en fonction de la température de pose et que souvent, ils permettent d'éviter des travaux de soudage et l'emploi de raccords. Outre la température de pose, il faut également tenir compte de l'épaisseur de paroi resp. du taux de pression du tube. Les tableaux ci-dessous s'appliquent aux matériaux utilisés en pose enterrée.

Rayons de courbure pour les tubes en PE 80/PE 100, PP-H

Matériau	Température de pose		
	≥ 0 °C	~ 10 °C	~ 20 °C
PE 80/PE 100	50 x d _a	35 x d _a	20 x d _a
PP-H	75 x d _a	50 x d _a	30 x d _a

Facteur d'augmentation du rayon de courbure pour les tubes soumis à une pression moindre

Catégorie de SDR	Augmentation du rayon de courbure
SDR 7,4, SDR 11, SDR 17 et 17,6	x 1,0
SDR 26	x 1,5
SDR 33	x 2,0
SDR 41	x 2,5

5.3 Tuyauteries aériennes en matière plastiques

5.3.1 Fixation des tuyauteries en matière plastique

Les tuyauteries en matière plastique peuvent être posées aériennes ou enterrées. En pose enterrée, la tuyauterie est enfoncée dans un lit de sable courant qui fait office de structure portante continue.

La pose aérienne nécessite d'utiliser des appuis, des structures portantes et des éléments de fixation qui ont pour objet de soutenir, de guider et de maintenir la tuyauterie selon des intervalles appropriés.

La sollicitation des éléments de fixation dépend de leur fonction respective dans le réseau de tuyauterie. Les points d'appui sont surtout soumis à des efforts verticaux du fait du poids propre de la tuyauterie, mais certaines structures de fixation peuvent être conçues de telle manière qu'il existe également des efforts horizontaux.

Efforts verticaux

Les efforts verticaux sont produits par le poids de l'ensemble des éléments constitutifs de la tuyauterie, dont la robinetterie, le poids en charge et des poids annexes. Les tuyauteries aériennes à l'air libre peuvent aussi donner lieu à des efforts supplémentaires dus à une charge de neige.

Efforts horizontaux

Forces de frottement

Les efforts horizontaux résultent pour l'essentiel des variations de longueur de la tuyauterie en matière plastique dues à des phénomènes thermiques. En cas d'augmentation ou de diminution de la température de service, les variations de longueur engendrent une résistance (frottement) au niveau des surfaces de glissement des points de fixation de la tuyauterie. L'intensité de ces forces de frottement dépend du

poids appliqué à la surface de glissement et du coefficient de frottement des contreparties en glissement. La forme de la surface est sans effet sur l'intensité de l'effort. En raison des phénomènes de corrosion, les fixations métalliques ne doivent comporter aucune surface de glissement.

Forces du vent

Les forces dues au vent (p.ex. sur des tuyauteries posées sur pont) sont un autre type d'effort horizontal. Les paramètres suivants ont une influence sur l'intensité des efforts horizontaux par point de fixation :

- le diamètre du tube,
- la pression éolienne spécifique,
- la distance entre les points d'appui.

On trouvera des renseignements détaillés sur la détermination des forces dues au vent dans la DIN 1055-4.

Forces dues au type de pose

Les tuyauteries en matière plastique peuvent être posées mobiles ou fixes dans l'axe. Selon le type de pose, les efforts transmis aux points de fixation sont d'une intensité différente.

Forces appliquées aux tuyauteries mobiles dans l'axe

Ce sont généralement les forces de frottement axiales qui sont à considérer. Une tuyauterie est rarement composée uniquement d'un seul tronçon rectiligne, mais comprend aussi des coudes et des éléments de dérivation. Aux points où la tuyauterie présente un changement de direction, une partie de la tuyauterie qui est reliée au coude ou à l'élément de dérivation se déplace transversalement à son axe sous l'effet d'une variation de longueur. Ceci engendre une résistance par frottement transversal et par déformation de la partie de tuyauterie sollicitée en flexion. La force de déformation sera d'autant plus faible que la partie de tuyauterie qui se déplace transversalement

sera longue. Toutefois, la force de frottement transversal augmente avec la longueur de fléchissement.

Forces appliquées aux tuyauteries fixes dans l'axe

Les tronçons rectilignes dont la variation longitudinale de longueur doit être empêchée du fait d'un empêchement de dilatation peuvent être équipés de points de fixation ou de fixation. Les forces qui s'appliquent alors sur ces points de fixation correspondent en général à la sollicitation maximale d'un réseau de tuyauterie.

Une sollicitation de même intensité intervient dans les tuyauteries posées mobiles dans l'axe lorsqu'un point de fixation dit « naturel » s'établit sous l'effet des forces de frottement cumulées. Dans les deux cas, il faut calculer les forces aux points de fixation ou les déterminer à l'aide des diagrammes SIMONA du chapitre 5.3.4.

Dimensionnement des points de fixation

Les forces aux points de fixation s'exercent dans l'axe horizontal (X et Y) et dans l'axe vertical (Z). Du fait de leur forte sollicitation, les points de fixation nécessitent presque toujours une construction spéciale. La contrainte horizontale qui s'exerce longitudinalement et transversalement par rapport à l'axe de la tuyauterie, associée au bras de levier par rapport au plan de fixation, crée un couple supplémentaire. Ce couple peut avoir des effets différents sur les composants du point de fixation. D'une part, les composants de fixation (vis ou chevilles) sont sollicités en traction, en compression et en cisaillement. D'autre part, les composants soudés ou vissés sont soumis à une contrainte de flexion qui doit être compensée par un dimensionnement géométrique (profil et épaisseur de paroi) des composants en conséquence.

Les points de fixation doivent être dimensionnés en fonction de toutes les sollicitations engendrées par les conditions de montage, d'essai et d'utilisation. Dans les tuyauteries verticales, le point de fixation sera en outre sollicité par le poids de la tuyauterie et par des contraintes dynamiques (forces de renvoi).

Du fait de l'intensité des forces et du couple à absorber, la résistance des points de fixation doit impérativement être calculée. On considérera à cet égard la section et les contraintes admissibles de tous les composants porteurs. La valeur des forces aux points de fixation est indiquée au chapitre 5.3.4.

Principes de fixation des tuyauteries en matière plastique

Les fixations de tuyauterie doivent pouvoir absorber en toute sécurité toutes les sollicitations mécaniques imposées par la tuyauterie et son environnement, et les transmettre à un ouvrage ou à une infrastructure. En raison de la résistance et de la stabilité dimensionnelle limitées et soumises à l'influence de la température des tuyauteries en matière plastique, les exigences imposées à leurs systèmes de fixation diffèrent de celles des tuyauteries métalliques.

Nous exposerons ci-après les principes à appliquer pour l'exécution des divers types de fixation de tuyauterie.

Collier de glissement

Le collier de glissement a essentiellement pour fonction de réduire au maximum la résistance qui s'oppose aux variations de longueur en utilisation. La fonction de glissement doit s'exercer aussi bien dans l'axe de la tuyauterie que perpendiculairement à cet axe. Dans une tuyauterie horizontale, le collier de glissement ne peut absorber que les forces qui s'exercent verticalement (forces pondérales).

Collier de guidage

Le collier de guidage doit interdire tout déplacement latéral de la tuyauterie. Outre le poids, il doit pouvoir supporter les efforts transversaux et peut aussi être utilisé, par exemple, comme protection contre le flambage des tronçons de tuyauterie encastrés longitudinalement.

Selon l'application, le collier de guidage peut être monté fixe ou mobile dans l'axe de la tuyauterie. Le déplacement longitudinal de la tuyauterie dans le collier de guidage, en lieu et place d'un collier de guidage pouvant glisser sur son plan de fixation, n'est admissible que si ce collier comporte un manchon de glissement.

Variantes d'exécution des colliers de guidage

Forme A: Exécution avec patin de glissement mobile autorisant un déplacement dans l'axe du tube. Cette variante est utilisée par exemple à proximité d'un joint de dilatation ou en aval d'un point de fixation dans la direction de l'arc d'affaissement.

Forme B: Exécution avec fixation sur une infrastructure. Cette variante est utilisée par exemple sur un tronçon de tuyauterie comportant un point de fixation à chaque extrémité. Aucun déplacement axial n'est possible.

Forme C: Collier de guidage pour tronçon de tuyauterie vertical. Ce collier doit être disposé de manière à permettre le mouvement dans l'axe de la tuyauterie tout en assurant un guidage circconférentiel.

Collier de support d'un tronçon de tuyauterie vertical

Si la fixation doit supporter le poids d'un tronçon de tuyauterie vertical, le tronçon doit être muni d'une bague d'appui. Ce type de collier est nettement plus fortement sollicité que les colliers de glissement ou

de guidage. Il convient ici de veiller particulièrement à la bonne jonction de la plaque de base du collier à l'aide de vis ou de chevilles.

Collier de suspension

Comme le collier de glissement, le collier de suspension ne peut supporter que des efforts verticaux. Il est généralement fixé à la toiture ou à une solive. Il existe des variantes de collier de suspension simple ou double. La tuyauterie ainsi fixée est sensible aux vibrations et nécessite généralement un appui intermédiaire de stabilisation.

Fixation des éléments de robinetterie

Cette fixation sert à absorber les charges engendrées par le poids des éléments de robinetterie et le poids de remplissage. Elle doit également éviter que les efforts résultant de la manoeuvre de la robinetterie ne soient transmis à la tuyauterie. Sa conception est dès lors adéquate lorsqu'elle permet de déposer l'élément de robinetterie sans avoir à démonter les composants environnants. Lorsque la fixation correspond à un point fixe, il convient de considérer tout particulièrement les effets de l'empêchement des variations de longueur.

Points de fixation

Un point de fixation doit guider le déplacement de la tuyauterie dans une direction déterminée, ou interdire son déplacement. Les points de fixation servent en outre à absorber les forces de réaction des joints de dilatation ou des manchons coulissants ou d'obturation. Les points de fixation doivent être installés de manière que les variations de longueur du réseau de tuyauterie soient compatibles en grandeur et en direction avec les éléments de compensation existants.

La tuyauterie est fixée dans un collier de fixation à l'aide d'éléments appropriés (p.ex. des brides de fixation) assemblés au tube par soudage par élément chauffant. Dans certains cas particuliers, les brides peuvent être remplacées par des manchons à souder au filament chauffant. Le diamètre de la bride doit permettre d'utiliser les colliers couramment disponibles sur le marché. On veillera à choisir des colliers robustes et rigides.

Le montage du tube par serrage dans le collier, à la place des systèmes de brides ou de manchons soudables, est à proscrire. En effet, il n'est pas rare que des méthodes de fixation inappropriées conduisent à une déformation de la section de la tuyauterie et à des endommagements de sa surface avec un effet d'entaillage préjudiciable qui peut conduire à une défaillance prématurée de la tuyauterie. L'assemblage du tube et des brides de fixation par soudage au chalumeau à gaz ne doit être utilisé qu'exceptionnellement. On veillera en général à ne faire exécuter les travaux de soudage que par un soudeur professionnel.

Le soudage sur le tube de nervures de raidissage longitudinales en appoint à la bride de fixation radiale est également à proscrire en raison de l'intensité des charges ponctuelles et de la concentration de contraintes qu'elles entraînent.

Systèmes de montage et éléments de fixation standardisés

Les systèmes de montage du commerce (rails profilés et accessoires) sont très utiles pour faciliter la fixation des tuyauteries en matière plastique. On veillera à choisir des profilés de section appropriée en termes de capacité d'absorption des efforts verticaux en fonction de la portée du rail de fixation.

Il n'est pas rare que la documentation technique des fabricants indiquent des portées admissibles qui, du fait des phénomènes de fléchissement, ne soient pas acceptables pour les tuyauteries. L'utilisation d'un système d'installation nécessite donc de vérifier le fléchissement par le calcul, ce que ne permettent qu'insuffisamment les documentations techniques fournies par les fabricants.

Une valeur indicative pour la mesure du fléchissement d'une tuyauterie est donnée par $f = L/750$ à $L/500$, L étant la distance entre deux points de fixation de la tuyauterie. Le rail de montage a souvent un comportement de fléchissement différent de celui de la tuyauterie, du fait de la charge ponctuelle.

La difficulté augmente lorsque des charges horizontales (par exemple aux points fixes) sont transmises au rail de montage. La documentation technique des fabricants reste muette à cet égard et des calculs supplémentaires sont très souvent nécessaires. Ceci vaut également pour les autres éléments de fixation comme les traverses, les appliques murales, etc.

Remarque : Il est recommandé à l'utilisateur d'inclure dans son projet d'exécution l'étude approfondie des modèles de systèmes de montage, ainsi que de leurs possibilités et limites d'application. La directive DVS 2210-1 donne des prescriptions générales d'aménagement des fixations des tuyauteries en thermoplastiques.

5.3.2 Détermination des variations de longueur

Variations de longueur dues aux différences de température

Pour déterminer les variations de longueur des tuyauteries en thermoplastiques dues aux différences de température, on appliquera la relation suivante :

$$\Delta L_T = \alpha \cdot L \cdot \Delta v$$

Avec :

- ΔL_T = variation de longueur due à la différence de température [mm]
- α = coefficient de dilatation linéaire [mm/m · K bzw. 1/K]
- L = longueur du tronçon de tuyauterie considéré [m bzw. mm]
- Δv = différence de température [K]
($\Delta T = \max T - \min T$)

Les valeurs suivantes sont à utiliser dans l'équation ci-dessus pour le coefficient de dilatation thermique^① α :

Tableau 6 : α moyens

Matériau	mm/(m · K)	1/K
PE	0,18	$1,8 \cdot 10^{-4}$
PP	0,16	$1,6 \cdot 10^{-4}$
PVDF	0,13	$1,3 \cdot 10^{-4}$
E-CTFE	0,05	$0,5 \cdot 10^{-4}$

^① Pour la détermination des variations de longueur des tuyauteries, l'influence de la température sur le coefficient de dilatation peut être négligée.

Variations de longueur dues à la surpression interne

Outre les variations de température, les efforts dus à la pression interne peuvent engendrer des variations de longueur. La dilatation longitudinale créée sous l'effet d'une pression interne d'un tronçon de tuyauterie fermé et monté sans frottement est donnée par :

$$\Delta L_p = \frac{0,1 \cdot p_s \cdot (1 - 2\mu)}{E_c \cdot [(d_e/d_i)^2 - 1]} \cdot L_{tot}$$

Avec :

- ΔL_p = variation de longueur due à la surpression interne [mm]
- L_{tot} = longueur du tronçon de tuyauterie considéré [mm]
- p_s = surpression interne [bar]
- μ = indice de contraction transversale
= 0,38 pour les thermoplastiques [-]
- E_c = module de fluage, module d'élasticité^① [N/mm²]
- d_e = diamètre extérieur du tube [mm]
- d_i = diamètre intérieur du tube [mm]

^① On utilisera le module applicable au cas considéré, à savoir E_{ct} pour les efforts momentanés (p. ex. en essai de pression) et E_{lt} pour les efforts de longue durée.

Variations de longueur dues au milieu en écoulement

Certains milieux en écoulement (p. ex. les solvants) ont un effet de gonflement sur les tuyauteries en thermoplastiques. Le gonflement s'accompagne d'une augmentation de volume notable dans le sens longitudinal et radial, c'est-à-dire un allongement du tube et une augmentation de son diamètre. En outre, on observe à moyen ou long terme une diminution de la résistance et du module d'élasticité.

Pour garantir un fonctionnement sans problème d'une tuyauterie en thermoplastique utilisée avec un solvant, les effets du gonflement doivent donc faire l'objet d'une étude spéciale.

5.3.3 Tronçons de tuyauterie destinés à absorber les variations de longueur (branches de flexion)

Pour l'essentiel, la pose des tuyauteries en matière plastique obéit aux mêmes principes que la pose des tuyauteries métalliques. Les différences à noter tiennent au fait que les coefficients de dilatation thermique plus élevés des matières plastiques donnent lieu à des variations de longueur sensibles lors des changements de température. La température initiale est ici d'une importance secondaire. Les variations de longueur peuvent s'exercer dans le sens positif ou dans le sens négatif.

- sens positif: la température effective de la paroi du tube est supérieure à la température initiale : la longueur du tronçon augmente
- ← sens négatif: la température effective de la paroi du tube est inférieure à la température initiale : la longueur du tronçon diminue

La température initiale peut être la température de montage ou la température minimale de service. En l'absence d'autres données, on peut considérer $T_M = 15$ à 20°C pour la température de montage.

Une particularité de la technique de pose des tuyauteries en matière plastique réside dans l'utilisation de tronçons de tuyauterie cintrés destinés à absorber les variations de longueur. Par tronçon de tuyauterie cintré, on entend l'ensemble constitué par un coude, généralement à 90° , et le tronçon de tuyauterie qui lui est relié. La littérature spécialisée fait souvent référence à la « branche de flexion » (Biegeschenkel), expression qui souligne la sollicitation en flexion du tronçon de tuyauterie.

Dans ce qui suit, la branche de flexion sera désignée par le terme « coude de dilatation », en précisant sa forme géométrique par une lettre. Les variantes à considérer seront alors les suivantes :

- coude de dilatation en L,
- coude de dilatation en Z,
- coude de dilatation en U,
- coude de dilatation en R.

Le coude de dilatation en «R» est un système tridimensionnel qui se différencie des trois autres variantes par une direction de dilatation (coordonnée) supplémentaire.

Les désignations suivantes sont d'usage courant :
dilatation dans 2 directions → coude de dilatation dans le plan
dilatation dans 3 directions → coude de dilatation dans l'espace

Le paragraphe qui suit traitera des dimensions des coudes de dilatation dans le plan. Pour faciliter le dimensionnement des coudes de dilatation, des diagrammes ont été établis sur la base d'un grand volume de calculs. L'intégration des résultats de ces calculs aux diagrammes SIMONA permet de considérer qu'ils tiennent compte de contraintes d'intensité admissible.

L'utilisation des diagrammes SIMONA pour la détermination des coudes de dilatation sera expliquée à l'aide d'exemples. Les résultats obtenus à l'aide de ces diagrammes tiennent compte de la pression de service admissible du tronçon de tuyauterie rectiligne considéré, tirée des diagrammes qui suivent.

On remarquera que les contraintes longitudinales de flexion dans le coude de dilatation ne sont que temporaires, même en cas de variation de température. S'il s'établit ensuite un état d'équilibre, ces contraintes disparaissent par relaxation du plastique. De ce fait, les contraintes maximales posées pour le calcul n'ont qu'un caractère de courte durée et n'entraînent pas de défaillance à long terme. La situation sera plus critique si les variations de température sont incessantes ou très fréquentes.

Attention :

Le fait de raccourcir la longueur d'une branche de flexion par rapport à la valeur déterminée par les diagrammes SIMONA risque d'entraîner une défaillance de la tuyauterie au niveau du coude ou du point de fixation (point fixe ou collier de guidage) en cas de variations de température répétées.

Pour le tronçon de tuyauterie sollicité en flexion, on veillera particulièrement à respecter les distances admissibles entre points de fixation indiquées au chapitre 5.3.5.

Calcul des coudes de dilatation

Dans la plupart des cas, le calcul des coudes de dilatation est assez complexe et fait appel à des connaissances spéciales de statique des tubes. C'est pourquoi le détail de ce calcul ne sera pas traité ici.

Toutefois, pour déterminer par le calcul les principales dimensions d'un coude de dilatation, certaines formules simples suffisent à obtenir des résultats fiables. C'est ainsi que la formule suivante permet de dimensionner un coude de dilatation en L avec une précision suffisante :

$$L_{BF} = \sqrt{\frac{3 \cdot d_e \cdot L_{1,2} \cdot \Delta T \cdot \alpha \cdot E_{cm}}{\sigma_f \text{ adm}}}$$

- Avec :
- L_{BF} = longueur nécessaire de la branche de flexion [mm]
 - d_e = diamètre extérieur du tube [mm]
 - $L_{1,2}$ = longueur du système de jambes de flexion [mm]
 - ΔT = différence de température [K]
 - α = coefficient de dilatation thermique linéaire [1/K]
 - E_{cm} = module de fluage en flexion moyen pour la durée de service de calcul [N/mm²]
 - $\sigma_f \text{ adm}$ = composante de contrainte de flexion admissible pour la durée de service de calcul [N/mm²]

Le module de fluage en flexion moyen pour la durée de service de calcul se détermine à l'aide des digrammes SIMONA du chapitre 3 comme suit :

$$E_{cm} = [0,5 \cdot (E_{(TS \text{ mini})} + E_{(TS \text{ maxi})})]/A_2$$

- Avec :
- $E_{(TS \text{ mini})}$ = module de fluage en flexion à la température minimale de service^① [N/mm²]
 - $E_{(TS \text{ maxi})}$ = module de fluage en flexion à la température maximale de service [N/mm²]
 - A_2 = coefficient de réduction du milieu en écoulement [-]

① Dans la plupart des cas, on prend $T_s \text{ mini}$ = température de montage $T_M = 5$ à 20°C . Le module de fluage en flexion étant fonction de la température et de la contrainte, il est recommandé de déterminer le module de fluage moyen en prenant $E_{(TS \text{ mini})} = E_{LT(20^\circ\text{C})}$ selon le tableau 1 (extrait du tableau 7 de la DVS 2205-2).

Modules de fluage en flexion à 20 °C, 25 ans

Matériau	$E_{LT(20^\circ\text{C})}$
PE 80, PE 100	235 N/mm ²
PP-H	330 N/mm ²
PP-R	276 N/mm ²
PVDF	720 N/mm ²

La composante de contrainte de flexion admissible pour la durée de service de calcul se détermine à l'aide des égalités du chapitre 4, comme suit :

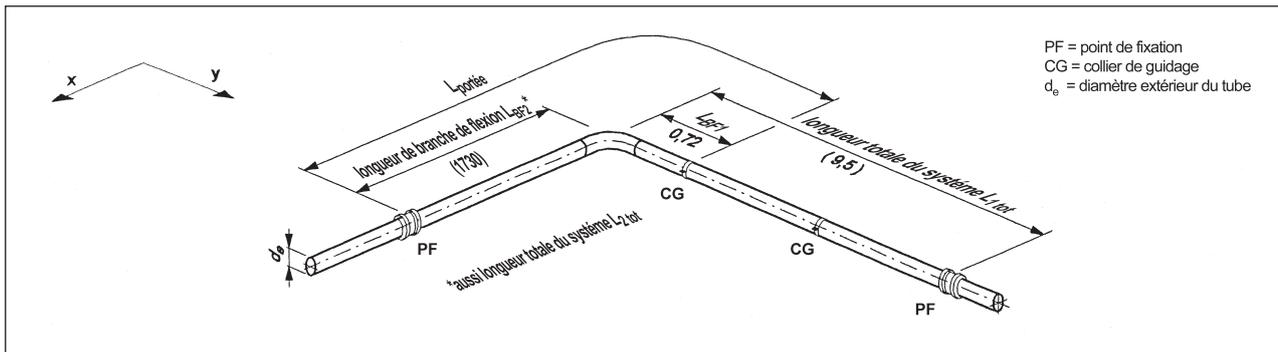
$$\sigma_f \text{ adm} = [(\sigma_v \cdot f_s)/(A_2 \cdot A_4 \cdot C_s) - \sigma_{l(p)}]$$

5

Le traitement dans le cadre d'une documentation générale des coudes de dilatation en Z, en U et en R est impossible en raison de la diversité des formes, des dimensions de tube, des conditions de service et de la lourdeur des calculs impliqués. Dans tous les cas où une tuyauterie nécessite un certificat statique, SIMONA recommande de choisir un procédé de calcul approprié. Les calculs peuvent être effectués de manière classique (p. ex. à l'appui de la DVS-2210-1, annexe 1) ou à l'aide d'un programme de calcul. Nous sommes à votre entière disposition pour vous assister dans l'établissement d'un certificat statique ou pour vous fournir les adresses de bureaux d'études compétents.

Remarque : La détermination dimensionnelle des coudes de dilatation à l'aide des diagrammes SIMONA ne remplace pas le calcul statique dans les cas limites.

Dimensionnement des coudes de dilatation en L



Utilisation des diagrammes SIMONA pour la détermination des branches de flexion avec coudes de dilatation

Les diagrammes SIMONA ne servent pas à optimiser le dimensionnement des branches de flexion. Ils permettent simplement d’être certain que les contraintes de flexion engendrées dans le coude de dilatation par la variation de longueur de la tuyauterie resteront dans les limites admissibles. Outre la détermination des branches de flexion, il convient de toujours contrôler la pression de service admissible p_s applicable au tronçon de tuyauterie rectiligne. La méthode sera exposée à l’aide de l’exemple [5], au chap. 10.

Pour le dimensionnement des coudes de dilatation en L à l’aide des diagrammes SIMONA, on procédera selon l’exemple suivant:

Diagramme :

Dimensions système d’un coude en L en PE 80 (voir diagramme page 61)

Soit : Une tuyauterie en PE 80

Dimensions du tube : $d_e = 280$ mm

Classe de pression nominale ou valeur SDR :

Ce diagramme est applicable quel que soit le matériau et la pression nominale/ valeur SDR (la résistance à la pression de service est à contrôler conformément à l’exemple [5], au chap. 10).

Température de service minimale : $T_s \text{ mini} = 20^\circ\text{C}$

Température de service maximale : $T_s \text{ maxi} = 40^\circ\text{C}$

Température de montage :

En règle générale, la température de montage est comprise entre 5°C et 25°C . En raison de la variation de température initiale au démarrage, la différence de température ne doit pas être prise par rapport à cette température de montage, mais entre les températures maxi et mini de service.

Différence de température : $\Delta T = 40 - 20 = 20$ K

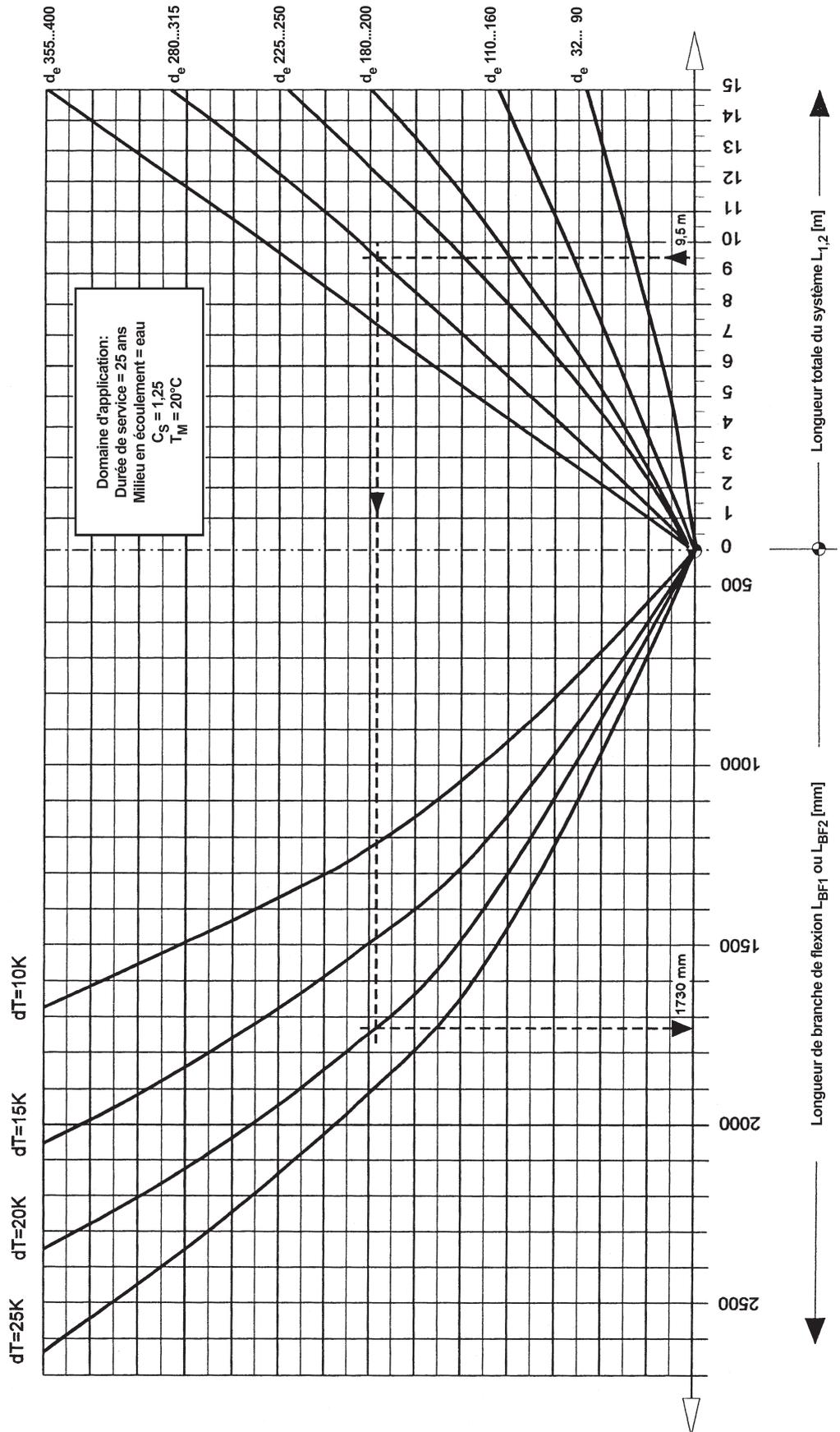
Longueur du système de coude en L :

$L_{1 \text{ tot}} = 9500$ mm

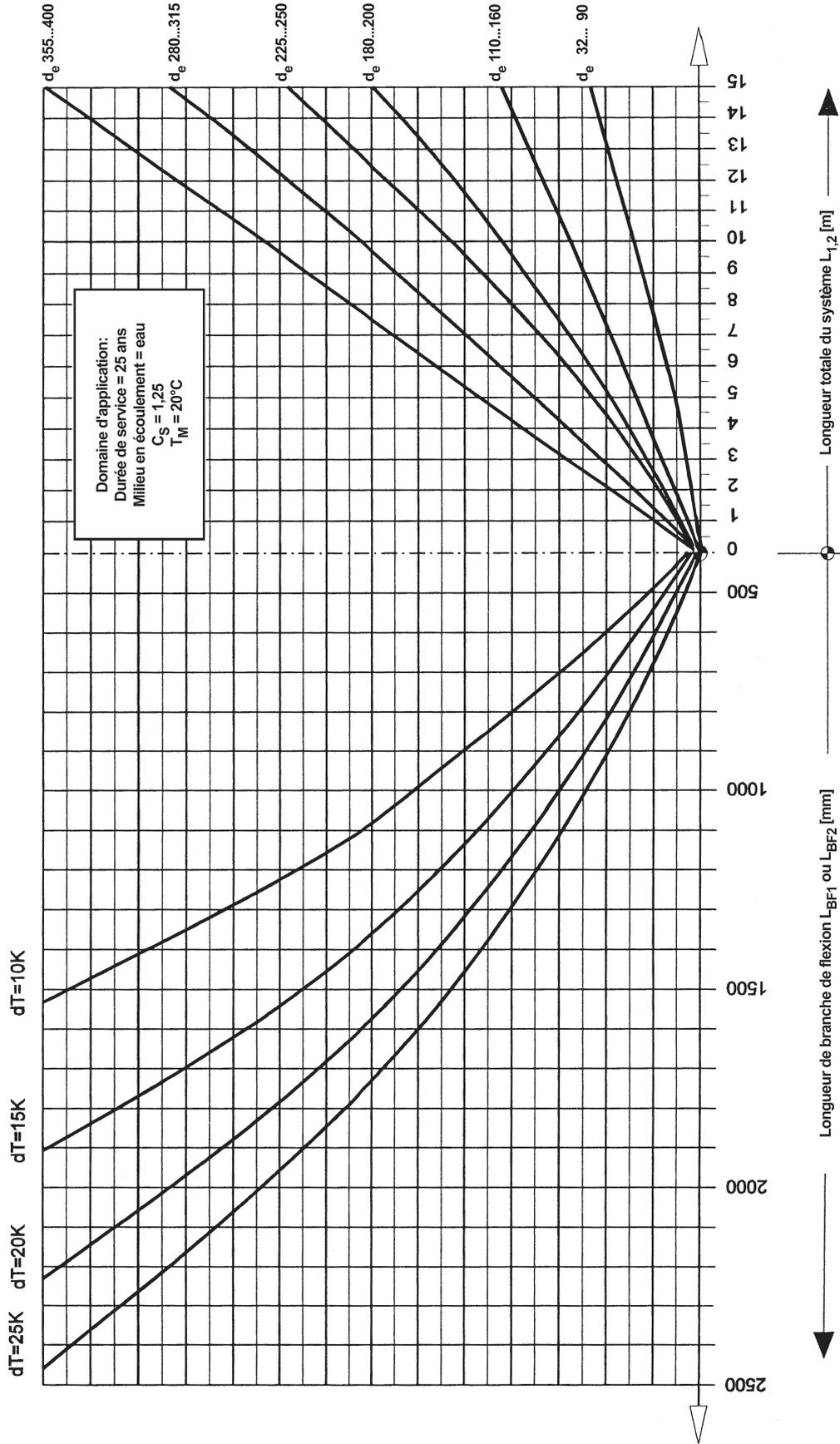
Longueur de branche de flexion requise :

$L_{BF2 \text{ req}} = 1730$ mm pour la longueur totale du système L_2 . Pour L_{BF1} , on obtient pour $L_2 = L_{BF2 \text{ req}} = 1730$ mm. Pour L_{BF1} , on obtient pour la distance minimale entre le collier de guidage et le point d’inflexion $L_{BF1} = 720$ mm.

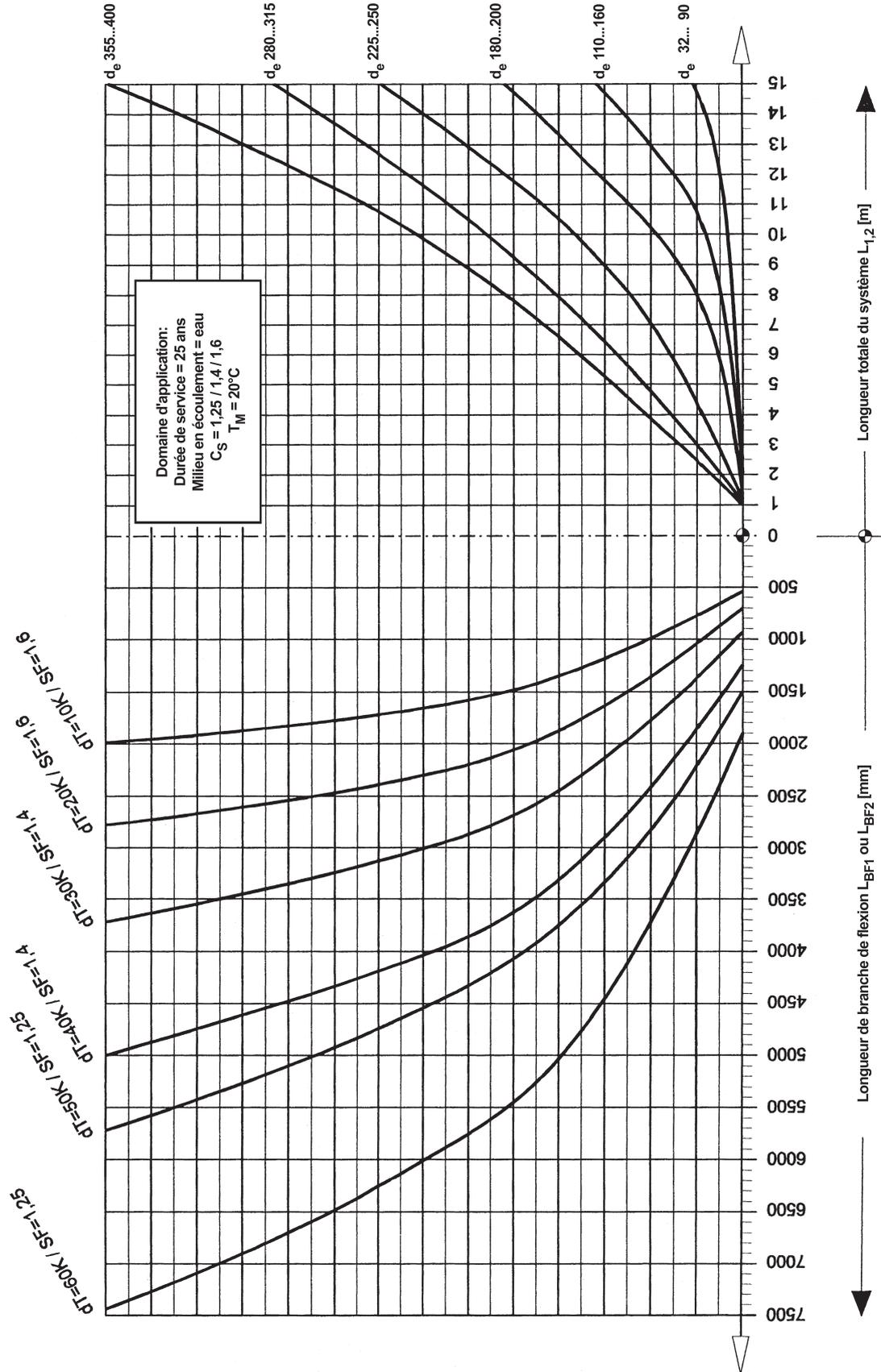
Dimensions d'un système à coude en L
Matériau: PE 80



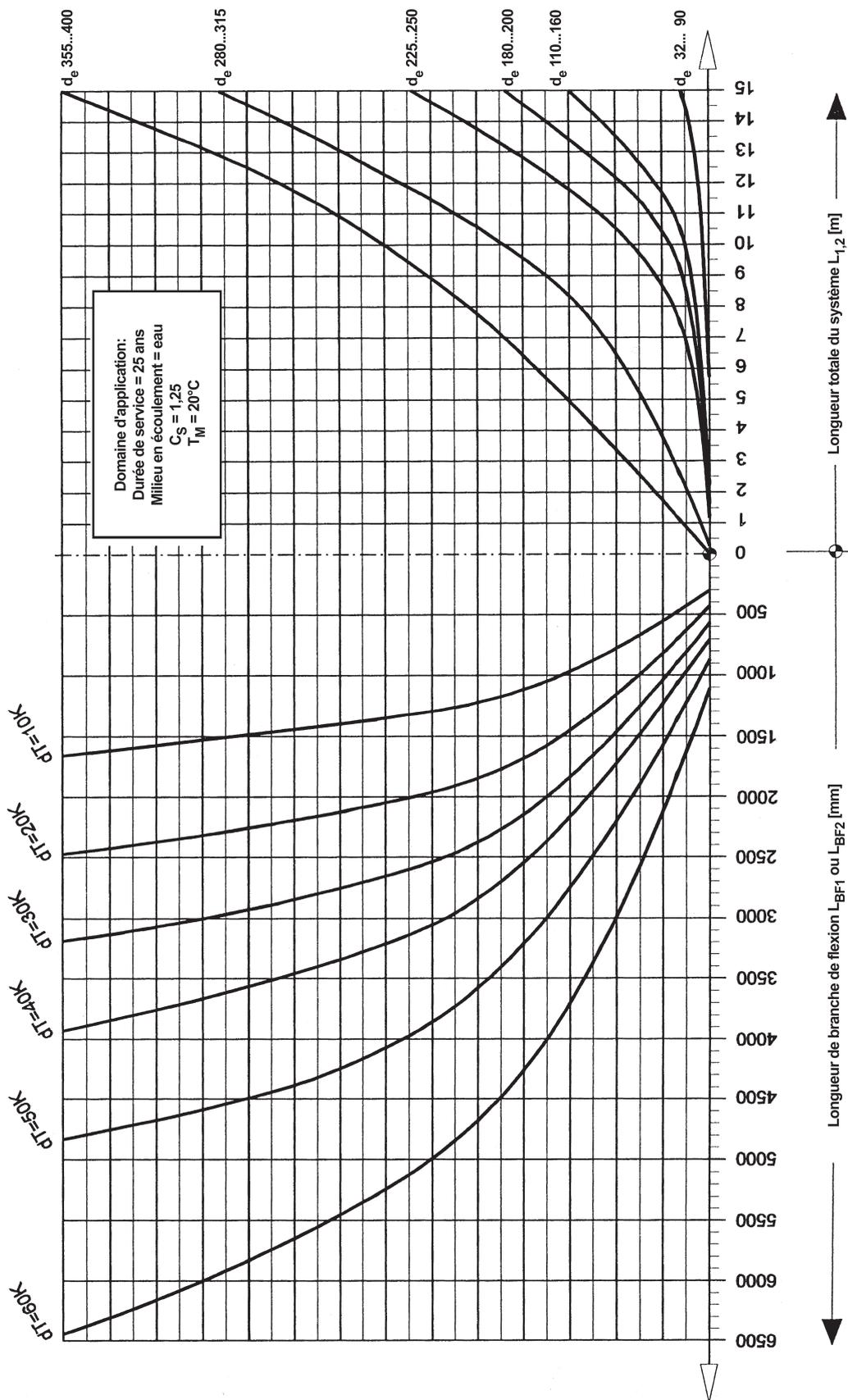
Dimensions d'un système à coude en L
Matériau: PE 100



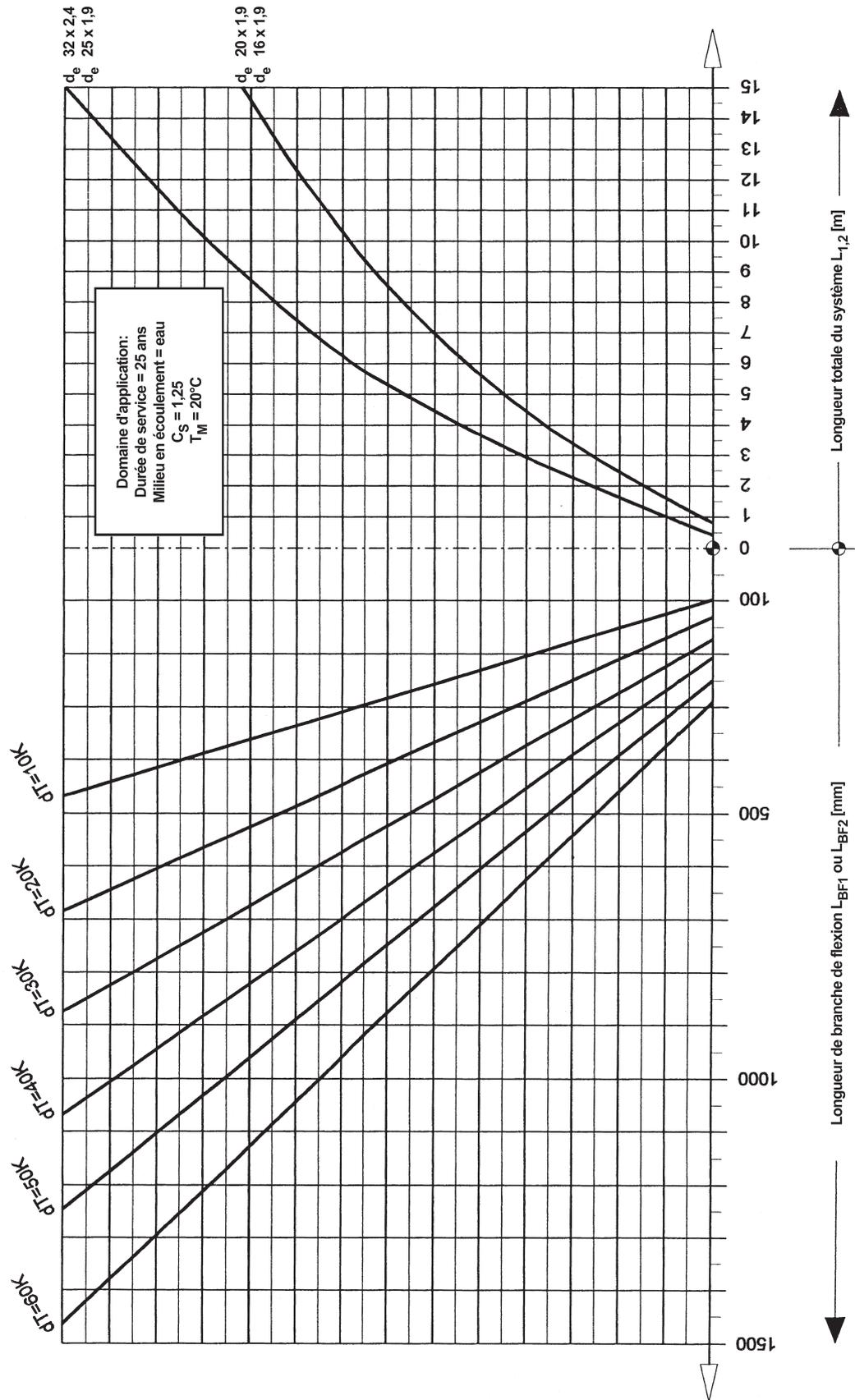
Dimensions d'un système à coude en L
Matériau : PP-H



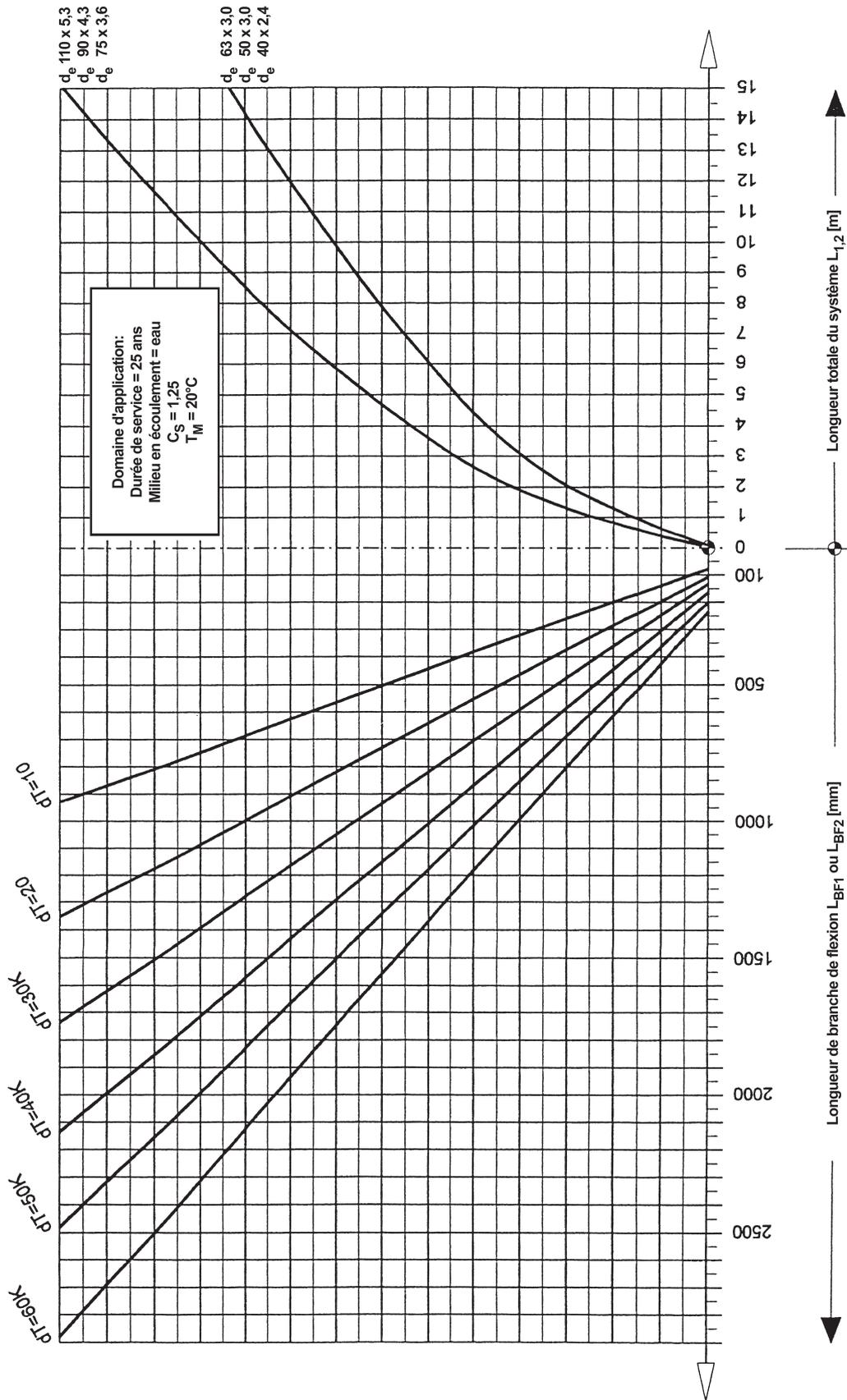
Dimensions d'un système à coude en L
Matériau : PP-R



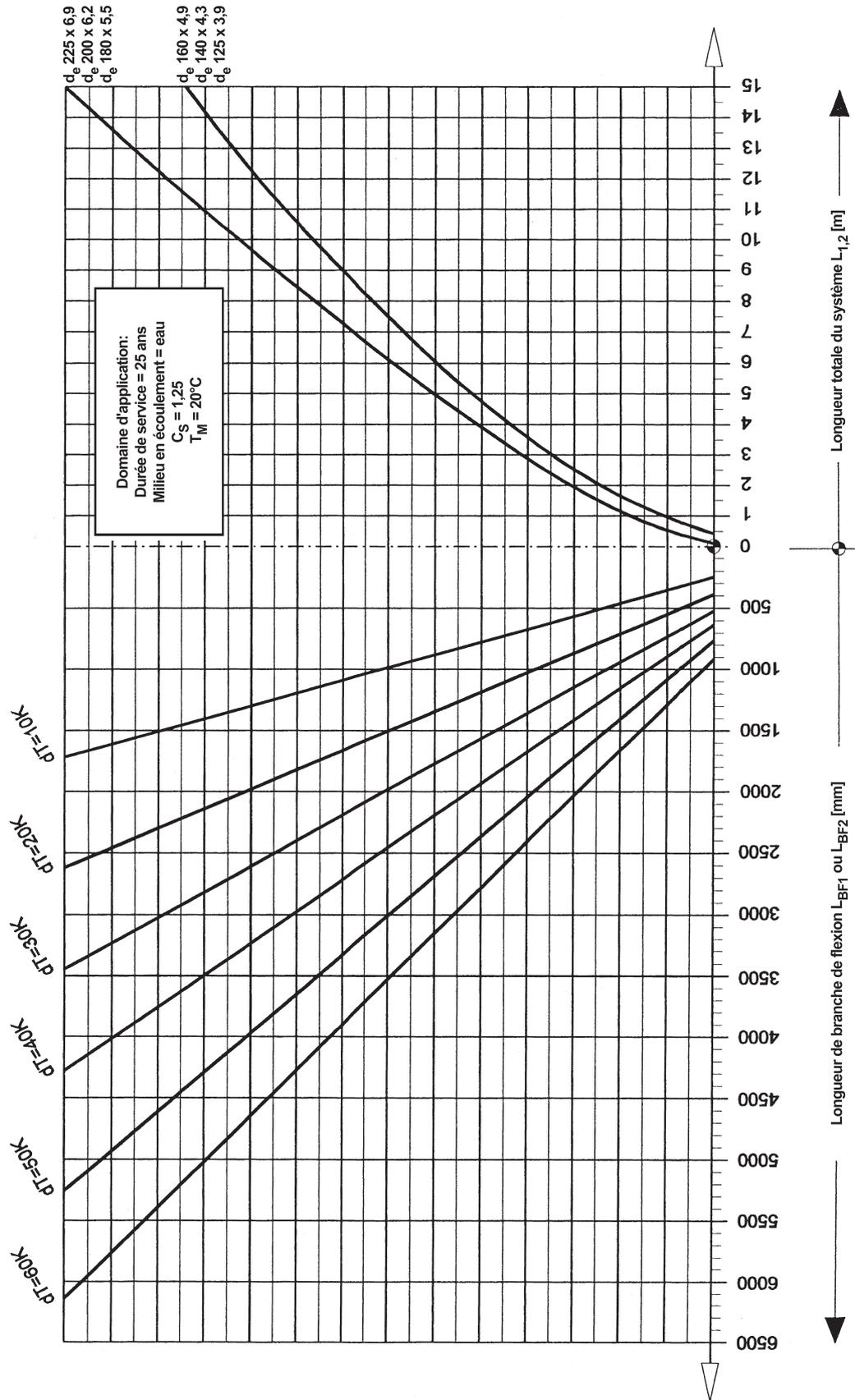
Dimensions d'un système à coude en L
 Matériau : PVDF (d_e 16 à 32)



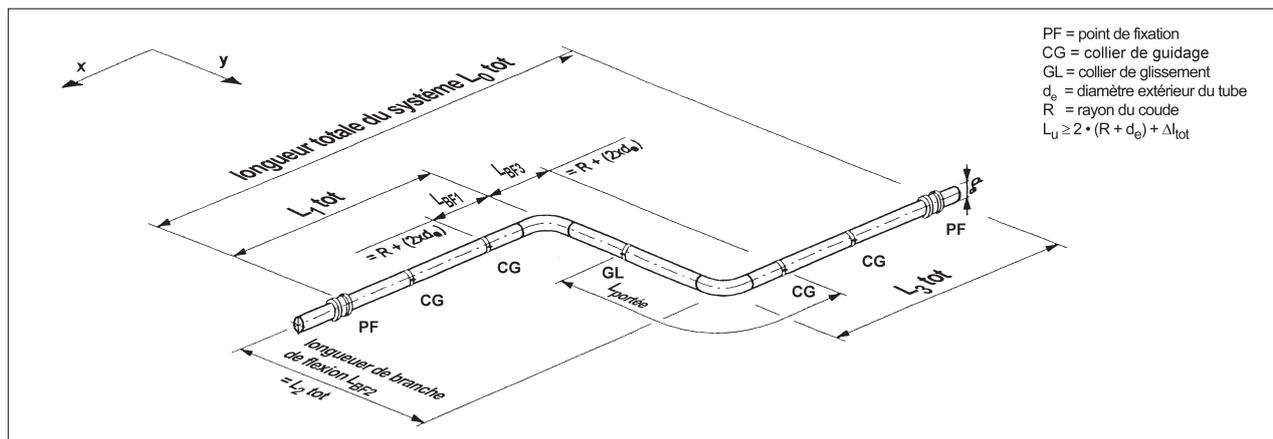
Dimensions d'un système à coude en L
Matériau : PVDF (d_e 40 à 110)



Dimensions d'un système à coude en L
Matériau : PVDF (d_e 125 à 225)



Dimensionnement des coudes de dilatation en Z



Les coudes de dilatation en Z sont très similaires aux coudes de dilatation en L. Le schéma de principe montre qu'un système en Z peut absorber des variations de longueur des deux côtés, ce qui le rend plus élastique qu'un système en L. Au niveau des composants actifs du système, cette élasticité ne doit pas être restreinte par des appuis du type collier de guidage (CG) mais du type colliers de glissement (GL).

L'élasticité du coude de dilatation en Z dépend de la position de la branche de flexion dans le système. Plus la dissymétrie du coude en Z s'accroît ($L_{1\text{tot}} \neq L_{2\text{tot}}$), plus il perd de son élasticité.

A la limite ($L_{1\text{tot}} = 0$ et $L_{2\text{tot}} = L_{0\text{tot}}$), on se retrouve en présence d'un coude en L. Lorsqu'il n'est pas possible de configurer la branche de flexion L_{BF2} de manière symétrique, la solution peut être tirée de l'exemple ci-après.

Dimensionnement d'un coude en Z à l'aide des diagrammes SIMONA :

Soit : Une tuyauterie en PE 80

Matériau de tube :

Aucune différence n'est à faire entre le PE 80 et le PE 100 dans ces diagrammes.

Dimensions du tube : $d_e = 280$ mm

Classe de pression nominale ou valeur SDR :

Ce diagramme est applicable à toutes les tuyauteries en PE, quelle que soit la pression nominale/valeur SDR (la résistance à la pression de service est à contrôler conformément à l'exemple [5], au chap. 10).

Température de service minimale : $T_s \text{ mini} = 20^\circ\text{C}$

Température de service maximale : $T_s \text{ maxi} = 40^\circ\text{C}$

Température de montage :

En règle générale, la température de montage est comprise entre 5°C et 25°C . En raison de la variation de température initiale au démarrage, la différence de température ne doit pas être prise par rapport à cette température de montage, mais entre les températures maxi et mini de service.

Différence de température en service :

$$\Delta v = \Delta T = 40 - 20 = 20 \text{ K}$$

Longueur du système de coude en Z :

L_0 tot = 17 m, configuration symétrique

Longueur de branche de flexion requise :

L_{BF2} req : Pour L_0 tot, le diagramme donne une longueur minimale de branche de flexion de 850 mm.

L_{BF1} req = L_{BF3} req : pour L_{BF2} req, le diagramme donne
 L_{BF2} req = $2 \cdot d_e = 560$ mm.

Avec cette distance entre le collier de guidage (CG) et le point d'inflexion de chaque coude, les contraintes de flexion se situent dans la plage admissible.

Cas particulier :

Coude de dilatation en Z asymétrique.

Longueur du système de coude en Z : L_0 tot = 17 m

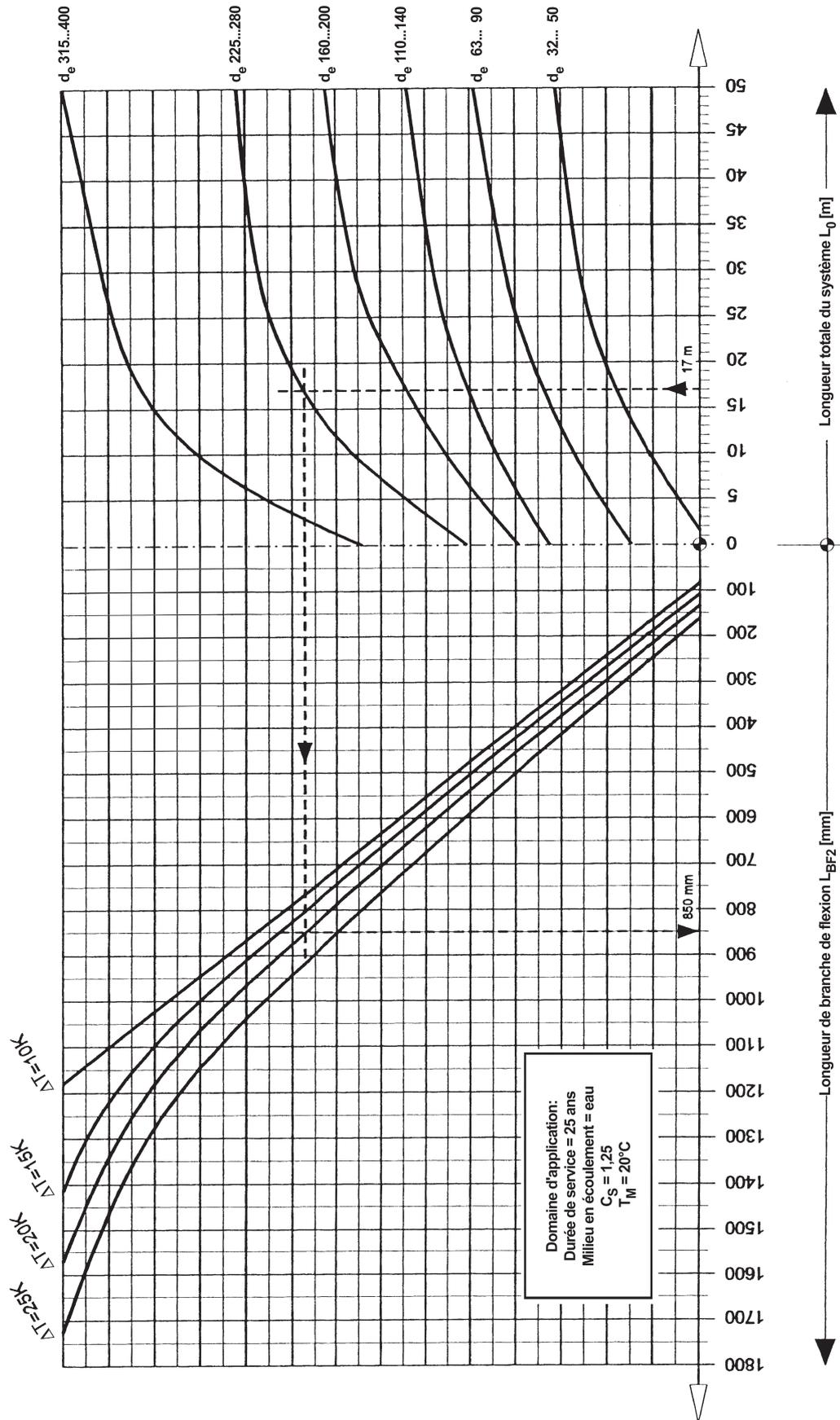
Longueur de la branche : L_1 tot = 12 m

Longueur de branche de flexion requise :

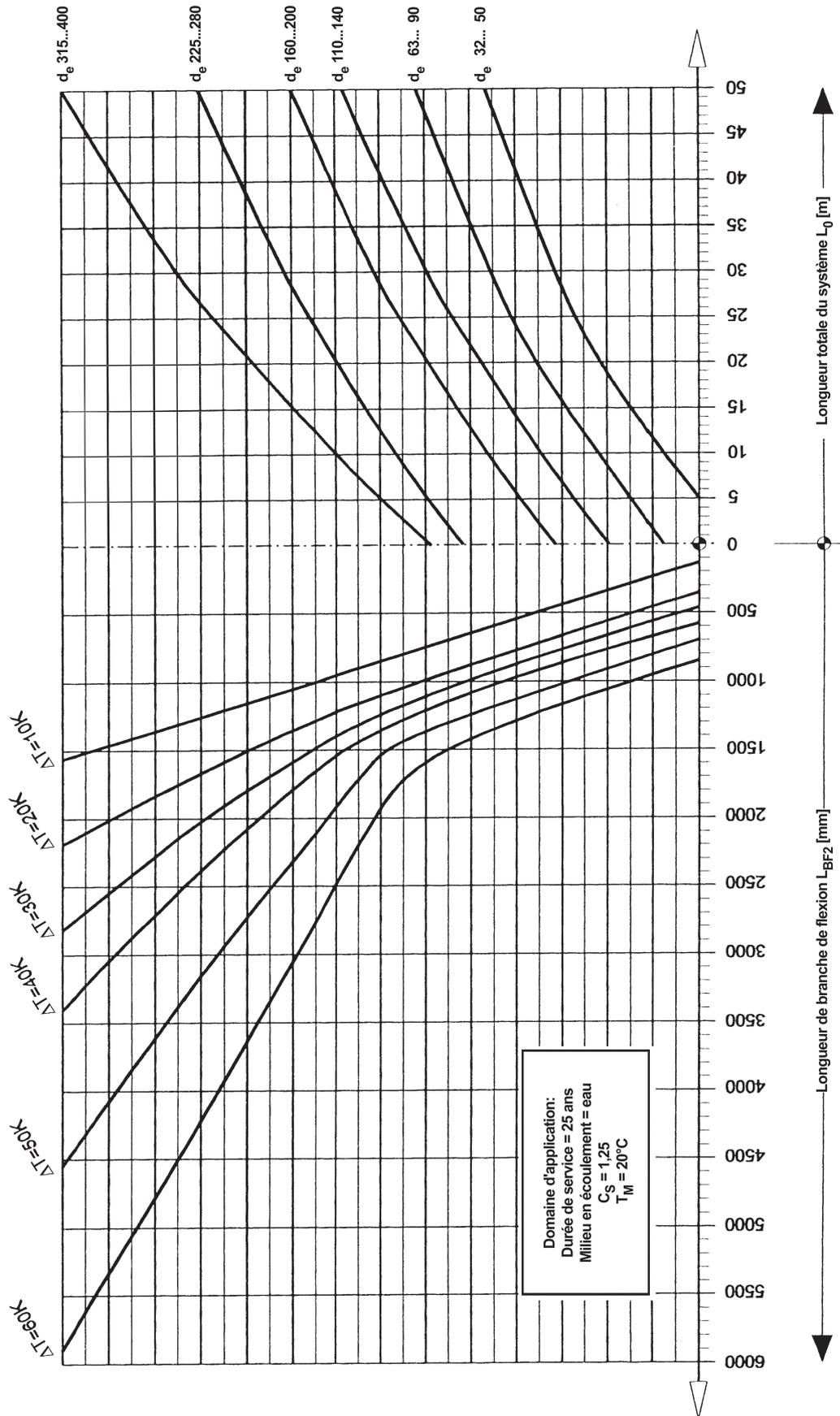
L_{BF2} req : Pour L_1 tot, le diagramme donne une longueur minimale de branche de flexion de 1200 mm pour un coude en L.

L_{BF1} req = L_{BF3} req : le résultat demeure $2 \cdot d_e = 560$ mm.

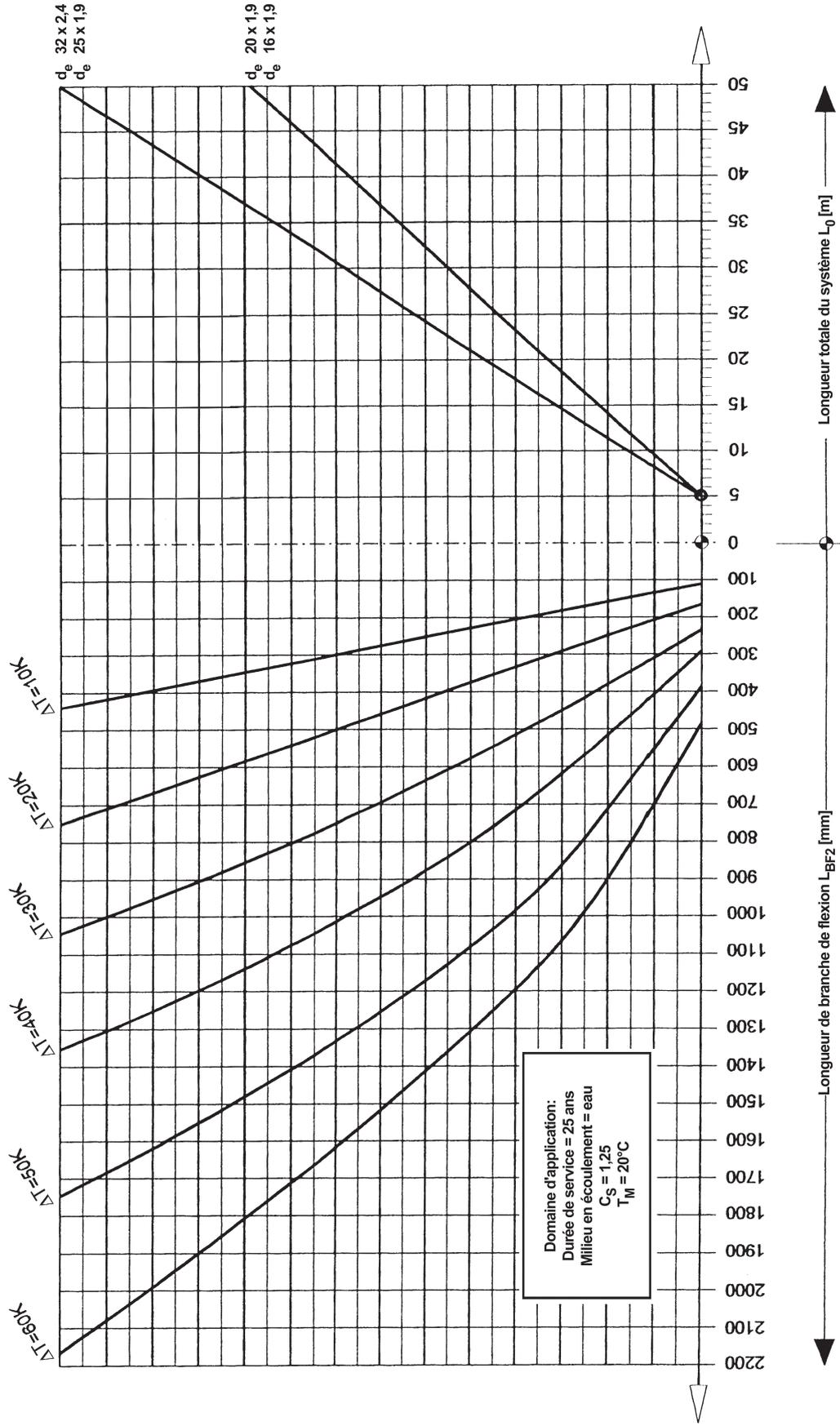
Dimensions d'un système à coude en Z
 Matériau : PE 80/PE 100



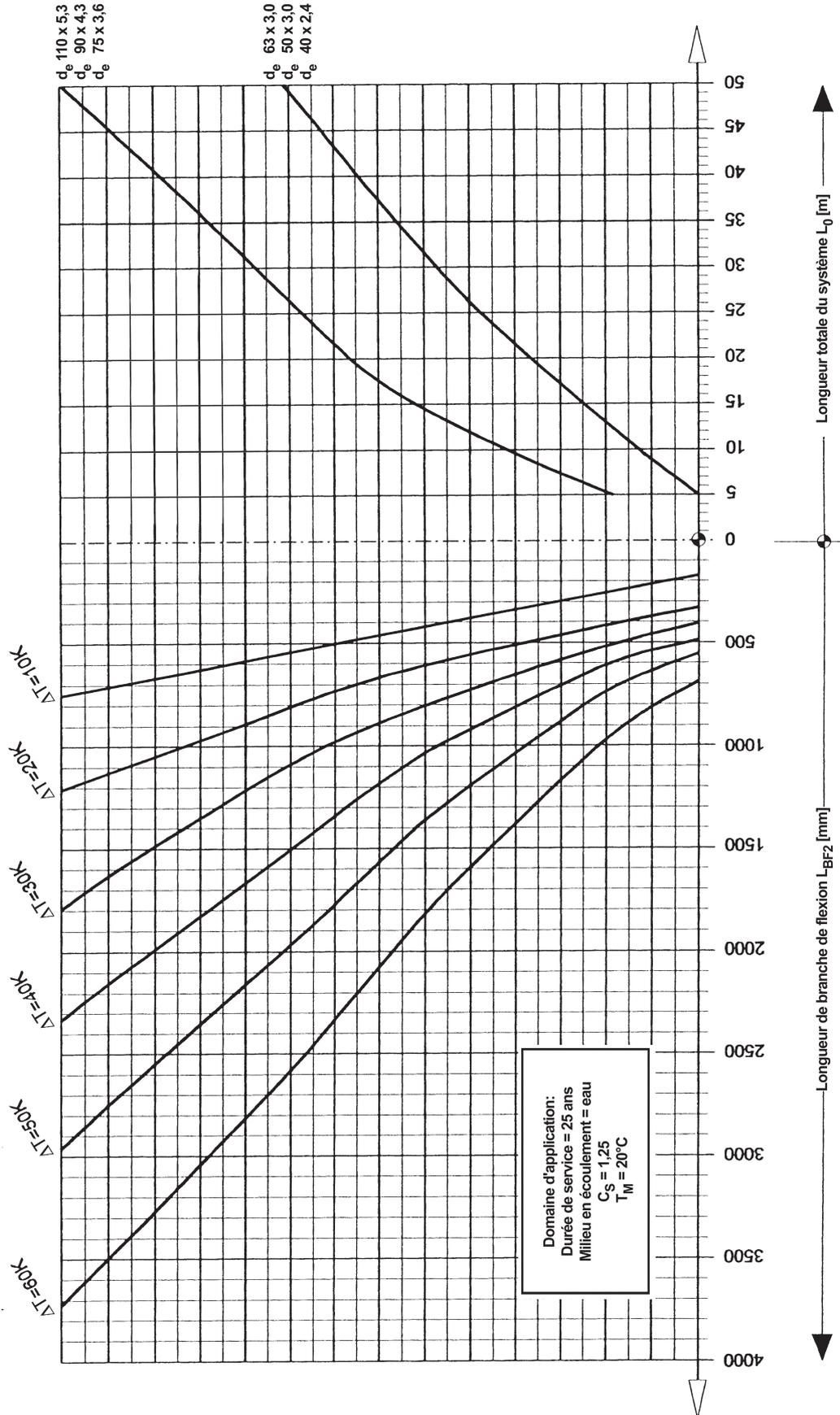
Dimensions d'un système à coude en Z
Matériau : PP-H/PP-R



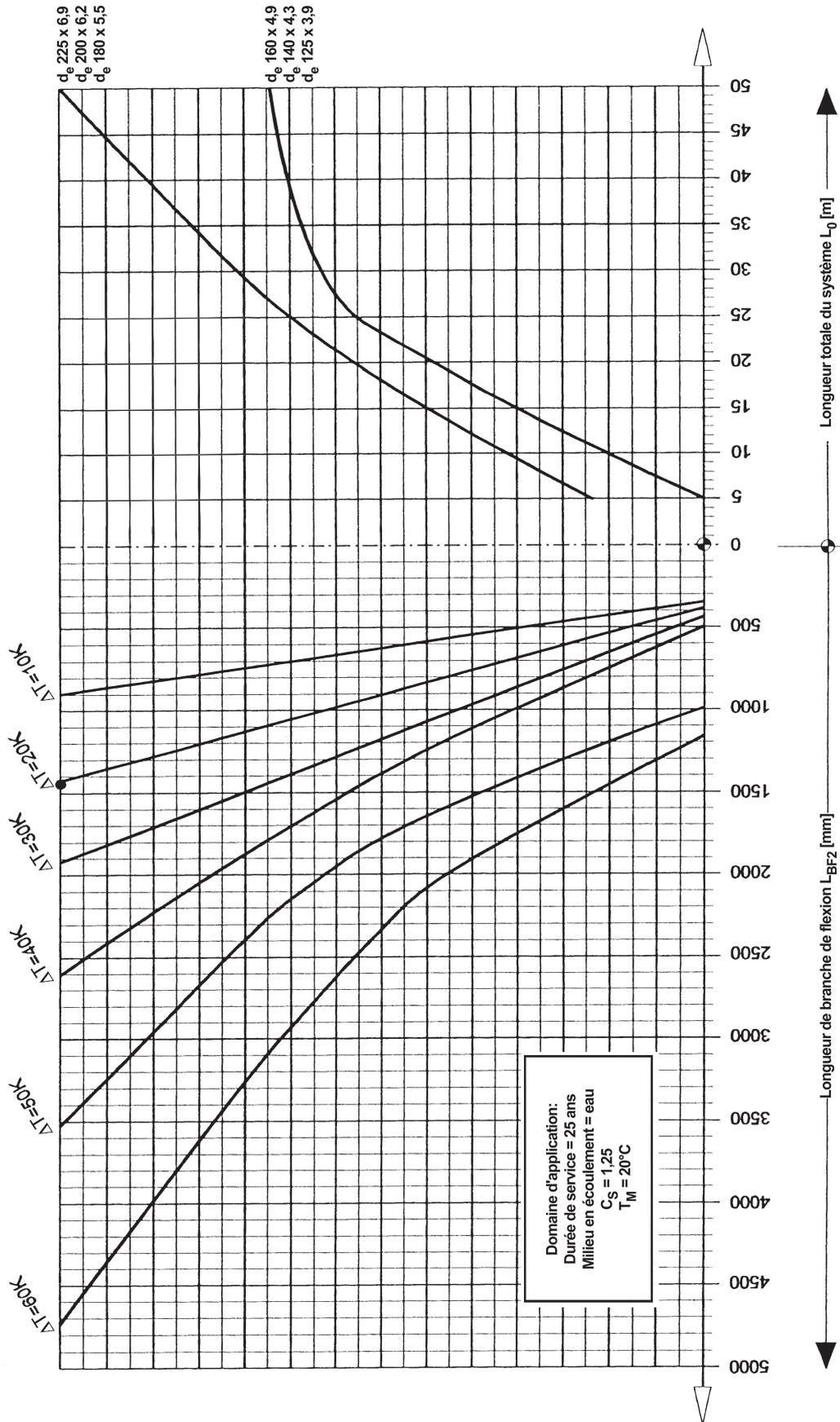
Dimensions d'un système à coude en Z
Matériau : PVDF (de 16 à 32)



Dimensions d'un système à coude en Z
 Matériau : PVDF (d_e 40 à 110)

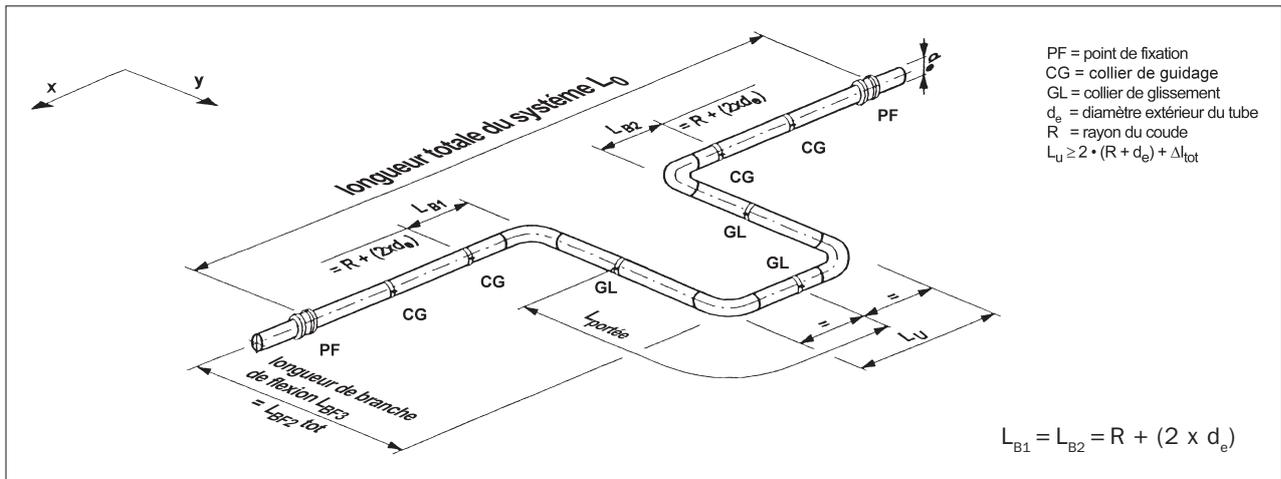


Dimensions d'un système à coude en Z
Matériau : PVDF (de 125 à 225)



Dimensionnement des coudes de dilatation en U

Les coudes de dilatation en U sont destinés à absorber les variations de longueur des tronçons de tuyauterie. Les dimensions du système sont définies dans le schéma de principe ci-dessous. Un soin particulier est à apporter au supportage du coude de dilatation en U. Pour assurer un bon fonctionnement, aucun appui du type collier de guidage (CG) ne doit se trouver au niveau de la branche de flexion, mais exclusivement des appuis du type colliers de glissement (GL).



Dimensionnement d'un coude en U à l'aide des diagrammes SIMONA :

Soit : Une tuyauterie en PE 80

Matériau de tube :

Aucune différence n'est à faire entre le PE 80 et le PE 100 dans ces diagrammes.

Dimensions du tube : $d_e = 280$ mm

Rayon de courbure du coude : $R = d_e = 280$ mm

Classe de pression nominale ou valeur SDR :

Ce diagramme est applicable à toutes les tuyauteries en PE, quelle que soit la pression nominale/valeur SDR (la résistance à la pression de service est à contrôler conformément à l'exemple [5], au chap. 10).

Température de service minimale : $T_s \text{ mini} = 20^\circ\text{C}$

Température de service maximale : $T_s \text{ maxi} = 40^\circ\text{C}$

Température de montage :

En règle générale, la température de montage est comprise entre 5°C et 25°C . En raison de la variation de température initiale au démarrage, la différence de température ne doit pas être prise par rapport à cette température de montage, mais entre les températures maxi et mini de service. Dans cet exemple, la température de montage est $T_M = 10^\circ\text{C}$.

Différence de température en service :

$$\Delta T = 40 - 20 = 20 \text{ K}$$

Pour garantir que les branches de flexion L_{BF3} n'entrent pas en contact réciproque à la différence maximale de température, on considèrera la variation maximale de longueur pour déterminer L_U .

Différence maximale de température :

$$\Delta v = \Delta T \text{ maxi} = 40 - 10 = 30 \text{ K}$$

Longueur du système de coude en U : $L_{0\text{tot}} = 43$ m

Calcul de la variation de longueur :

$$\Delta l_T = \alpha \cdot L_{0\text{tot}} \cdot \Delta T = 0,00018 \cdot 43 \cdot 1000 \cdot 30 = 232 \text{ mm (voir aussi chapitre 5.3.2)}$$

Longueur de branche de flexion requise :

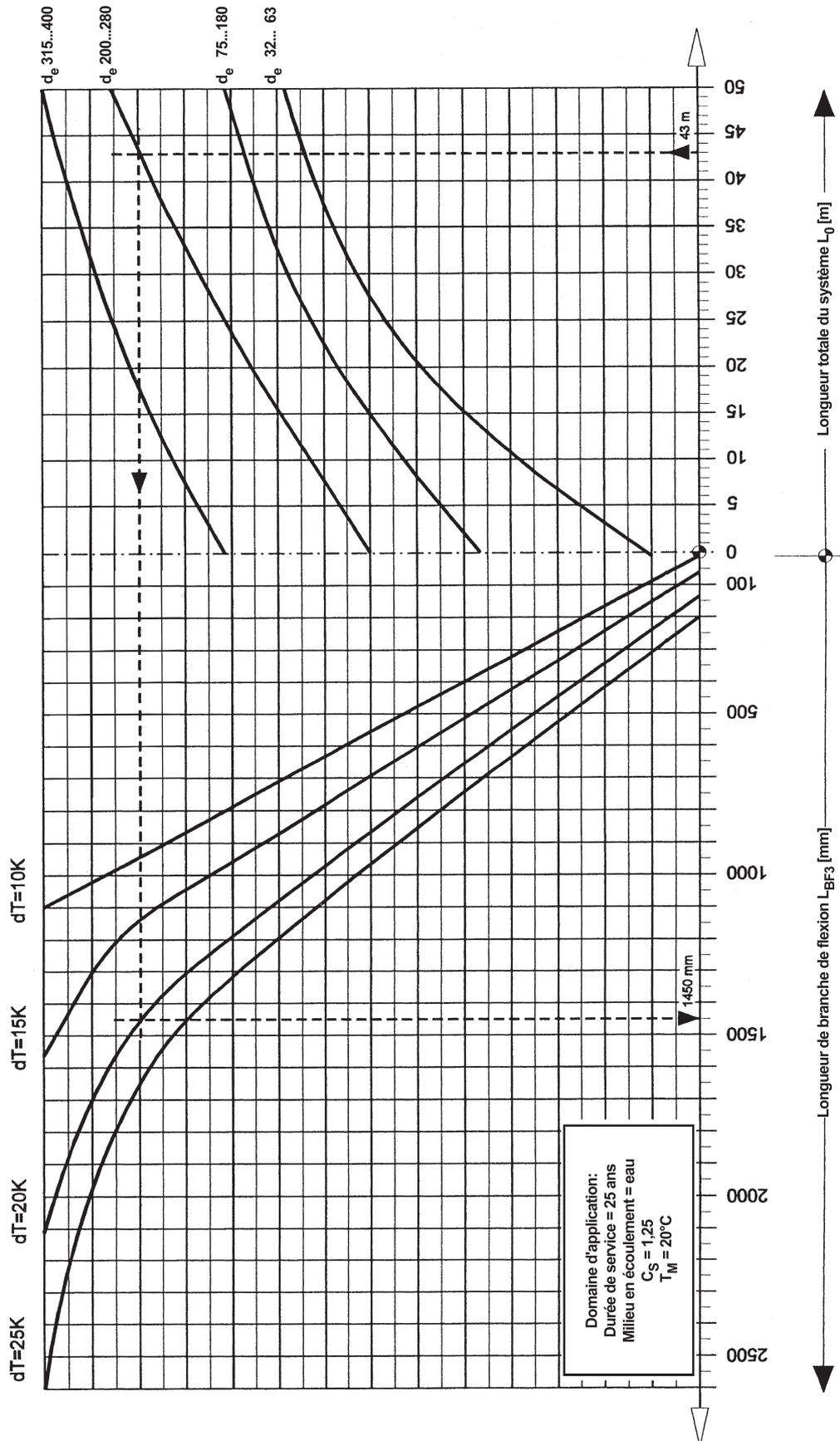
$$L_{BF1 \text{ req}} = L_{BF2 \text{ req}} = 280 + 2 \cdot 280 = 840 \text{ mm.}$$

$L_{BF3 \text{ req}}$: Pour $L_{1\text{tot}}$, le diagramme donne une longueur minimale de branche de flexion de $1450 \text{ mm}^{\text{①}}$ pour un coude en U en PE 80 ou PE 100.

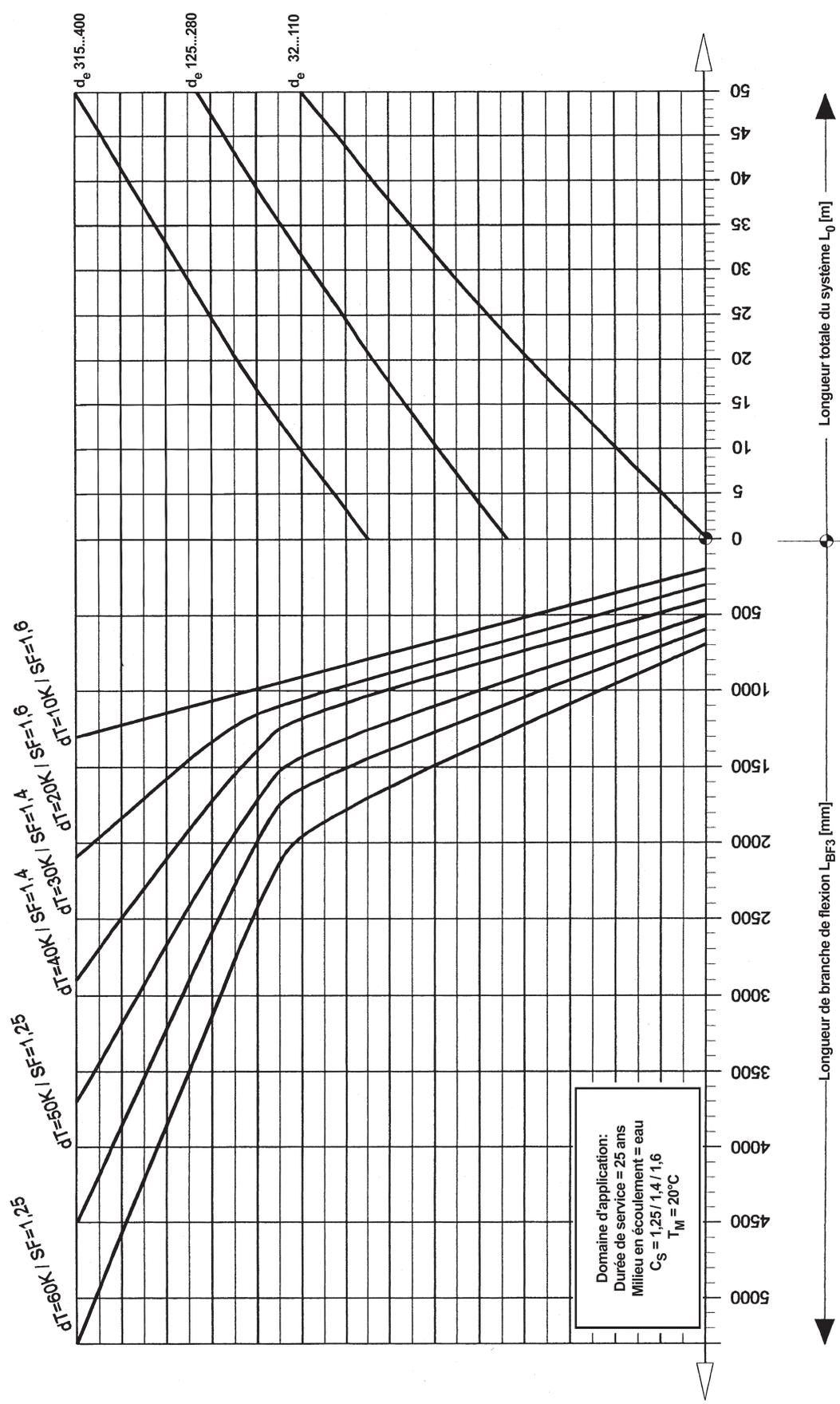
$$L_U \text{ req} = 2 \times (280 + 280) + 232 = 1352 \text{ mm.}$$

① La longueur minimale de branche de flexion donnée par le diagramme considère que la longueur totale ne varie pas du fait des frottements sur les appuis de tuyauterie.

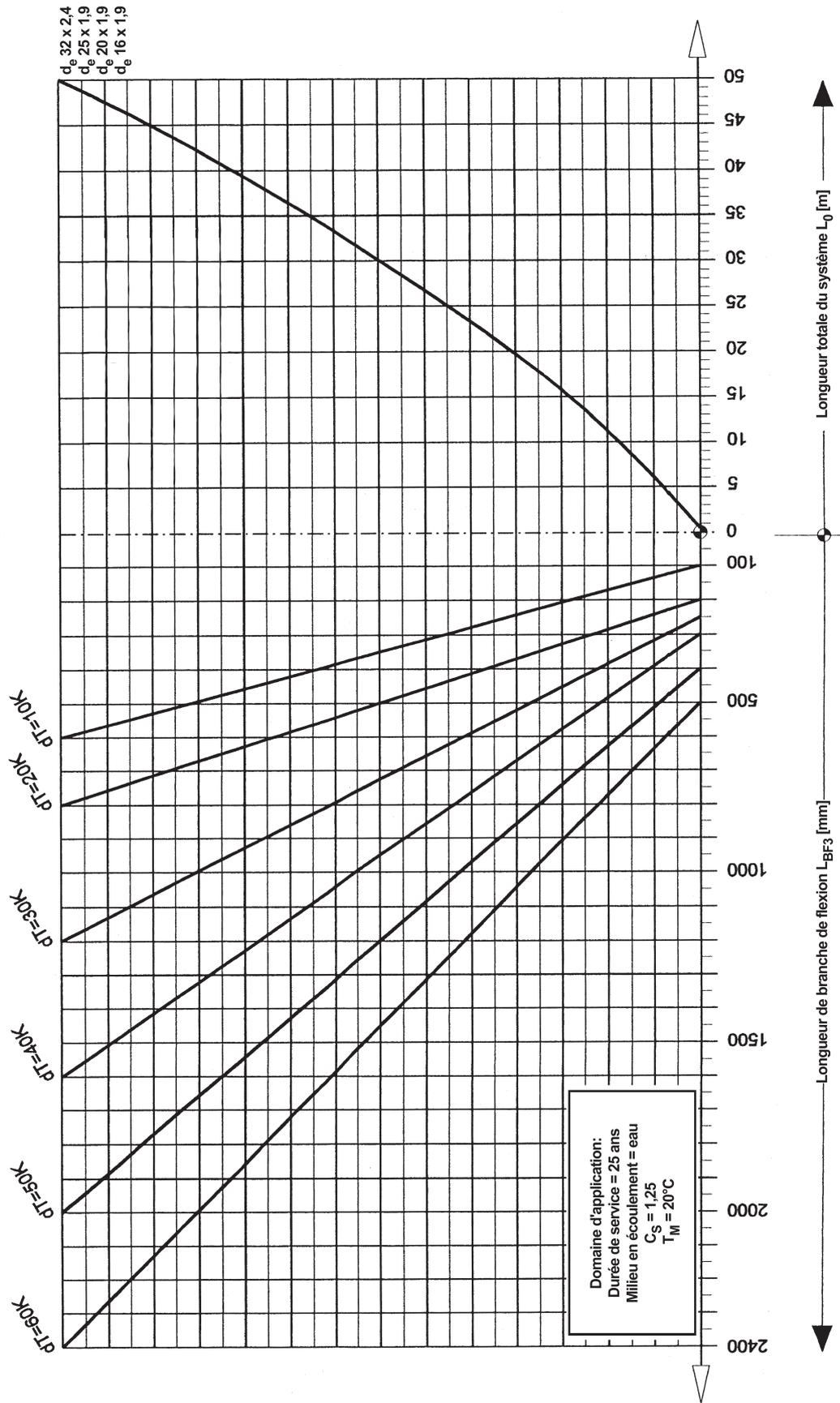
Dimensions d'un système à coude en U
Matériau : PE 80/PE 100



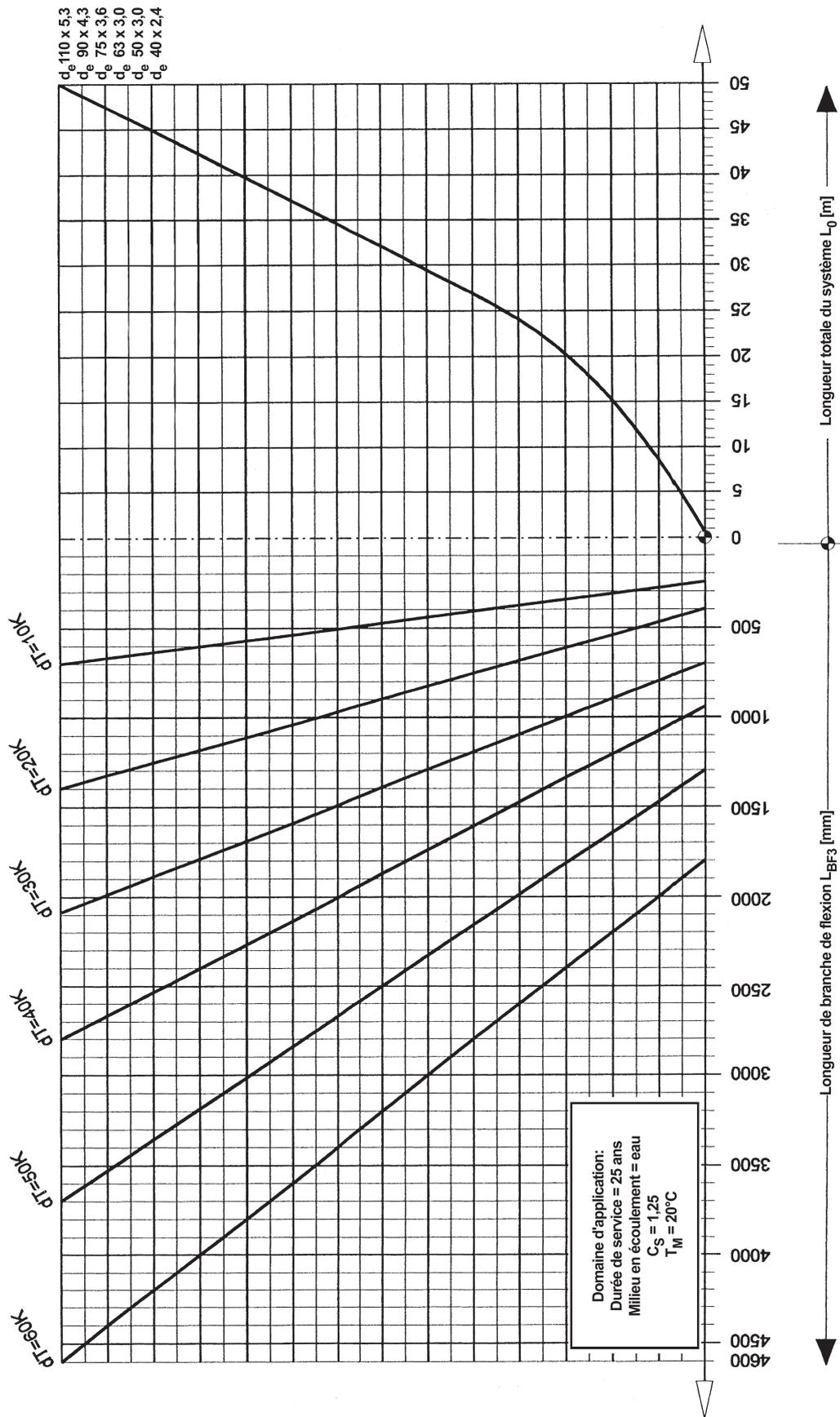
Dimensions d'un système à coude en U
 Matériau : PP-H/PP-R



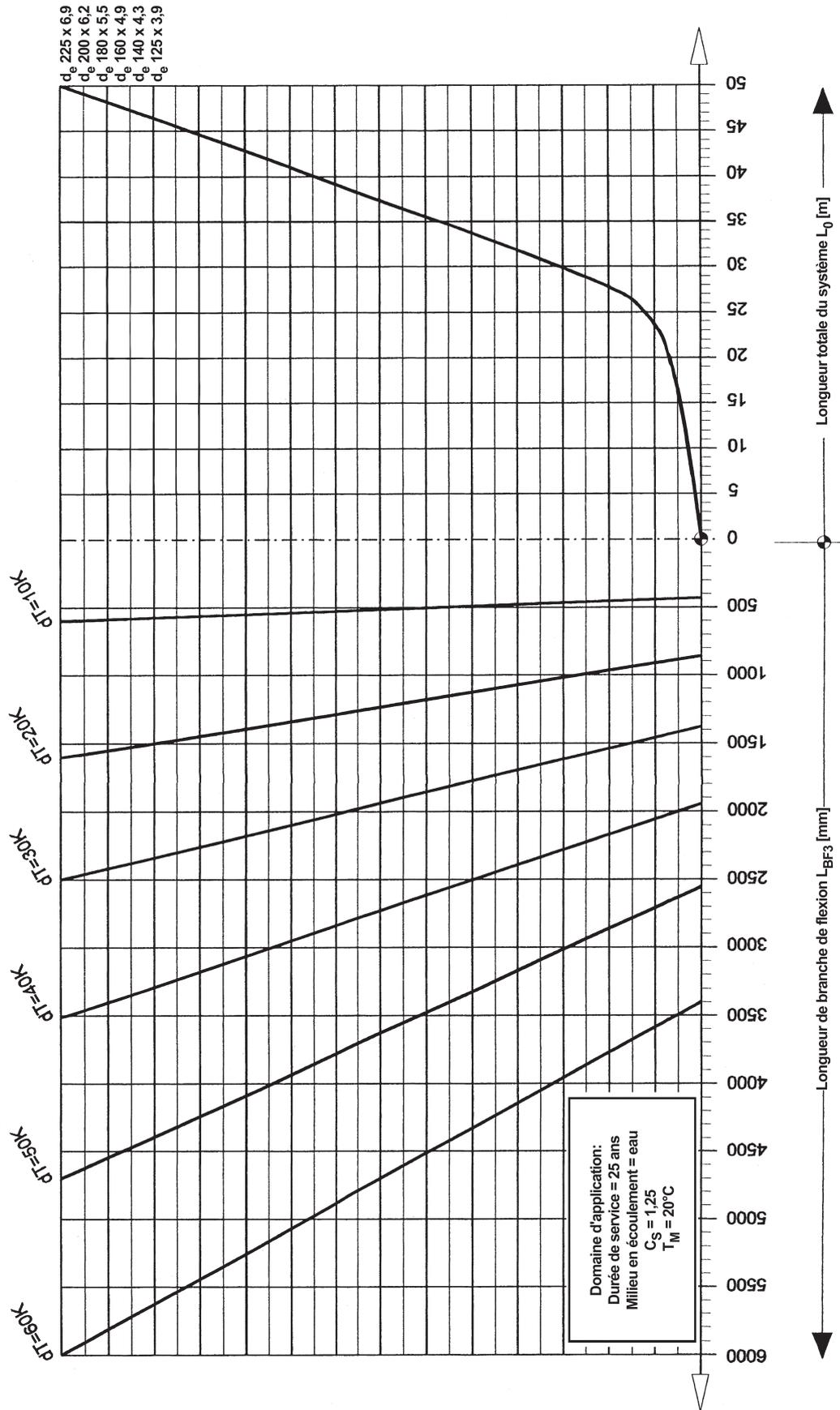
Dimensions d'un système à coude en U
Matériau : PVDF (d_e 16 à 32)



Dimensions d'un système à coude en U
Matériau : PVDF (de 40 à 110)



Dimensions d'un système à coude en U
Matériau : PVDF (d_e 125 à 225)



5.3.4 Sollicitations aux points de fixation

Les tuyauteries aériennes en matière plastique nécessitent un système de fixation. Ce système de fixation a pour tâche d'assurer à la tuyauterie un supportage et un guidage suffisants, ainsi que d'éviter toute sollicitation en dehors de la plage de tolérances qui risquerait d'intervenir en raison d'une fixation insuffisante.

Un système de fixation digne de ce nom est composé de composants différents dont les fonctions sont différentes. Un composant important du système de fixation est le point de fixation fixe qui, de par sa fonction, supporte la plus grande sollicitation.

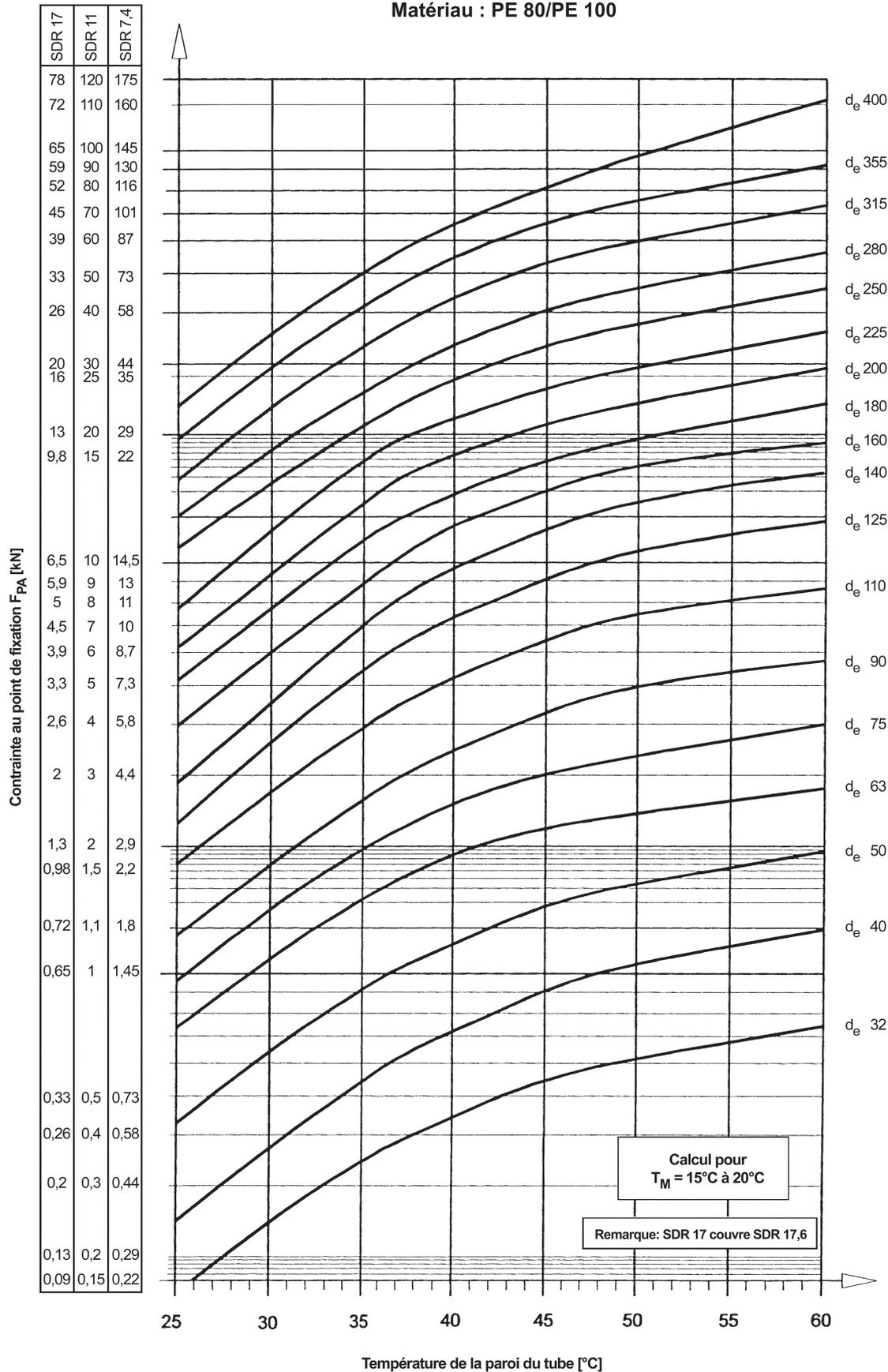
Les points de fixation sont sollicités dans les conditions d'essai et de service suivantes :

- essai de résistance à la pression interne,
- empêchement des variations de longueur,
- frottement sur les appuis de tuyauterie,
- pression interne due au montage de compensateur de dilatation ou de manchons coulissants.

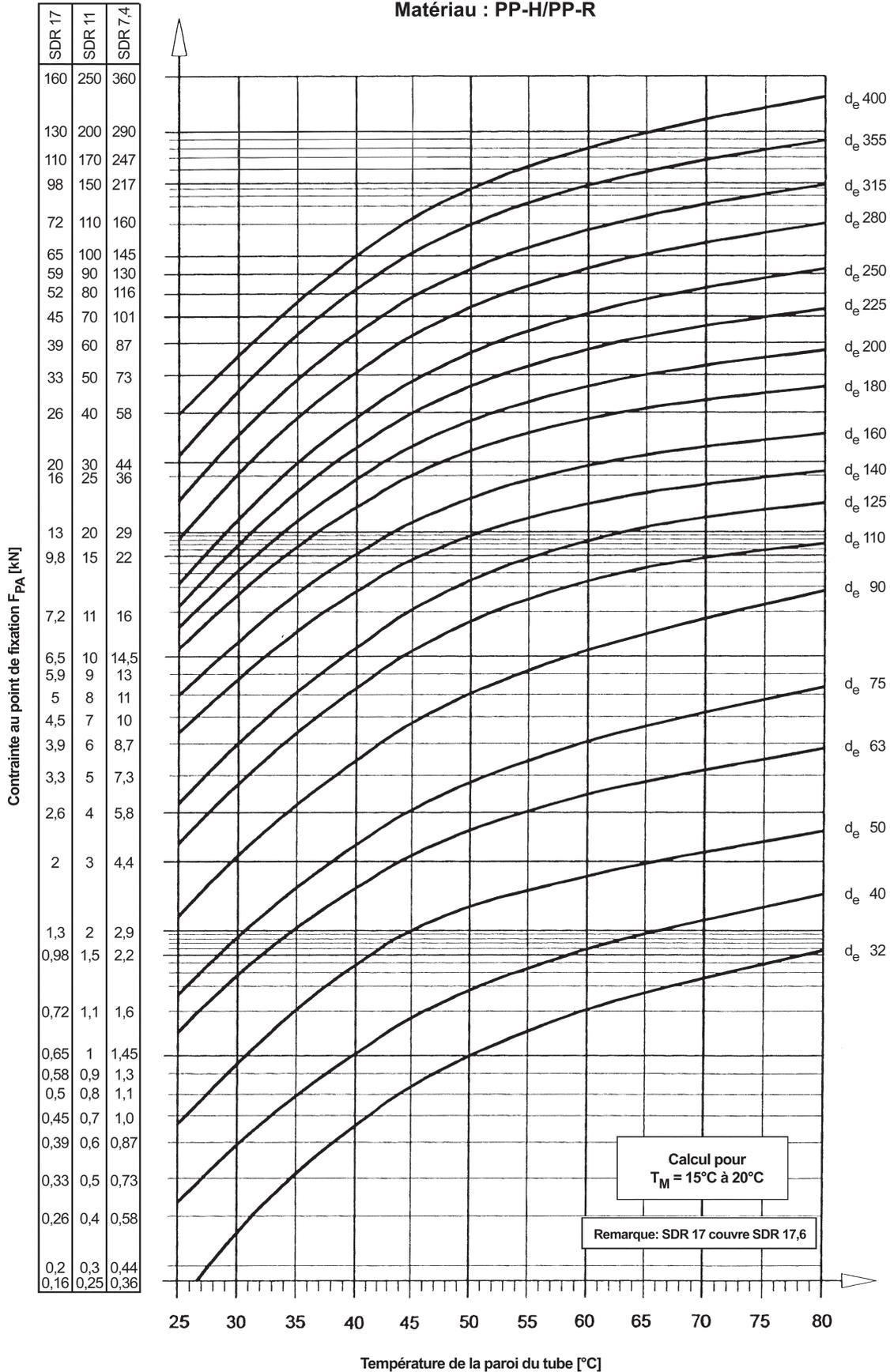
Il n'est pas possible de déterminer la sollicitation maximale sans avoir recours au calcul. Du fait de la diversité des états de fonctionnement, on ne considèrera, pour simplifier la détermination des paramètres de pose, que les sollicitations aux points de fixation engendrées par l'empêchement de la dilatation thermique longitudinale que l'on regroupera dans un diagramme par matériau (voir chap. 10, ex. [6]).

La sollicitation aux points de fixation ainsi déterminée ne concerne que les tuyauteries dont la dilatation thermique est empêchée. On verra ci-après que d'autres facteurs influent sur cette sollicitation (voir chap. 10, ex. [7]).

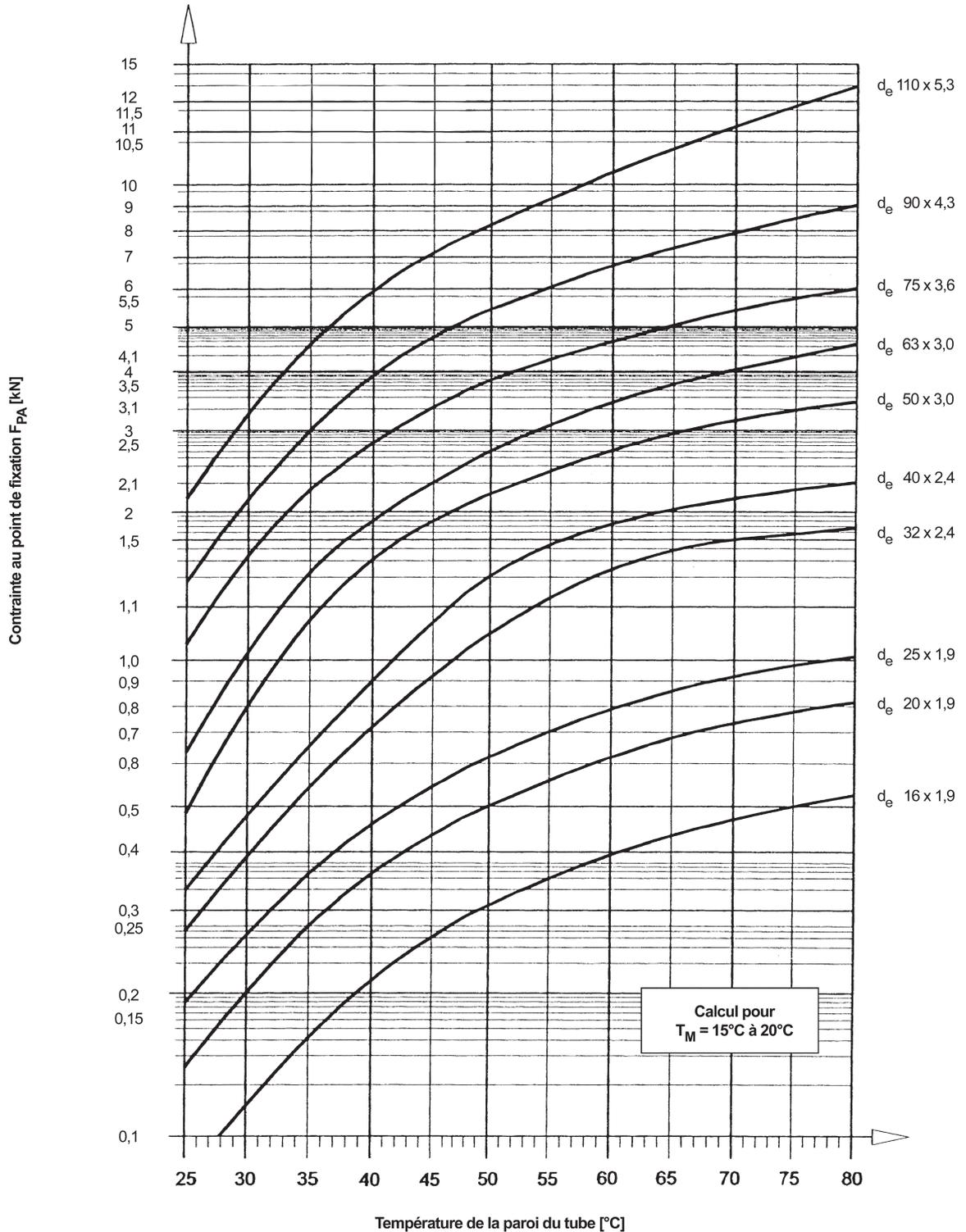
**Efforts axiaux au point de fixation des tuyauteries
en matière plastique encastrées longitudinalement
Matériau : PE 80/PE 100**



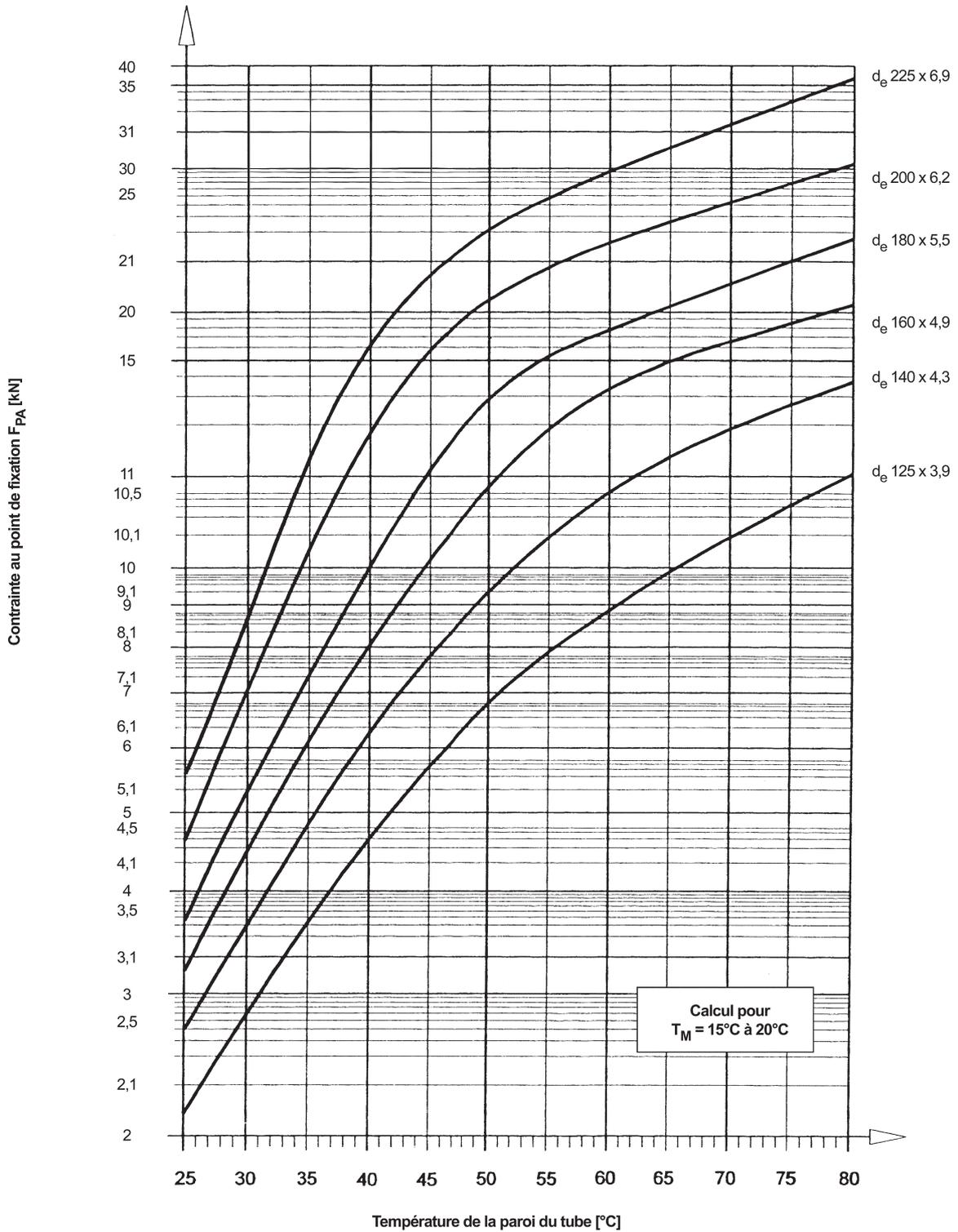
**Efforts axiaux au point de fixation des tuyauteries
en matière plastique encastrées longitudinalement
Matériau : PP-H/PP-R**



**Efforts axiaux au point de fixation des tuyauteries
en matière plastique encastrées longitudinalement
Matériau : PVDF (d_e 16 à 110)**



**Efforts axiaux au point de fixation des tuyauteries
en matière plastique encastrées longitudinalement
Matériau : PVDF (d_e 125 à 225)**



5.3.5 Distances entre les points de fixation

Les tuyauteries aériennes en matière plastique doivent être posées de manière à éviter tout déplacement hors tolérances et toute flèche trop importante des tubes en service. Le principal facteur de détermination de l'affaissement admissible est donné par la ligne de flexion d'une barre ronde continue de la section du tube. D'une manière générale, on considère que l'affaissement admissible est donné par $f = L/500$ à $L/750$, avec :

L = distance entre les points de fixation
ou les appuis,

f = flèche maximale du tube entre les points de fixation.

Il convient de noter que la flèche maximale admissible est fonction de la durée de service définie pour la tuyauterie. Les durées de service habituellement attribuées aux tuyauteries industrielles et de Génie civil sont indiquées au chapitre 4.2.2.

Outre la flèche admissible qui influe sur la distance entre appuis, il importe de considérer le risque de flambage auquel sont exposées les tuyauteries en matière plastique. Le «flambage» intervient lorsqu'un tube, étant fixé, n'est plus libre de se dilater sous l'effet de la température et se comporte donc comme encastré longitudinalement.

En présence d'une forte contrainte de compression du fait de l'empêchement de la variation de longueur, la charge critique de flambage peut être dépassée,

ce qui conduit à une instabilité du tronçon de tuyauterie considéré comme un «étai» entre deux points de fixation. Pour éviter le flambage, la distance entre les points de fixation ou les points de guidage du tronçon doit être adaptée à la charge critique de flambage. En d'autres termes, plus la charge de flambage sera élevée, plus faible devra être la distance entre les points de fixation.

Ce comportement de la tuyauterie en matière plastique doit être contrecarré par la limitation de la distance entre appuis, ce dont tiennent compte les diagrammes SIMONA. Le risque de flambage est pour l'essentiel limité aux tuyauteries de faible diamètre dont la portée doit, par ailleurs, être également limitée à cause du fléchissement.

L'intersection de la portée admissible et de la distance nécessaire entre points de fixation dépend du matériau, de la température et du diamètre. Les valeurs limites, liées au domaine d'application des diagrammes SIMONA, sont indiquées dans le tableau 7 ci-après.

Ce tableau indique les distances maximales admissibles entre points de fixation pour les tuyauteries en divers thermoplastiques. Par exemple pour le PE, ligne 1, $L_{portée}$ est la distance maximale admissible entre appuis pour les tubes à partir de $d = 40$ et les températures de service $\leq 30^\circ\text{C}$. Ceci signifie également que tous les tubes de $d < 40$ seraient exposés au flambage pour les distances entre appuis habituelles.

Tableau 7 : Portées et distances nécessaires entre points de guidage

Matériau	T _B	Distance maximale		T _B	Distance maximale	
		L _{portée}	L _{guide}		L _{portée}	L _{guide}
PE	≤ 30°C	d _e > 32	d _e ≤ 32	> 30°C	d _e > 75	d _e ≤ 75
PP	≤ 40°C	d _e > 75	d _e ≤ 75	> 40°C	d _e > 140	d _e ≤ 140
PVDF	≤ 40°C	d _e > 63	d _e ≤ 63	> 40°C	d _e > 110	d _e ≤ 110

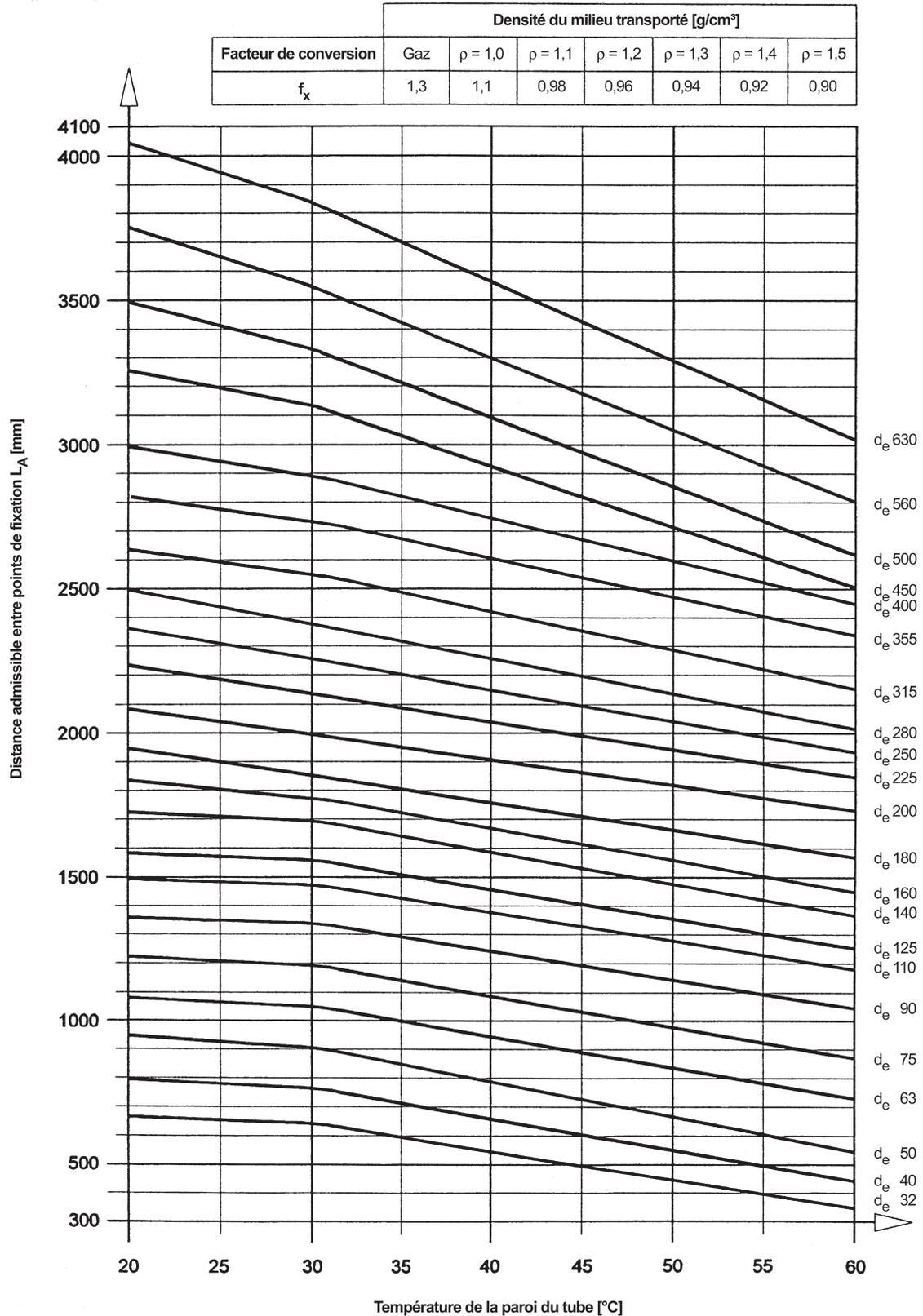
Pour les températures de service > 30 °C, la limite d'utilisation des portées habituelles passe d_e = 32 mm à d_e = 75mm sans risque de flambage. Par «portée habituelle», on entend les valeurs indiquées dans la directive DVS 2210-01.

Pour prendre en compte la différenciation qui vient d'être évoquée, les diagrammes SIMONA de caractérisation des distances entre points de fixation ont été conçus de manière à éviter d'avoir à différencier entre portée et distance entre points de guidage. De cette manière, la fiabilité de pose de la tuyauterie est garantie, que le tronçon de tuyauterie soit libre en dilatation longitudinale ou empêchée par des points fixes.

Pour l'utilisation des diagrammes SIMONA, on prendra soin de noter que les distances entre points de fixation qu'ils indiquent ne sont applicables qu'aux tuyauteries parcourues par de l'eau ou un milieu de densité 1,0 g/cm³, sans effet sur les caractéristiques mécaniques du matériau du tube. De tels effets, qui peuvent s'illustrer par exemple par un gonflement du matériau du tube, réduisent notablement les caractéristiques de résistance. Des renseignements à cet égard sur les milieux en écoulement sont donnés dans le SIMONA® SIMCHEM.

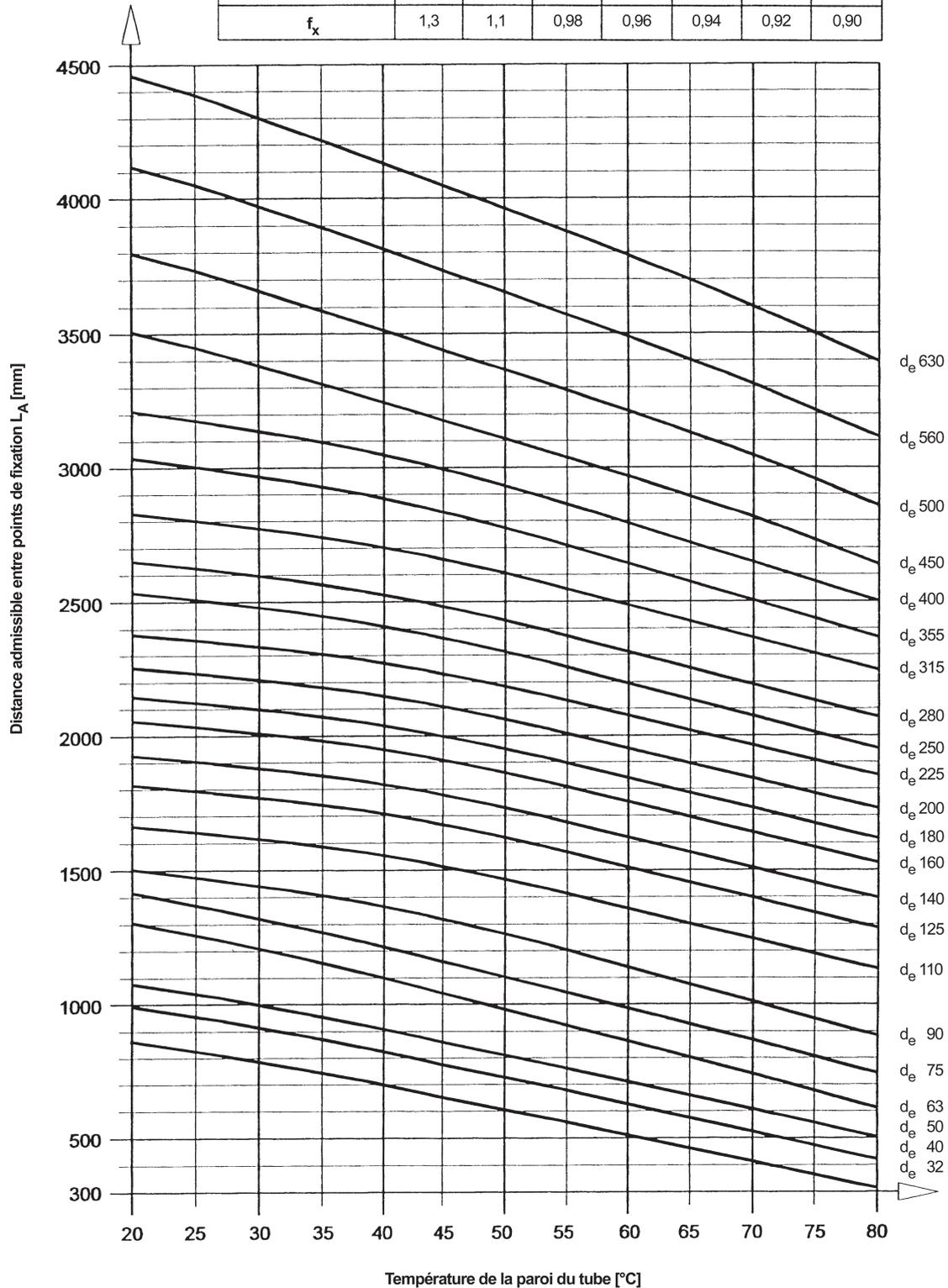
L'utilisation des diagrammes SIMONA pour déterminer la distance admissible entre les points de fixation d'une tuyauterie en thermoplastique sera explicitée par un exemple suivant (voir chap. 10, ex. [8]).

**Distances entre points de fixation
des tuyauteries en matière plastique
Matériau : PE 80/PE 100**

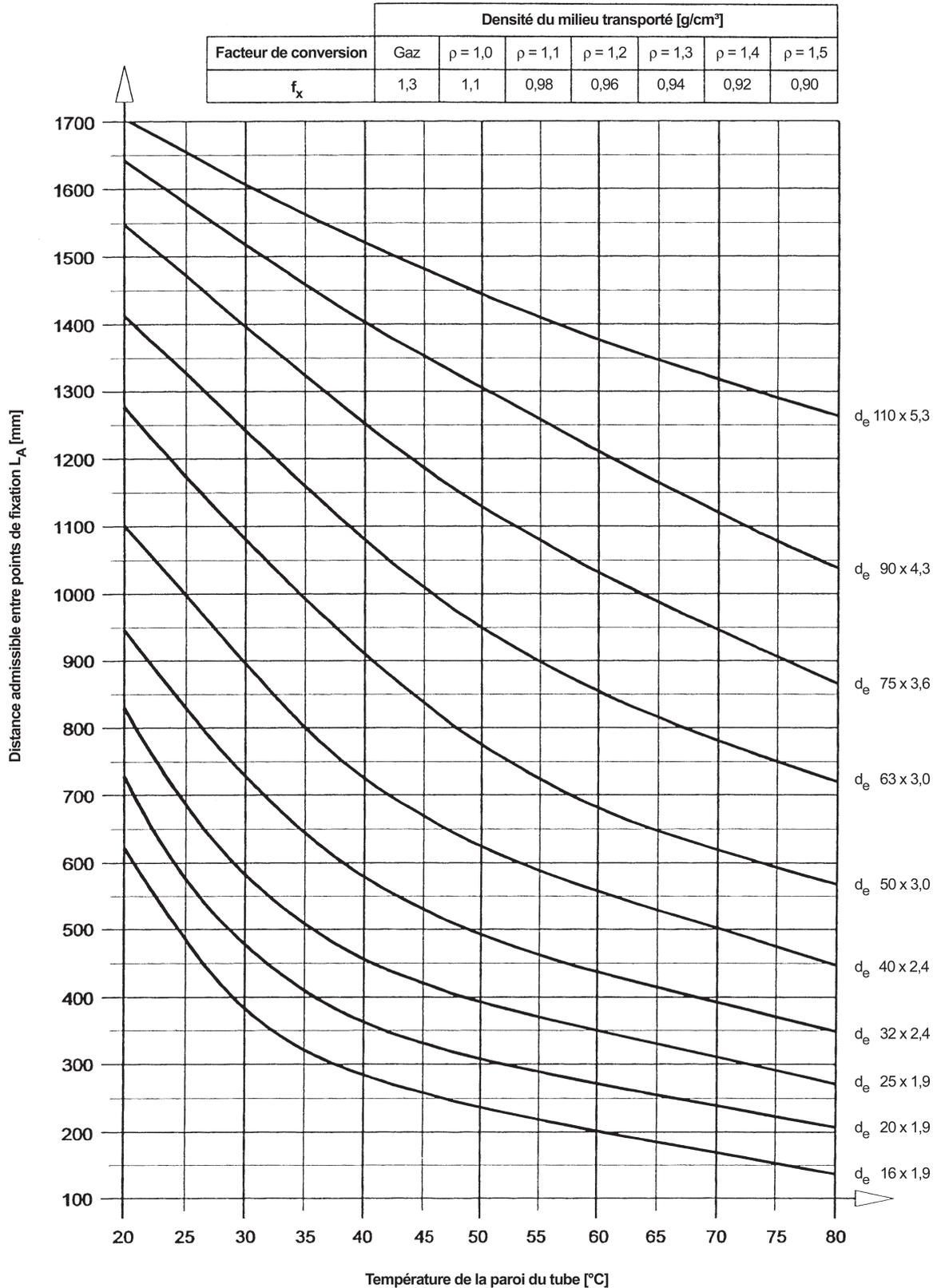


**Distances entre points de fixation
des tuyauteries en matière plastique
Matériau : PP-H/PP-R**

Facteur de conversion	Densité du milieu transporté [g/cm ³]						
	Gaz	$\rho = 1,0$	$\rho = 1,1$	$\rho = 1,2$	$\rho = 1,3$	$\rho = 1,4$	$\rho = 1,5$
f_x	1,3	1,1	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90

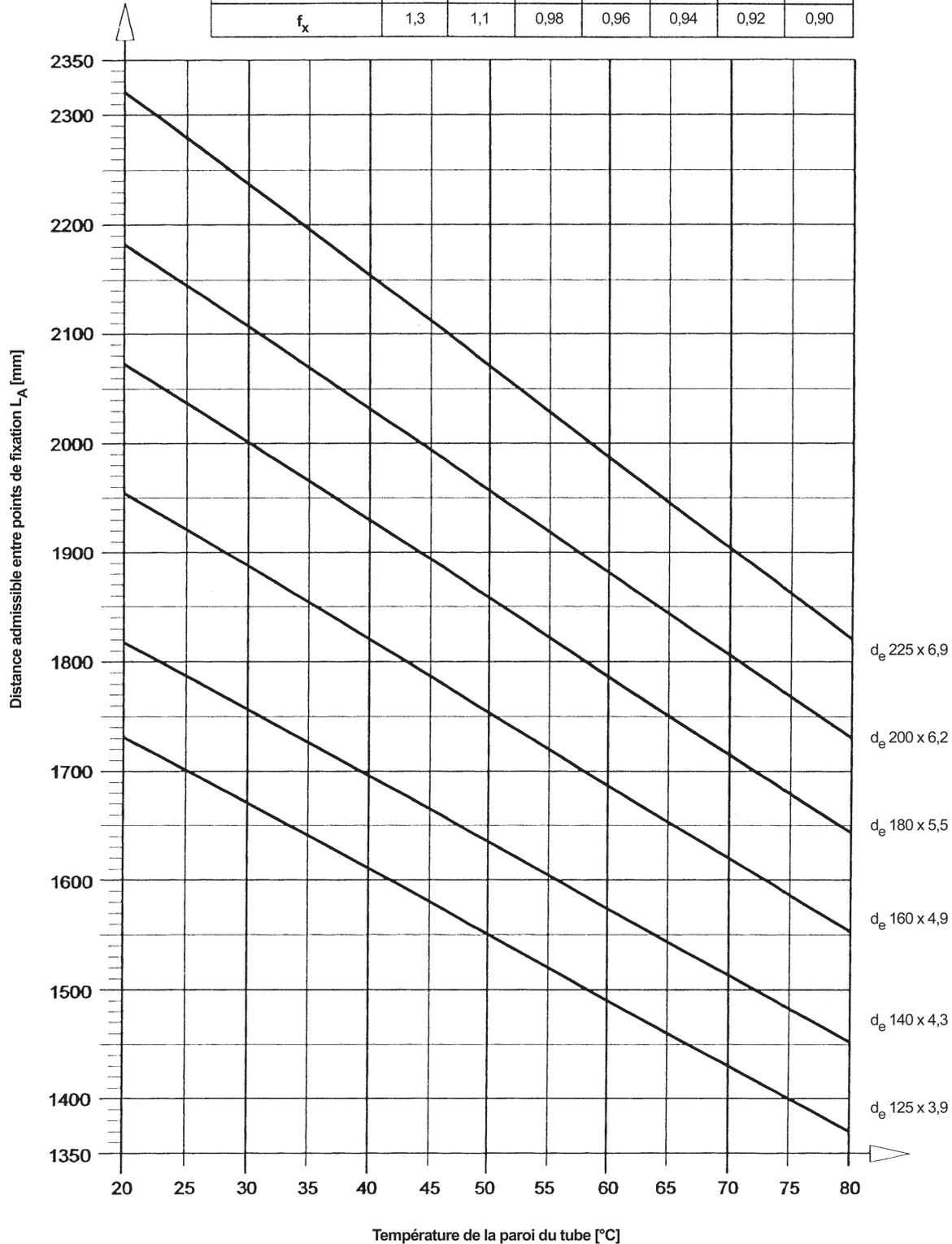


**Distances entre points de fixation
des tuyauteries en matière plastique
Matériau : PVDF, d_e 16 à 110**



**Distances entre points de fixation
des tuyauteries en matière plastique
Matériau : PVDF, d_e 125 à 225**

Facteur de conversion	Densité du milieu transporté [g/cm ³]						
	Gaz	$\rho = 1,0$	$\rho = 1,1$	$\rho = 1,2$	$\rho = 1,3$	$\rho = 1,4$	$\rho = 1,5$
f_x	1,3	1,1	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90



5.4 Essais

L'essai des tuyauteries en matière plastique aériennes ou enterrées incombe au poseur de tuyauterie (entreprise spécialisée).

Les essais seront conduits en conformité avec les règles générales du domaine de la technique de fabrication des tuyauteries applicables, ainsi qu'aux normes et aux directives associées (p. ex. les directives DVS).

5.4.1 Essais des tuyauteries en matière plastique sous pression

Ces essais seront conduits en conformité à la directive DVS 2210-1 et 2 (systèmes industriels de tuyauteries) et à la norme DIN EN 805/DVGW W-400-2 (systèmes d'alimentation en eau), sur la base d'un essai de résistance à la pression interne.

Les essais destructifs servent avant tout à démontrer les caractéristiques de résistance, par exemple des assemblages par soudage. Les essais de résistance à la pression interne sont généralement conduits sur le réseau de tuyauterie installé.

5.4.2 Essais des tuyauteries en matière plastique sans pression (tuyauteries à écoulement libre)

Les essais des tuyauteries en matière plastique destinées à être utilisées sans pression, comme par exemple les conduites enterrées d'évacuation des eaux usées, seront conduits en conformité avec les instructions d'essai et d'épreuve des conduites et canalisation d'eaux usées de la DIN EN 1610 (anciennement DIN 4033).

6 Soudage

6.1	Soudage	95
6.1.1	Soudage des tubes et des raccords en PE-HD, PP et PVDF	95
6.1.2	Polyfusion bout à bout par élément chauffant (HS)	96
6.1.3	Soudage par emboîtement par élément chauffant (HD)	99
6.1.4	Soudage par filament chauffant (HM)	101

6.1 Soudage

6.1.1 Soudage des tubes et des raccords en PE-HD, PP et PVDF

PE 80, PE 100, PE 100 RC, PE-EL

D'après les indications fournies par la DVS 2207-1, chapitre 1, édition d'août 1995, l'aptitude au soudage existe sur la plage d'indice de fluidité à chaud MFR 190/5 (précédemment MFI = Melt Flow Index) de 0,3 à 1,7 g/10 mm.

PP-H et PP-R

L'aptitude au soudage existe sur la plage d'indice de fluidité à chaud MFR 190/5 de 0,4 à 1,0 g/10 mm. On se reportera à la directive DVS 2207-11, édition de février 1999. Selon les mêmes paramètres, un soudage avec PP-H ou PP-R est par principe possible.

PVDF

L'aptitude au soudage existe sur la plage d'indice de fluidité à chaud MFR 230/5 de 0,1 à 25 g/mm (voir DVS 2207, partie 15).

Prescriptions générales

La région soudée doit être protégée contre les conditions climatiques défavorables (par exemple l'humidité, le vent, un rayonnement solaire excessif et les températures inférieures à +5°C).

Moyennant des dispositions adéquates pour maintenir la paroi du tube à une température uniforme et suffisante pour souder, le soudage peut être exécuté à une température ambiante quelconque. Les dispositions à prendre sont :

- préchauffer,
- abriter,
- chauffer.

Par temps ensoleillé, on équilibrera la température de la paroi d'un tube chauffé irrégulièrement en couvrant à temps la jointure. Pour éviter au tube de se refroidir sous l'effet du vent pendant le soudage, on obturera les extrémités libres du tube.

Procédés de soudage

Les procédés suivants ont démontré leur efficacité dans la pratique pour souder de manière indissociable les tubes et les raccords SIMONA® :

- polyfusion bout-à-bout par élément chauffant,
- soudage par emboîtement par élément chauffant,
- soudage par filament.

6.1.2 Polyfusion bout à bout par élément chauffant (HS)

Avant le soudage, les extrémités à souder des tubes sont portées à la température de soudage à l'aide d'un élément chauffant et, après retrait de l'élément chauffant, les surfaces plastifiées sont assemblées sous pression.

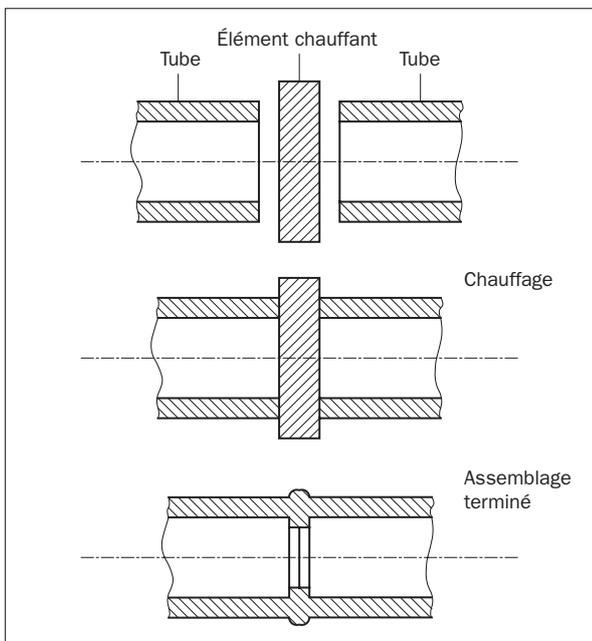


Figure 2: Polyfusion bout à bout par élément chauffant

Préparation de la soudure

Les raccords doivent être alignés avant de les fixer dans la machine de soudage. Les éléments à souder doivent pouvoir être déplacés longitudinalement, par exemple à l'aide de supports à rouleaux réglables.

Après fixation, on rabotera les surfaces à souder. Les éventuels copeaux tombés à l'intérieur des tubes seront éliminés à l'aide d'un outil propre. On ne touchera en aucun cas les surfaces à souder avec la main.

On contrôlera ensuite le parallélisme des surfaces à souder. Le jeu à laisser entre les surfaces à souder est indiqué dans le tableau 9. On vérifiera que le défaut d'alignement est inférieur à 10% de l'épaisseur de paroi. Le cas échéant, on égalisera par enlèvement les épaisseurs de paroi dans la région de la soudure.

Tableau 9: Jeu maximum avant soudage

Diamètre du tube	jeu maxi
≤ 355	0,5
400 à < 630	1,0
630 à < 800	1,3
800 à ≤ 1000	1,5

Exécution du soudage

L'élément chauffant porté à la température de soudage est inséré entre les parties à souder et les surfaces de soudage sont appuyées de part et d'autre de l'élément chauffant sous une pression adéquate.

La température est contrôlée à l'aide d'un thermomètre à affichage rapide.

La force à appliquer pour la préparation et l'assemblage peut être calculée à partir de la surface de soudage et de la pression spécifique. Généralement, les fabricants de soudeuses fournissent à cet égard des tableaux de valeurs car la plupart des appareils ne fonctionnent pas par mesure de force mais par un système hydraulique. La pression de déplacement de la pièce est à ajouter à la pression indiquée. Cette pression de déplacement dépend du frottement des composants de machine et du poids des tubes à souder.

Le soudage n'est achevé que lorsqu'un bourrelet selon les tableaux 10 à 12 s'est formé sur toute la circonférence des éléments à souder. La pression de serrage est quasi nulle au début de la phase de chauffage.

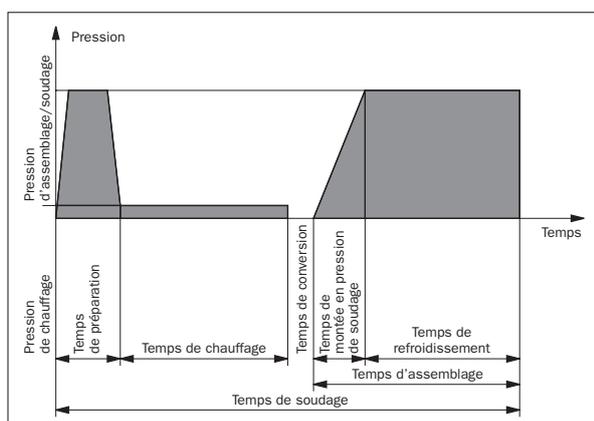


Figure 3: Étapes du procédé de polyfusion bout à bout par élément chauffant

Après chauffage, l'élément chauffant doit être dégagé des surfaces de joint sans les endommager ni les salir. Le temps nécessaire à détacher les surfaces de joint, à dégager l'élément chauffant et à mettre en contact les surfaces de joint, dit « temps de conversion », doit être le plus court possible.

Les surfaces à souder doivent entrer en contact réciproque à une vitesse quasi nulle. La pression doit ensuite être appliquée progressivement (voir tableaux 10 à 12) et maintenue jusqu'au refroidissement complet.

Le refroidissement brusque de la zone de soudure, par exemple à l'aide d'un produit de refroidissement, est à proscrire. Pour les fortes épaisseurs de paroi (à partir de 20mm environ), le recouvrement de la soudure pendant le refroidissement permet d'uniformiser celui-ci et d'améliorer ainsi la qualité du joint. En fin de soudage, un double bourrelet doit se présenter sur toute la circonférence du joint (voir fig. 4).

Le cas échéant, l'enlèvement du bourrelet sera effectué de préférence avant le refroidissement complet. L'enlèvement du bourrelet à froid risque d'induire des entailles qui, avec les matériaux fragiles comme le PVDF, risquent d'entraîner une rupture du matériau.

6

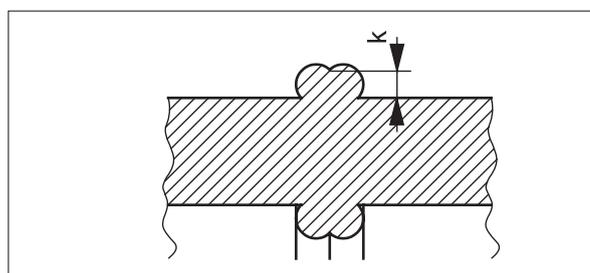


Figure 4: Configuration du bourrelet en polyfusion bout-à-bout par élément chauffant

SOUDAGE

Tableau 10 : Valeurs de référence pour la polyfusion bout à bout par élément chauffant des tubes et raccords en PE 80/PE 100/PE 100 RTC/PE-EL^①

Épaisseur de paroi mm	Préparation ^②	Chauffage ^③	Conversion	Assemblage ^④	
	Début du temps de chauffage mm	Temps de chauffage s	Temps de conversion s (valeur maxi)	Temps de montée en pression de soudage s	Temps de refroidissement min (valeur mini)
jusqu'à 4,5	0,5	45	5	5	6
4,5-7	1,0	45-70	5-6	5-6	6-10
7-12	1,5	70-120	6-8	6-8	10-16
12-19	2,0	120-190	8-10	8-11	16-24
19-26	2,5	190-260	10-12	11-14	24-32
26-37	3,0	260-370	12-16	14-19	32-45
37-50	3,5	370-500	16-20	19-25	45-60
50-70	4,0	500-700	20-25	25-35	60-80

① A une température extérieure d'env. 20°C et par vent modéré

② Hauteur de bourrelet à l'élément chauffant à la fin du temps de préparation (préparation < 0,15 N/mm²)

③ Température de l'élément chauffant 210 ± 10°C ; temps de préparation = 10 x épaisseur de paroi (chauffage ≤ 0,02 N/mm²)

④ Temps de refroidissement sous pression d'assemblage (p = 0,15 N/mm² ± 0,01)

Tableau 11 : Valeurs de référence pour la polyfusion bout à bout par élément chauffant des tubes et raccords en PP-H/PP-R^①

Épaisseur de paroi mm	Préparation ^②	Chauffage ^③	Conversion	Assemblage ^④	
	Début du temps de chauffage mm	Temps de chauffage s	Temps de conversion s (valeur maxi)	Temps de montée en pression de soudage s	Temps de refroidissement min (valeur mini)
jusqu'à 4,5	0,5	up to 135	5	6	6
4,5-7	0,5	135-175	5-6	6-7	6-12
7-12	1,0	175-245	6-7	7-11	12-20
12-19	1,0	245-330	7-9	11-17	20-30
19-26	1,5	330-400	9-11	17-22	30-40
26-37	2,0	400-485	11-14	22-32	40-55
37-50	2,5	485-560	14-17	32-43	55-70

① Selon la machine et les conditions de travail, ces valeurs de référence peuvent nécessiter une adaptation, notamment le temps de chauffage.
On contrôlera sur des éprouvettes.

② Température de l'élément chauffant 210 ± 10°C ; hauteur de bourrelet à l'élément chauffant à la fin du temps de préparation (préparation < 0,10 N/mm²)

③ Chauffage ≤ 0,02 N/mm²

④ Temps de refroidissement sous pression d'assemblage (p = 0,10 N/mm² ± 0,01)

Tableau 12 : Valeurs de référence pour la polyfusion bout à bout par élément chauffant des tubes et raccords en PVDF^①

Épaisseur de paroi mm	Préparation ^②	Chauffage ^③	Conversion	Assemblage ^④	
	Début du temps de chauffage mm	Temps de chauffage s	Temps de conversion s (valeur maxi)	Temps de montée en pression de soudage s	Temps de refroidissement min (valeur mini)
1,9-3,5	0,5	59-75	3	3-4	5-6
3,5-5,5	0,5	75-95	3	4-5	6-8,5
5,5-10,0	0,5-1,0	95-140	4	5-7	8,5-14
10,0-15,0	1,0-1,3	140-190	4	7-9	14-19
15,0-20,0	1,3-1,7	190-240	5	9-11	19-25
20,0-25,0	1,7-2,0	240-290	5	11-13	25-32

① Selon la machine et les conditions de travail, ces valeurs de référence peuvent nécessiter une adaptation, notamment le temps de chauffage.
On contrôlera sur des éprouvettes.

② Hauteur de bourrelet à l'élément chauffant à la fin du temps de préparation (préparation < 0,10 N/mm²)

③ Chauffage = 10 x épaisseur de paroi + 40 s (chauffage = 0,01 N/mm²)

④ Temps de refroidissement sous pression d'assemblage (p = 0,10 N/mm² ± 0,01), temps de refroidissement = 1,2 x épaisseur de paroi + 2 min.

6.1.3 Soudage par emboîtement par élément chauffant (HD)

Dans ce procédé de soudage, les tubes et raccords sont soudés avec recouvrement. A l'aide d'un élément chauffant mâle et femelle (ou du type ajustage et manchon), les deux surfaces de soudage sont portées à la température de soudage, puis assemblées. L'extrémité du tube, de l'élément chauffant et du manchon doivent être dimensionnés de manière à former un assemblage à force.

Les tubes de diamètre suivant :

- > 63 mm en PE 80, PE 100 et PP,
- > 50 mm en PVDF,

nécessitent un dispositif de soudage spécial.

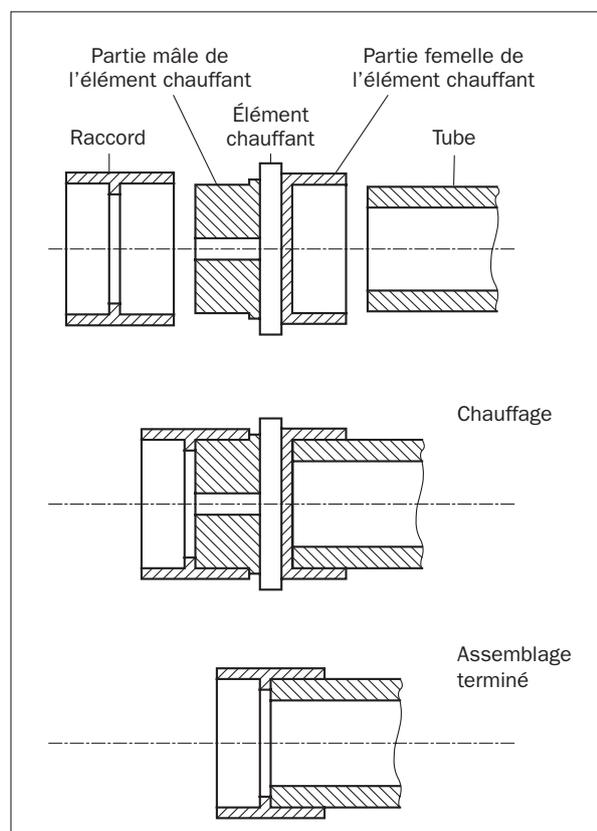


Figure 5: Soudage par emboîtement par élément chauffant

Préparation de la soudure

Les surfaces d'assemblage du tube seront préparées à l'aide d'un outil de décroûtage ou d'un grattoir.

L'intérieur du raccord sera soigneusement nettoyé à l'aide d'un produit de nettoyage (p. ex. de l'alcool) et d'un papier absorbant non pelucheux.

On chanfreinera l'extrémité du tube à 15° environ et :

- sur 2 mm de large jusqu'à 50 mm de diamètre,
- sur 3 mm de large pour les diamètres supérieurs.

On marquera ensuite la profondeur d'emboîtement dans l'outillage de chauffage.

Exécution du soudage

On chauffera l'outillage de chauffage à $260 \pm 10^\circ\text{C}$.

La température sera contrôlée à l'aide d'un thermomètre à affichage rapide. Pour la phase de chauffage, on emboîtera d'abord le raccord, puis le tube, jusqu'à la marque. Le chauffage sera appliqué aux éléments à souder pendant les durées indiquées aux tableaux 13 et 14.

A l'expiration du temps de chauffage, on désengagera de l'outillage de chauffage et, sans tourner, on poussera le raccord jusqu'à la marque et le tube jusqu'en butée. On maintiendra les éléments assemblés pendant une durée approximativement égale à la durée de chauffage.

SOUDAGE

Tableau 13 : Valeurs de référence pour le soudage par emboîtement par élément chauffant des tubes et raccords en PE-HD et PP^①

Tube d mm	Temps de chauffage		Temps de conversion maxi s	Temps de refroidissement	
	Tube PN 10 ^② s	Tube PN 6 ^③ s		en serrage s	total min
16	5		4	6	2
20	5		4	6	2
25	7	②	4	10	2
32	8	②	6	10	4
40	12	②	6	20	4
50	12	②	6	20	4
63	24	12 ^③	8	30	6
75	30	15	8	30	6
90	40	22	8	40	6
110	50	30	10	50	8
125	60	35	10	60	8

① A une température extérieure de l'ordre de 20 °C et par vent modéré

② Pour le PP ; déconseillé pour le PE-HD

③ Déconseillé du fait de la faible épaisseur de paroi

Tableau 14 : Valeurs de référence pour le soudage par emboîtement par élément chauffant des tubes et raccords en PVDF

Tube d mm	Temps de chauffage s	Temps de conversion maxi s	Temps de refroidissement	
			en serrage s	total min
16	4	4	6	2
20	6	4	6	2
25	8	4	6	2
32	10	4	12	4
40	12	4	12	4
50	18	4	12	4
63	20	6	18	6
75	22	6	18	6
90	25	6	18	6
110	30	6	24	8

6.1.4 Soudage par filament chauffant (HM)

Les surfaces d'assemblage, c'est-à-dire la surface du tube et l'intérieur du manchon, sont portés à la température de soudage et soudés par des fils de résistance (filament) noyés dans le manchon et parcourus d'un courant électrique.

Préparation de la soudure

Pour obtenir une soudure impeccable par ce procédé, il est essentiel que les surfaces à souder soient propres. La surface du tube doit être préparée au grattoir dans la région de la soudure. On ébavurera l'arête intérieure et on arrondira l'arête extérieure conformément à la figure 7. L'intérieur du raccord sera soigneusement nettoyé à l'aide d'un produit de nettoyage et d'un papier absorbant non pelucheux.

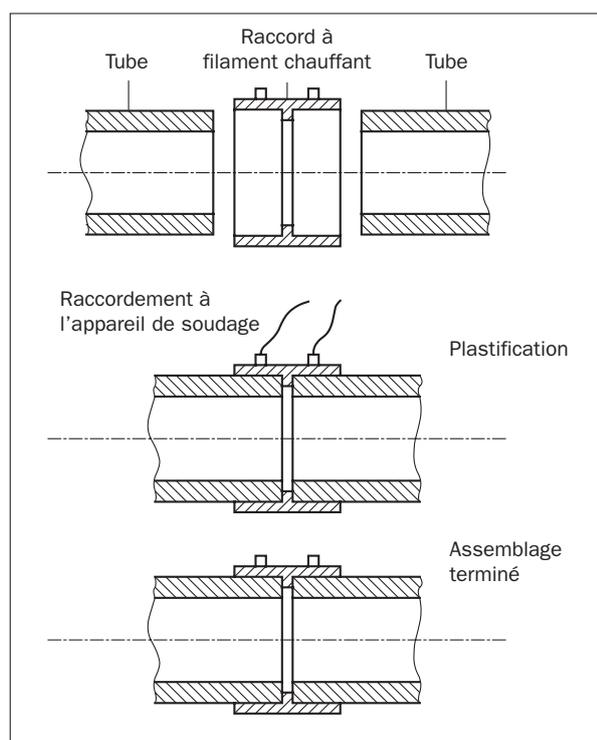


Figure 6: Soudage par filament chauffant

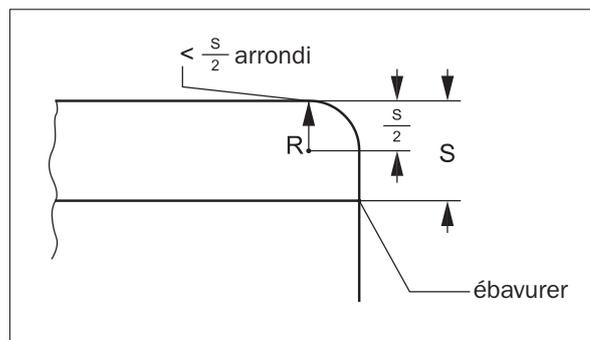


Figure 7: Préparation de l'extrémité des tubes

Dans la région de soudure, l'ovalisation du tube ne devra pas excéder 1,5% du diamètre extérieur. Dans le cas contraire, on utilisera des pinces de conformation appropriées.

Au moment d'emboîter le raccord, on veillera à ne pas décaler ni trop forcer les éléments à souder pour éviter de déplacer ou d'endommager le filament chauffant.

Exécution du soudage

On veillera à utiliser un appareil de soudage adapté au raccord utilisé. On règlera l'appareil de soudage conformément au diamètre et à la pression nominale du tube. L'appareil de soudage sera relié au raccord par des câbles d'alimentation. Le soudage proprement dit s'effectue automatiquement. Le joint de devra être manipulé qu'après refroidissement complet.

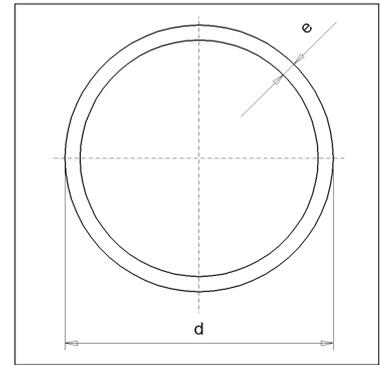
On se conformera en outre aux prescriptions des directives DVS applicables à ce procédé de soudage.

7 Affectation des diamètres nominaux

7.1	Diamètres nominaux PE-HD et PP	103
7.2	Corrélation entre SDR et PN	104

7.1 Diamètres nominaux PE-HD et PP

Diamètre nominal	Tube	SDR 41 PN 2,5	SDR 33 PN 3,2	SDR 26 PN 4	SDR 17 ^① PN 6	SDR 11 PN 10	SDR 9 PN 12,5 ^②	SDR 7,4 PN 16 ^②
DN	d mm	e mm	e mm	e mm	e mm	e mm	e mm	e mm
6	10							1,8
8	12							2,0
10	16						1,8	2,2
15	20					1,9	2,3	2,8
20	25					2,3	2,8	
20	32							4,4
25	32				1,8	2,9	3,6	
32	40			1,8	2,3	3,7	4,5	
32	50							6,9
40	50			2,0	2,9	4,6	5,6	
40	63							8,6
50	63	1,8	2,0	2,5	3,6	5,8	7,1	
50	75	1,9						10,3
65	75	1,9	2,3	2,9	4,3	6,8		
65	90						10,1	12,3
80	90	2,2	2,8	3,5	5,1	8,2		
80	110						12,3	15,1
100	110	2,7	3,4	4,2	6,3			
100	125					11,4	14,9	
100	140							19,2
125	125	3,1	3,9	4,8				
125	140	3,5	4,3	5,4	8,0			
125	160					14,6	17,8	
125	180							24,6
150	160	4,0	4,9	6,2				
150	180				10,2	16,4		
150	200						22,3	27,4
200	200	4,9	6,2					
200	225		6,9	8,6	12,8			
200	250					22,7	27,9	
200	280							38,3
250	250	6,2	7,7					
250	280		8,6	10,7	15,9			
250	315					28,6	35,2	
250	355							48,5
300	315	7,7	9,7	12,2				
300	355				20,1	32,2		
300	400						44,7	
350	355	8,7	10,9					
350	400			15,3	22,7			
350	450					40,9	50,3	
400	400	9,8						
400	450		13,8	17,2	25,5			
400	500					45,4		
450	450	11,0						
450	500		15,3	19,1	28,4	45,4		
500	500	12,2						
500	560		17,2	21,4	31,7			
500	630				35,7			
600	630	15,4	19,3	24,1				
600	710			27,2	40,2			
700	710	17,4	21,8					
800	800		24,5	30,6	45,3			
900	900		27,6	34,4				
1000	1000		30,6	38,2				



Cette liste recouvre toutes les possibilités de classification qui résultent des cotes normalisées. Le tableau ne reflète pas strictement notre programme de livraison pour toutes les combinaisons de cotes. Pour sélectionner un diamètre nominal, on tiendra compte le cas échéant des cotes des brides de raccordement.

7

① y compris SDR 17,6

② Les cotes normalisées et la DIN 8077 ne mentionnent pas PN12,5 (SDR 9).

7.2 Corrélation entre SDR et PN

	PE 80	PE 100	PE 80	PP-H AlphaPlus®	PP-R	PVDF	E-CTFE
Coefficient de sécurité C _s	1,25	1,25	1,6	1,6	1,25	2,0	2,5
SDR	PN ^①						
51	2,5	3,2					
41	3,2	4,0	2,5	3,1	3,9		
33	4,0	5,0	3,2	3,9	4,9	10,0	
26	5,0	6,3	4,0	5,0	6,2		
22	6,0	~ 7,6					
21	6,3	8,0	5,0			16,0	10,0
17,6	~ 7,6	~ 9,7	6,0	7,5	9,3		
17	8,0	10,0	6,3				
13,6	10,0	12,5	8,0				
11	12,5	16,0	10,0	12,5	15,5		
9	~ 16,0	20,0	12,5				
7,4	20,0	25,0	~ 16,0	19,8	24,5		
6	25,0						

① La PN indiquée s'applique pour l'eau à 20 °C et une durée de service de 50 ans.
Selon le type de tubes et raccords soudés, des coefficients d'atténuation sont possibles.

Remarque :

Pour les raccords en PE 100, vous trouverez parfois l'indication SDR 17/17,6. Pour ces produits, la fabrication a lieu dans la plage de tolérance recoupant SDR 17 et SDR 17,6. Ces raccords peuvent donc être assemblés à des éléments en SDR 17 ou SDR 17,6, à la fois par polyfusion bout-à-bout par élément chauffant que par soudage par filament chauffant (avec branches longues).

8 Tolérances

8.1	Tolérances des tubes en PE-HD (PE 80, PE 100) et PP	107
8.1.1	Tolérance d'épaisseur de paroi	107
8.1.2	Tolérance de diamètre extérieur moyen	108
8.1.3	Tolérance de longueur	108
8.1.4	Tolérance d'ovalité	109

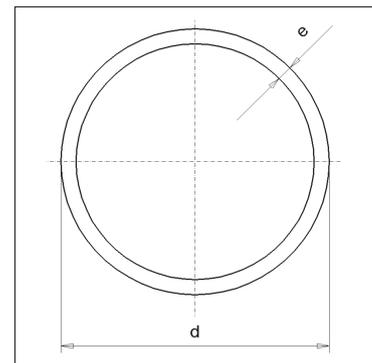
8.2	Tolérances des tubes en PVDF	110
8.2.1	Tolérance d'épaisseur de paroi	110
8.2.2	Tolérance de diamètre extérieur moyen	110
8.2.3	Tolérance de longueur	110

8.1 Tolérances des tubes en PE-HD (PE 80, PE 100) et PP

8.1.1 Tolérance d'épaisseur de paroi

Tolérance d'épaisseur de paroi	
Épaisseur de paroi	Tolérance maxi ^①
e mm	+... 0
≤ 2	0,4
> 2 ≤ 3	0,5
> 3 ≤ 4	0,6
> 4 ≤ 5	0,7
> 5 ≤ 6	0,8
> 6 ≤ 7	0,9
> 7 ≤ 8	1,0
> 8 ≤ 9	1,1
> 9 ≤ 10	1,2
> 10 ≤ 11	1,3
> 11 ≤ 12	1,4
> 12 ≤ 13	1,5
> 13 ≤ 14	1,6
> 14 ≤ 15	1,7
> 15 ≤ 16	1,8
> 16 ≤ 17	1,9
> 17 ≤ 18	2,0
> 18 ≤ 19	2,1
> 19 ≤ 20	2,2
> 20 ≤ 21	2,3
> 21 ≤ 22	2,4
> 22 ≤ 23	2,5
> 23 ≤ 24	2,6
> 24 ≤ 25	2,7
> 25 ≤ 26	2,8
> 26 ≤ 27	2,9
> 27 ≤ 28	3,0
> 28 ≤ 29	3,1
> 29 ≤ 30	3,2
> 30 ≤ 31	3,3
> 31 ≤ 32	3,4
> 32 ≤ 33	3,5
> 33 ≤ 34	3,6
> 34 ≤ 35	3,7
> 35 ≤ 36	3,8
> 36 ≤ 37	3,9
> 37 ≤ 38	4,0
> 38 ≤ 39	4,1
> 39 ≤ 40	4,2

Tolérance d'épaisseur de paroi	
Épaisseur de paroi	Tolérance maxi ^①
e mm	+... 0
> 40 ≤ 41	4,3
> 41 ≤ 42	4,4
> 42 ≤ 43	4,5
> 43 ≤ 44	4,6
> 44 ≤ 45	4,7
> 45 ≤ 46	4,8
> 46 ≤ 47	4,9
> 47 ≤ 48	5,0
> 48 ≤ 49	5,1
> 49 ≤ 50	5,2
> 50 ≤ 51	5,3
> 51 ≤ 52	5,4
> 52 ≤ 53	5,5
> 53 ≤ 54	5,6
> 54 ≤ 55	5,7
> 55 ≤ 56	5,8
> 56 ≤ 57	5,9
> 57 ≤ 58	6,0
> 58 ≤ 59	6,1
> 59 ≤ 60	6,2
> 60 ≤ 61	6,3
> 61 ≤ 62	6,4
> 62 ≤ 63	6,5
> 63 ≤ 64	6,6
> 64 ≤ 65	6,7
> 65 ≤ 66	6,8
> 66 ≤ 67	6,9
> 67 ≤ 68	7,0
> 68 ≤ 69	7,1
> 69 ≤ 70	7,2



① Les valeurs indiquées sont calculées selon l'égalité : Tolérance maxi d'épaisseur de paroi = 0,1 e + 0,2 mm, arrondi au 1/10^{ème} de mm. Les écarts admissibles d'épaisseur de paroi sont de +0,2 e pour e ≤ 10 mm, et +0,15 e pour e > 10 mm. La valeur moyenne mesurée doit se situer en deçà de la tolérance maxi.

TOLÉRANCES

8.1.2 Tolérance de diamètre extérieur moyen

Tolérance de diamètre extérieur moyen

Diamètre extérieur	Tolérance maxi ^{①②}
d_n mm	+... 0
10–32	0,3 (0,3)
40	0,4 (0,3)
50	0,5 (0,3)
63	0,6 (0,4)
75	0,7 (0,5)
90	0,9 (0,6)
110	1,0 (0,7)
125	1,2 (0,8)
140	1,3 (0,9)
160	1,5 (1,0)
180	1,7 (1,1)
200	1,8 (1,2)
225	2,1 (1,4)
250	2,3 (1,5)
280	2,6 (1,7)
315	2,9 (1,9)
355	3,2 (2,2)
400	3,6 (2,4)
450	3,8 (2,7)
500	4,0 (3,0)
560	4,3 (3,4)
630	4,6 (3,8)
710	4,9
800	5,0
1000	5,0

① Les valeurs de tolérance maxi indiquées sont calculées comme suit :

- pour $d \leq 400$ mm : +0,009 d, arrondi au $1/10^{\text{ème}}$ de mm ; mini 0,3 mm
- pour $d = 450$ à 710 mm : +0,004 d + 2 mm, arrondi au $1/10^{\text{ème}}$ de mm
- pour $d = 800$ à 1.000 mm : +5,0 mm
- pour $d = 1.200$ à 1.600 mm : +6,0 mm

② Les cotes entre parenthèses sont les tolérances maxi de diamètre extérieur moyen pour le soudage par filament chauffant : +0,006 d, arrondi au $1/10^{\text{ème}}$ de mm ; mini 0,3 mm

8.1.3 Tolérance de longueur

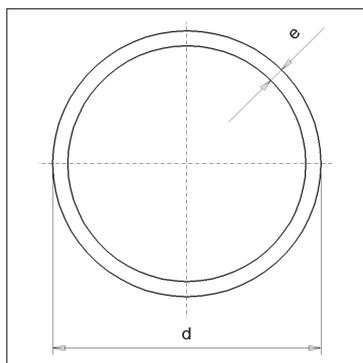
Tolérance de longueur

Longueur	Écart admissible
en couronnes	+ 1 % 0 %
jusqu'à 12 m	± 10 mm

8.1.4 Tolérance d'ovalité

Tolérance de diamètre extérieure^①

d mm	Tubes droits	Couronnes
10	1,1	1,0
12	1,1	1,0
16	1,2	1,0
20	1,2	1,2
25	1,2	1,5
32	1,3	2,0
40	1,4	2,4
50	1,4	3,0
63	1,6	3,8
75	1,6	
90	1,8	
110	2,2	
125	2,5	
140	2,8	
160	3,2	
180	3,6	
200	4,0	
225	4,5	
250	5,0	
280	9,8	
315	11,1	
355	12,5	
400	14,0	
450	15,8	
500	17,5	
560	19,6	
630	22,1	
710	24,9	
800	28,0	
1000	25,0	



- ① Les valeurs indiquées sont calculées selon l'égalité : Tolérance maxi d'ovalité des tubes de SDR 17,6
- tubes droits : $d \leq 75$ mm :
 $0,008 \times d + 1$ mm, arrondi au $1/10^{\text{ème}}$ de mm
 - $d \geq 90$ mm et ≤ 250 mm :
 $0,02 d$, arrondi au $1/10^{\text{ème}}$ de mm
 - $d > 250$ mm : $0,035 \times d$, arrondi au $1/10^{\text{ème}}$ de mm
 - couronnes $d \leq 63$ mm :
 $0,06 d$, arrondi au $1/10^{\text{ème}}$ de mm ;
mini 1,0 mm
 - couronnes $d \geq 75$ mm : à préciser dans les conditions de livraison (données selon DIN 8074/8077).

8.2 Tolérances des tubes en PVDF (selon ISO 10931-2)

8.2.1 Tolérance d'épaisseur de paroi

Tolérance d'épaisseur de paroi

Épaisseur de paroi	Tolérance maxi ^①
e mm	+... 0
1,5–2,0	0,4
2,0–3,0	0,5
3,1–4,0	0,6
4,0–5,0	0,7
5,1–6,0	0,8
6,1–7,0	0,9

① Les valeurs indiquées sont calculées selon l'égalité : Tolérance maxi d'épaisseur de paroi = $0,1 e + 0,2$ mm, arrondi au $1/10^{\text{ème}}$ de mm. Les écarts admissibles d'épaisseur de paroi sont de +0,2 e pour $e \leq 10$ mm, et +0,15 e pour $e > 10$ mm. La valeur moyenne mesurée doit se situer en deçà de la tolérance maxi.

8.2.2 Tolérance de diamètre extérieur moyen

Tolérance de diamètre extérieur moyen

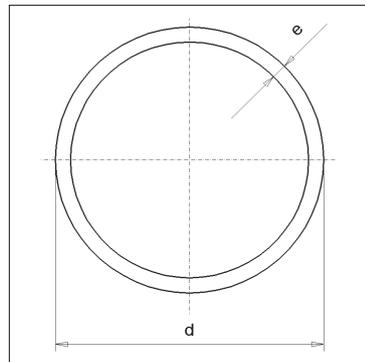
Épaisseur de paroi	Tolérance maxi ^②
d_n mm	+... 0
5–50	0,3
63–90	0,4
110	0,5
125	0,6
140	0,8
160	1,0
180	1,1
200	1,2
225	1,4
250	1,6
280	1,8
315	2,0

② Les tolérances maxis sont extraites de l'ISO 10931-2.

8.2.3 Tolérance de longueur

Tolérance de longueur

Longueur	Écart admissible
en couronnes	+1% 0%
jusqu'à 6 m	± 10 mm



9 Unités de mesure du Système International (SI)

9.1	Unités de mesure du Système International (SI)	113
9.2	Unités de mesure	114
9.3	Correspondances entre les unités anglo-américaines et les unités métriques	116

9.1 Unités de mesure du Système International (SI)

Nous avons regroupé dans le tableau ci-dessous les principales unités de mesure internationales en vigueur. Nous y avons également inclus les désignations encore tolérées, ainsi que les facteurs de conversion par rapport aux anciennes unités dont l'usage est abandonné.

Pour une meilleure lisibilité, il est utile d'utiliser des multiples et des sous-multiples décimaux des unités. Ceux-ci sont exprimés par des préfixes accolés à l'unité considérée. Enfin, nous avons inclus des tableaux de correspondance entre les unités métriques et les unités anglo-américaines.

Unités de mesure du Système international (SI)

Grandeur	Unité officielle = Unité SI	Unité tolérée	Conversion des anciennes unités
Masse			
par unité de longueur	kg/m		
par unité de surface	kg/m ²		
par unité de volume	kg/m ³	1 g/cm ³ = 10 ³ kg/m ³	
Temps			
Vitesse	m/s	1 km/h = $\frac{1}{3,6}$ m/s	
Débit volumique	m ³ /s	1 m ³ /s = 3600 m ³ /h	
Débit pondéral	kg/s	1 kg/s = 3,6 t/h	
Force, énergie, puissance			
Force	N	1 N = 1 kg m/s ²	1 kp = 9,8 N ≈ 10 N
Pression	N/m ²	1 N/mm ² = 10 ⁶ N/m ²	1 kp/cm ² ~ 0,1 N/mm ²
		1 Pa = 1 N/m ²	
		1 bar = 10 ⁵ N/m ²	1 bar = 1,02 at
		= 0,1 N/mm ²	= 0,987 atm
		= 10 ⁵ Pa	= 750 Torr
		= 10 ³ mbar	= 1,02 kp/cm ²
			= 10 m CE
			1 mbar = 10 mm CE
Contrainte	N/m ²	1 N/mm ² = 1 MPa	
		= 10 ⁶ N/m ²	
Énergie, travail	J	1 J = 1 Nm	1 kpcm = 10,2 J
		= 1 Ws	1 kcal = 4,184 KJ
		1 kWh = 3,6 MJ	
Puissance	W	1 W = 1 J/s	1 PS = 0,7353 kW
		= 1 Nm/s	1 kpm/s = 9,8 W
		= 1 VA	1 cal/s = 4,184 W
Énergie de choc	Nm		1 kpcm ~ 0,1 Nm
			~ 100 Nmm
Résilience	J/m ²	1 kJ/m ² = $\frac{\text{Nmm}}{\text{mm}^2}$	1 kpcm/cm ² ~ 1 kJ/m ²
Chaleur			
Température	K	1 K = °C - 273,15	
Coefficient de dilatation linéaire	1/K	1/K = 1/°C	$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{°C}} = 1,163 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$
Conductivité thermique	$\frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$		$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{°C}} = 1,163 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$
Transfert thermique	$\frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}^2}$		
Rayonnement			
Dose absorbée	J/kg		1 rd = 0,01 J/kg 1 Mrad = 10 ⁶ rd = 10 ⁴ J/kg

9.2 Unités de mesure

Expression des multiples et sous-multiples des unités

Multiples	Puissance de 10	Préfixe	Symbole	Sous-multiples	Puissance de 10	Préfixe	Symbole
10	10^1	déca	da	1 : 10	10^{-1}	déci	d
100	10^2	hecto	h	1 : 100	10^{-2}	centi	c
1000	10^3	kilo	k	1 : 1000 = 0,001	10^{-3}	milli	m
1 million	10^6	méga	M	1 : 1 million	10^{-6}	micro	μ
1 milliard	10^9	giga	G	1 : 1 milliard (1 : 1 billion)	10^{-9}	nano	n
1 billion	10^{12}	téra	T	1 : 1 billion (1 : 1 trillion)	10^{-12}	pico	p
1illiard	10^{15}	péta	P	1 : 1illiard (1 : 1 quadrillion)	10^{-15}	femto	f
1 trillion	10^{18}	exa	E	1 : 1 trillion (1 : 1 quintillion)	10^{-18}	atto	a

Unités de longueur

	m	μm	mm	cm	dm	km
1 m	1	10^6	10^3	10^2	10	10^{-3}
1 μm	10^{-6}	1	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-9}
1 mm	10^{-3}	10^3	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-6}
1 cm	10^{-2}	10^4	10	1	10^{-1}	10^{-5}
1 dm	10^{-1}	10^5	10^2	10	1	10^{-4}
1 km	10^3	10^9	10^6	10^5	10^4	1

Unités de longueur

	mm	μm	nm	[Å]	pm	[mÅ]
1 mm	1	10^3	10^6	10^7	10^9	10^{10}
1 μm	10^{-3}	1	10^3	10^4	10^6	10^7
1 nm	10^{-6}	10^{-3}	1	10	10^3	10^4
[1 Å]	10^{-7}	10^{-4}	10^{-1}	1	10^2	10^3
1 pm	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	1	10
[1 mÅ]	10^{-10}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-1}	1

Å = Ångström ; 1 mÅ = 1 XE = 1 X-unité

Unités de surface

	m ²	μm^2	mm ²	cm ²	dm ²	km ²
1 m ²	1	10^{12}	10^6	10^4	10^2	10^{-6}
1 μm^2	10^{-12}	1	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-18}
1 mm ²	10^{-6}	10^6	1	10^{-2}	10^{-4}	10^{-12}
1 cm ²	10^{-4}	10^8	10^2	1	10^{-2}	10^{-10}
1 dm ²	10^{-2}	10^{10}	10^4	10^2	1	10^{-8}
1 km ²	10^6	10^{18}	10^{12}	10^{10}	10^8	1

Unités de volume

	m³	mm³	cm³	dm³ ①	km³
1 m ³	1	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10 ³
1 mm ³	10 ⁻⁹	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
1 cm ³	10 ⁻⁶	10 ³	1	10 ⁻³	10 ⁻³
1 dm ³	10 ⁻³	10 ⁶	10 ³	1	10 ⁻¹²
1 km ³	10 ⁹	10 ¹⁸	10 ¹⁵	10 ¹²	1

① 1 dm³ = 1 l = 1 litre

Unités de masse

	kg	mg	g	dt	t = Mg
1 kg	1	10 ⁶	10 ³	10 ⁻²	10 ⁻³
1 mg	10 ⁻⁶	1	10 ⁻³	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
1 g	10 ⁻³	10 ³	1	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
1 dt	10 ²	10 ⁸	10 ⁵	1	10 ⁻¹
1 t = 1 Mg	10 ³	10 ⁹	10 ⁶	10	1

Unités de force (de poids)

	N ①	kN	MN	[kp]	[dyn]
1 N	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,102	10
1 kN	10 ³	1	10 ⁻³	0,102 · 10 ³	10 ⁸
1 MN	10 ⁶	10 ³	1	0,102 · 10 ⁶	10 ¹¹

① 1 N = 1 kg m/s² = 1 Newton

Unités de pression

	Pa	N/mm²	bar	[kp/cm²]	[Torr]
1 Pa = 1 N/m ²	1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	1,02 · 10	0,0075
1 N/mm ²	10 ⁶	1	10	10,2	7,5 · 10 ³
1 bar	10 ⁵	0,1	1	1,02	750
[1 kp/cm ² = 1 at]	98.100	9,81 · 10 ⁻²	0,981	1	736
[1 Torr] ¹⁾	133	0,133 · 10 ⁻³	1,33 · 10 ⁻³	1,36 · 10	1

Unités de température (conversion Kelvin, Rankine, Celsius, Fahrenheit)

$$T = \left(\frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 273,15 \right) \text{K} = \frac{5}{9} \cdot \frac{T_{\text{R}}}{\text{Rank}} \text{K}$$

T = température Kelvin

$$T_{\text{R}} = \left(\frac{t_{\text{F}}}{^{\circ}\text{F}} + 459,67 \right) \text{Rank} = \frac{9}{5} \cdot \frac{T}{\text{K}} \text{Rank}$$

T_R = température Rankine

$$t = \frac{5}{9} \left(\frac{t_{\text{F}}}{^{\circ}\text{F}} - 32 \right) ^{\circ}\text{C} = \left(\frac{T}{\text{K}} - 273,15 \right) ^{\circ}\text{C}$$

t = température Celsius

$$t_{\text{F}} = \left(\frac{9}{5} \cdot \frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 32 \right) ^{\circ}\text{F} = \left(\frac{T_{\text{R}}}{\text{Rank}} - 459,67 \right) ^{\circ}\text{F}$$

t_F = température Fahrenheit

9.3 Correspondance entre les unités anglo-américaines et les unités métriques

Unités de longueur

	in	ft	yd	mm	m	km
1 in	1	0,08333	0,02778	25,4	0,0254	–
1 ft	12	1	0,3333	304,8	0,3048	–
1 yd	36	3	1	914,4	0,9144	–
1 mm	0,03937	$3,281 \cdot 10^{-6}$	$1,094 \cdot 10^{-6}$	1	0,001	10^{-6}
1 m	39,37	3,281	1,094	1.000	1	0,001
1 km	39.370	3.281	1.094	10^6	1.000	1

Unités de surface

	sq in	sq ft	sq yd	cm ²	dm ²	m ²
1 sq in	1	$6,944 \cdot 10^{-3}$	$0,772 \cdot 10^{-3}$	6,452	0,06452	$64,5 \cdot 10^{-5}$
1 sq ft	144	1	0,1111	929	9,29	0,0929
1 sq yd	1 296	9	1	8.361	83,61	0,8361
1 cm ²	0,155	$1,076 \cdot 10^{-3}$	$1,197 \cdot 10^{-4}$	1	0,01	0,0001
1 dm ²	15,5	0,1076	0,01196	100	1	0,01
1 m ²	1.550	10,76	1,196	10.000	100	1

Unités de volume

	cu in	cu ft	cu yd	cm ³	dm ³	m ³
1 cu in	1	$5,786 \cdot 10^{-4}$	$2,144 \cdot 10^{-5}$	16,39	0,01639	$1,64 \cdot 10^{-5}$
1 cu ft	1.728	1	0,037	28.316	28,32	0,0283
1 cu yd	46.656	27	1	764.555	764,55	0,7646
1 cm ³	0,06102	$3,532 \cdot 10^{-8}$	$1,31 \cdot 10^{-6}$	1	0,001	10^{-6}
1 dm ³	61,02	0,03532	0,00131	1.000	1	0,001
1 m ³	61.023	35,32	1,307	10^6	1.000	1

Unités de masse

	dram	oz	lb	g	kg	Mg
1 dram	1	0,0625	0,003906	1,772	0,00177	$1,77 \cdot 10^{-6}$
1 oz	16	1	0,0625	28,35	0,02832	$28,3 \cdot 10^{-6}$
1 lb	256	16	1	453,6	0,4531	$4,53 \cdot 10^{-4}$
1 g	0,5643	0,03527	0,002205	1	0,001	10^{-6}
1 kg	564,3	35,27	2,205	1.000	1	0,001
1 Mg	$564,4 \cdot 10^3$	35.270	2.205	10^6	1.000	1

Autres unités

1 mil = 10^{-3} in	= 0,0254 mm
1 sq mil = 10^{-6} sq in	= 645,2 μm^2
1 mille anglais	= 1609 m
1 mille marin international	= 1852 m
1 mille géographique	= 7420 m
1 rod, pole ou perch = 5,5 yd	= 5,092 m
1 sq chain = 16 sq rods	= 404,7 m^2
1 Imp. gallon (Imperial gallon)	= 4,546 dm^3
1 US. gallon (United States gallon)	= 3,785 dm^3
1 stone (GB) = 14 lb	= 6,35 kg
1 short quarter (US)	= 11,34 kg
1 long quarter (GB, US)	= 12,70 kg
1 short cwt (US) = 4 short quarter	= 45,36 kg
1 long cwt (GB, US) = 4 long quarter	= 50,80 kg
1 short ton (US)	= 0,9072 Mg
1 Btu/cu ft	= 9,547 kcal/m^3 = 39.964 N m/m^3
1 Btu/lb	= 0,556 kcal/kg = 2.327 N m/kg
1 lb/sq ft	= 4,882 kp/m^2 = 47,8924 N/m^2
1 lb/sq in (= 1 psi)	= 0,0703 kp/cm^2 = 0,6896 N/cm^2

10 Explications

[1]	Détermination du module d'élasticité ou du module de fluage admissible	119
[2]	Détermination de la contrainte admissible	119
[3]	Cas d'une surpression interne	120
[4]	Cas d'une dépression interne ou d'une surpression externe	121
[5]	Contrôle de la surpression de service admissible p_{adm} d'un coude de dilatation en L en PE 80	124
[6]	Détermination des efforts aux points de fixation d'une tuyauterie en matière plastique encastrée longitudinalement	125
[7]	Effet de l'épreuve de pression interne	126
[8]	Détermination de la distance admissible entre les points de fixation d'une tuyauterie en thermoplastique	128

[1] Détermination du module d'élasticité ou du module de fluage admissible

La bonne utilisation de la formule est expliquée sur la base de l'exemple ci-dessous.

Soit : Une tuyauterie en PP-H

Température de service : $T_s = 50\text{ °C}$

Durée de service de calcul : $D = 25$ ans

Milieu en écoulement : Eaux usées, sans substances dangereuses pour le tube

Coefficient de réduction du milieu en écoulement :

$A_2 = 1,0$ (p. ex. d'après SIMONA® SIMCHEM)

Coefficient de sécurité : $C_s = 1,1$

A partir de ces valeurs numériques, le module de fluage pour la durée de service donnée peut être calculé comme suit :

Le diagramme SIMONA du chap. 3.2 donne, pour une durée de service de 25 ans et une température de service $T_s = 50\text{ °C}$, un module de fluage $E_c = 210\text{ N/mm}^2$. On en déduit le module de fluage admissible (modules d'élasticité à long terme) par :

$$E_{c(LT)} \text{ adm} = \frac{210}{1,0 \cdot 1,1} = 191\text{ N/mm}^2$$

Le module de fluage ainsi déterminé sert exclusivement à calculer les **déformations à long terme**, comme p. ex. le fléchissement d'une tuyauterie entre deux points d'appui.

[2] Détermination de la contrainte admissible

Exemple d'application de la formule en liaison avec les courbes de durée de service :

Soit : Une tuyauterie en PP-H

Procédé d'assemblage : Polyfusion bout-à-bout par élément chauffant

Température de service : $T_s = 20$ à 50 °C

Milieu en écoulement : Eaux usées, sans substances dangereuses pour le tube

Coefficient de réduction du milieu en écoulement :

$A_2 = 1,0$ (DVS 2205-1, tableau 10.4)

Résilience du matériau :

$A_4 = 1,0$ (DVS 2205-1, tableau 2)

Coefficient de joint à long terme :

$f_s = 0,8$ (DVS 2205-1, tableau 3)

Coefficient de sécurité : $C_s = 1,6$ ^① (DIN 8077, tableau 2, resp. DVS 2205-1, tableau 4)

^① Pour les tuyauteries soumises à des contraintes thermiques alternées et transportant des produits sans substances dangereuses, on utilise le coefficient de sécurité $C_s = 1,6$. Pour une température de service constante $T_s = 50\text{ °C}$, on peut utiliser $C_s = 1,4$ d'après la DIN 8077.

A partir de ces valeurs numériques, la contrainte circonférentielle et la contrainte longitudinale admissibles peuvent être calculées comme suit :

Pour une durée de service minimale de 25 ans et une température de service $T_s = 50\text{ °C}$, le diagramme SIMONA du chap. 2.3 donne une contrainte de référence $\sigma_v = 6,10\text{ N/mm}^2$.

D'où la contrainte circonférentielle admissible :

$$\sigma_{(u)} \text{ adm} = \frac{6,10}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6} = 3,81\text{ N/mm}^2$$

EXPLICATIONS

La contrainte longitudinale admissible, inférieure du fait du coefficient de joint, s'obtient par :

$$\sigma_{(u)} \text{ adm} = \frac{6,10 \cdot 0,8}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6} = 3,05 \text{ N/mm}^2$$

Ces deux valeurs de contrainte permettent d'effectuer tous les calculs de résistance de la tuyauterie de l'exemple. Pour une autre tuyauterie devant fonctionner dans les mêmes conditions, mais à une température de service différente, les contraintes admissibles devront être recalculées pour cette nouvelle température. Le dimensionnement d'un tube soumis à une pression interne sera traité au chapitre 4.2.3.

Pour la pression interne admissible en fonction de la température et de la durée de service, on se reportera à la DIN 8074 pour les tubes en PE-HD, et à la DIN 8077 pour les tubes en PP. En complément, on utilisera les diagrammes SIMONA du chapitre 4.2.3 qui décrivent le profil de la pression interne admissible en fonction de la température de service pour une durée de service normale de 25 ans.

[3] Cas d'une surpression interne

Exemple d'application des diagrammes SIMONA de pression admissible des tuyauteries en thermoplastique :

Soit : Une tuyauterie en PP-H

Dimensions de tube : $d_e = 280 \text{ mm}$, $e = 16,6 \text{ mm}$

Température de service minimale : $T_s \text{ mini} = 20^\circ\text{C}$

Température de service maximale : $T_s \text{ maxi} = 50^\circ\text{C}$

Surpression de service : $p_s = 4 \text{ bars}$

Milieu en écoulement : Eaux usées, sans substances dangereuses pour le tube ; $A_2 = 1,0$

Sécurité de fonctionnement : Considérant qu'il s'agit d'une conduite d'eaux usées soumise à sollicitation thermique mais ne transportant aucune substance dangereuse, le coefficient de sécurité C_s a été choisi égal à 1,25.

Problématique : Évaluer de la sécurité de fonctionnement de la tuyauterie dans les conditions indiquées.

Matériau de tube : Le PP-H a été choisi en raison de sa résistance à température élevée. Le diagramme SIMONA du PP-H comporte les courbes des coefficients de sécurité $C_s = 1,6$; 1,4 et 1,25. La norme fondamentale de tube DIN 8078 introduit une distinction au niveau du coefficient de sécurité qui tient compte de la plus faible résilience du PP-H aux températures $< 40^\circ\text{C}$ par rapport au PP-R.

Il en résulte un échelonnement de la pression interne admissible en fonction de la température de service comme suit :

$T_s = 10$ jusqu'à 40°C , $T_s > 40^\circ\text{C}$ jusqu'à 60°C et $T_s = 60$ à 80°C . Pour l'application considérée, $C_s = 1,4$. L'hypothèse choisie $C_s = 1,25$ doit donc être corrigée.

Valeur SDR : Le diagramme SIMONA doit être utilisé en fonction de la valeur SDR qui représente le rapport entre le diamètre et l'épaisseur de paroi. Plus la paroi est épaisse, plus faible est la valeur SDR, et vice-versa. Ici, la valeur $\text{SDR} = 17$ recouvre la pression admissible des tubes de $\text{SDR} 17,6$.

Pression nominale : Le tube de SDR 17 correspond à peu près à PN 6 dans l'ancienne classification de pression nominale. La valeur SDR doit normalement remplacer la classification habituelle PN des pressions nominales. Toutefois, la pression nominale étant une grandeur caractéristique en tuyauterie, nous l'indiquons également en classification PN en cas de besoin.

a) Détermination graphique de la surpression admissible :

Pour le tube de SDR 17, le diagramme SIMONA donne une pression de service admissible $p_s \text{ adm} = 5,2$ bars pour une température de service $T_s = 50^\circ\text{C}$ et une durée de service de 25 ans.

Résultat : La condition de service $p_s = 4$ bars est donc remplie.

b) Détermination de la surpression admissible par calcul :

Le dimensionnement d'un tube soumis à une surpression interne répond à la relation générale suivante :

$$e = \frac{p_s \cdot d_e}{20 \cdot \sigma_{\text{adm}} + p_s}$$

d'où :

$$p_s \text{ adm} = \frac{20 \cdot \sigma_{\text{adm}} \cdot e}{d_e - e}$$

Avec :

p_s	= surpression interne	[bar]
σ_{adm}	= contrainte circonférentielle admissible	[N/mm ²]
e	= épaisseur de paroi du tube	[mm]
d_e	= diamètre extérieur du tube	[mm]

Pour l'exemple numérique du chapitre 4.2.2, la contrainte circonférentielle admissible sera donc de :

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{6,10}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,4} = 4,36 \text{ N/mm}^2$$

L'application de cette valeur donne le résultat suivant :

$$p_s \text{ adm} = \frac{20 \cdot 4,36 \cdot 16,6}{280 - 16,6} = 5,16 \text{ bar}$$

Le calcul confirme le résultat obtenu graphiquement par le diagramme SIMONA.

Remarque : Dans ce qui précède, seules les sollicitations de pression interne sont considérées. Dans la tuyauterie, des contraintes de traction, de compression et de flexion dues à la dilatation thermique peuvent se superposer aux contraintes longitudinales dues à la pression interne. Cette situation doit toujours être considérée lors du calcul de résistance d'une tuyauterie, les diagrammes SIMONA ne pouvant pas remplacer ce calcul.

La méthode de calcul est décrite au chapitre 4.2.3.

[4] Cas d'une dépression interne ou d'une surpression externe

Soit : Une tuyauterie en PP-H

Dimensions du tube : $d_e = 280$ mm, $e = 16,6$ mm

Température de service maximale : $T_s \text{ maxi} = 50^\circ\text{C}$

($A_4 = 1,0$ d'après la DVS 2205-1, tableau 2)

Température de service minimale : $T_s \text{ mini} = 20^\circ\text{C}$

EXPLICATIONS

Dépression possible : $p_D = 0,5$ bar

Milieu en écoulement : Eaux usées, avec $A_2 = 1,0$

Élancement : $L_A = 2\ 500$ mm

Matériau de tube : Le PP-H a été choisi en raison de son module d'élasticité élevé à température de service élevée. Dans le cas d'une sollicitation de dépression, il convient particulièrement de noter que la dépression admissible sera d'autant plus élevée que le module d'élasticité à court terme du plastique considéré sera lui-même élevé.

Valeur SDR : Les diagrammes SIMONA doivent être utilisés en fonction de la valeur SDR qui représente le rapport entre le diamètre et l'épaisseur de paroi. Plus la paroi est épaisse, plus faible est la valeur SDR, et vice-versa. Ici, le tube correspond à la valeur SDR 17 qui, dans les diagrammes SIMONA, recouvre également les tubes de SDR 17,6.

Dépression admissible d'un tronçon de tuyauterie encastré longitudinalement : Pour garantir toute absence de déformation d'un tronçon de tuyauterie encastré longitudinalement, la dépression interne p_D doit être ≤ 585 mbar = 0,585 bar (voir le diagramme SIMONA p. 44 suivantes).

Remarque : Les tubes en PP-H de SDR 11 et de SDR 7,4 sont protégés contre la déformation aux températures de paroi indiquées dans les diagrammes SIMONA, c'est-à-dire qu'ils peuvent fonctionner à une dépression de 1,0 bar (= vacuum). Leur représentation graphique était de ce fait inutile.

Étude des contraintes de compression : L'étude des contraintes de compression dues à l'empêchement de la dilatation thermique du fait de l'encastrement longitudinal d'un tronçon de tuyauterie est traitée au chapitre 4.2.4.

Étude de la stabilité axiale : Il n'est pas exclu que des contraintes de compression trop élevées entraînent une instabilité dans les tubes à paroi mince encastrés longitudinalement. La contrainte longitudinale critique de déformation est déterminée par la relation suivante :

$$\sigma_{c(a)} = \alpha_{cal} \cdot 0,62 \cdot E_{CT} \cdot \frac{e}{r_m}$$

Avec :

$\sigma_{c(a)}$	= contrainte longitudinale critique de voilement	[N/mm ²]
α_{cal}	= facteur de calcul fonction du temps	[-]
E_{CT}	= module d'élasticité à court terme	[N/mm ²]
e	= épaisseur de paroi du tube	[mm]
r_m	= rayon moyen de la section du tube	[mm]

En prenant $\alpha_{cal} = 0,33$ pour une durée de service théorique de 25 ans, la contrainte critique de voilement peut être déterminée plus simplement par :

$$\sigma_{c(a)} = 0,205 \cdot E_{CT} \cdot \frac{e}{r_m}$$

Étude de la résistance à voilement : Il s'agit d'examiner si la tuyauterie remplit la condition d'interaction des contraintes de compression axiales et radiales. Les formules de calcul à utiliser sont décrites dans les paragraphes respectifs. Les contraintes de compression sont identifiées par le signe moins (-).

La condition d'interaction est satisfaite si :

$$\eta = \left(\frac{\sigma_{\delta} \text{ act}}{\sigma_{\delta} \text{ adm}} \right)^{1,25} + \left(\frac{p_{\text{ext,D}} \text{ act}}{p_{\text{ext,D}} \text{ adm}} \right)^{1,25} \leq 1,0$$

Avec :

$\sigma_{\delta} \text{ act}$	= somme des contraintes de compression longitudinales
$\sigma_{\delta} \text{ adm}$	= contrainte en compression longitudinale admissible

$p_{\text{ext,D act}}$ = valeur maximale admissible en dépression D ou pression externe p_{ext}

$p_{\text{ext,D adm}}$ = valeur maximale admissible en compression radiale

Pour l'exemple d'application, on utilisera :

Le diagramme du chapitre 2.3

Résistance CT (50 °C) $\sigma_{v(10h)}^{①} = 12 \text{ N/mm}^2$

Le diagramme du chapitre 3.2

Module d'élasticité CT (50 °C) $E_{\text{CT}} = 620 \text{ N/mm}^2$

① La contrainte de compression maximale correspond à l'hypothèse d'une durée de sollicitation de 10 heures. On doit donc partir d'une relaxation d'environ 60% de la valeur maximale.

Contrainte de compression admissible, selon chapitre 4.2.2 :

$$\sigma_{\delta} \text{ adm} = \frac{\sigma_v}{A_2 \cdot A_4 \cdot C_s}$$

$$\sigma_{\delta} \text{ adm} = \frac{12,0}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,4} = 8,57 \text{ N/mm}^2$$

Contrainte de compression à court terme due à l'empêchement de la dilatation thermique, selon chapitre 4.2.4 :

$$\sigma_{l(dT)} = -\alpha \cdot \Delta T \cdot E_{(CT)}$$

$$\sigma_{l(dT)} = -0,00016 \cdot 30 \cdot 620 = -2,98 \text{ N/mm}^2$$

Contrainte de compression à court terme due à la dépression interne, selon chapitre 4.2.4 :

$$\sigma_{l(D,p_{\text{ext}})} = -\frac{p_D}{10} \cdot \frac{(d_e/d_i)^2}{(d_e/d_i)^2 - 1}$$

$$\sigma_{l(D,p_{\text{ext}})} = -\frac{0,5}{10} \cdot \frac{(280/248,2)^2}{(280/248,2)^2 - 1} = -0,23 \text{ N/mm}^2$$

Contrainte de fluage à long terme due à l'affaissement du tube, selon chapitre 4.2.4 :

$$\sigma_{l(f)} = -\frac{q \cdot L_A^2}{8 \cdot C_R}$$

$$\sigma_{l(f)} = -\frac{0,615 \cdot 2500^2}{8 \cdot 8,7 \cdot 10^5} = -0,56 \text{ N/mm}^2$$

Pression critique de déformation du tronçon de tuyauterie à 50 °C (dans le sens radial) :

$$p_{\text{crit}} = \frac{2 \cdot 620}{1 - 0,38^2} \cdot \frac{16,6^3}{280^3} = 0,302 \text{ N/mm}^2 \cdot 10 = 3,02 \text{ bar}$$

Contrainte radiale admissible : Avec une résistance à la déformation S_{voile} de 2,0, la contrainte radiale admissible due à la dépression D ou à la pression externe p_{ext} est donnée par :

$$p_{D,p_{\text{ext}}} = p_{\text{crit}}/S_{\text{voile}} = 3,02/2,0 = 1,51 \text{ bar}^{②}$$

② La dépression admissible $D = 0,585 \text{ bar}$ tient compte à la fois de l'encastrement longitudinal et des imperfections possibles, comme pouvant apparaître sur un tube ployé. Le ployage du tube produit des contraintes de flexion qui se superposent aux autres contraintes de compression. Dans cette mesure, les diagrammes ne donnent que des valeurs limites qu'il convient d'optimiser par le calcul pour chaque cas particulier.

Contrainte axiale : La contrainte axiale existante due à la dépression est :

$$\sigma_{\delta} \text{ réelle} = \sigma_{dT} + \sigma_D + \sigma_f$$

EXPLICATIONS

$$\begin{aligned}\sigma_{\delta} \text{ réelle} &= (-2,98) + (-0,23) + (-0,56) \\ &= -3,77 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Contrainte critique longitudinale de déformation :

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{crit}} \text{ long} &= 0,205 \cdot 620 \cdot 16,6 / [0,5 \cdot (280 - 16,6)] \\ &= 16,02 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

On constate que la contrainte critique de déformation des tubes à forte épaisseur de paroi est nettement supérieure à la contrainte de compression admissible. On proposera donc de vérifier la condition d'interaction des tuyauteries encastrées longitudinalement à l'aide du rapport ($\sigma_{\delta} \text{ exist} / \sigma_{\delta} \text{ adm}$).

Condition d'interaction :

$$\eta = \left(\frac{3,77}{8,57} \right)^{1,25} + \left(\frac{0,5}{1,06} \right)^{1,25} = 0,75$$

Résultat : La condition d'une distance de sécurité suffisant pour éviter la déformation est remplie.

[5] Contrôle de la surpression de service admissible p_{adm} d'un coude de dilatation en L en PE 80

Soit :

Dimensions du tube : $d_e = 280 \text{ mm}$

Surpression de service : $p_s = 5,0 \text{ bars}$

Température de service minimale : $T_s \text{ mini} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Température de service maximale : $T_s \text{ maxi} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

Coefficient de réduction du milieu en écoulement :

$$A_2 = 1,0$$

Coefficient de sécurité : $C_s = 1,25$

Coefficient de soudage à long terme : $f_{\text{LT}} = 0,8$

Durée de service de calcul : 25 ans

Longueur du système de coude en L :

$$L_{\text{tot}} = 9500 \text{ mm}$$

Essai de pression admissible selon le diagramme SIMONA, chapitre 3.1. :

Pression de service admissible de la branche de flexion : correspond à p_{adm} du tronçon rectiligne

Épaisseur de paroi nécessaire ou valeur SDR du tube :

Pour le PE 80 et les conditions de service indiquées, avec C_s de 1,25, le diagramme page 61 donne un tube de SDR 17 ou une épaisseur de paroi $e = 16,6 \text{ mm}$.

La valeur lue pour la résistance en pression du tube est $p_{\text{adm}} = 5,6 \text{ bars}$.

Résultat : Avec $p_{\text{adm}} = 5,6 \text{ bars}$ pour le tube et pour le coude de dilatation, la condition $p_s = 5,0 \text{ bars}$ est remplie.

Remarque : La même méthode s'applique aussi aux coudes de dilatation U et Z, aux autres matériaux et aux autres conditions de service.

Calcul des dimensions de la branche de flexion :

Diamètre intérieur du tube :

$$d_i = 280 - 2 \cdot 16,6 = 246,8 \text{ mm}$$

selon diagramme chapitre 2.2 :

$$E_{\text{(TS mini)}} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{(TS maxi)}} = 120 \text{ N/mm}^2$$

Module de fluage moyen :

$$E_{\text{cm}} = (0,5 \cdot (235 + 120)) / 1,0 = 177,5 \text{ N/mm}^2$$

selon diagramme chapitre 2.1 :

$$\sigma_v \text{ pour } T_s \text{ maxi} = 5,8 \text{ N/mm}^2$$

selon chapitre 2.3 :

$$\text{adm } \sigma_{\text{(I)}} = 5,8 \cdot 0,8 / (1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25) = 3,71 \text{ N/mm}^2$$

selon chapitre 3.3 :

$$\sigma_{\text{(p)}} = 5,0 / 10 \cdot 1 \cdot ((280 / 246,8)^2 - 1) = 1,74 \text{ N/mm}^2$$

selon chapitre 3.3 :

$$\text{adm } \sigma_{\text{(b)}} = 3,71 - 1,74 = 1,97 \text{ N/mm}^2$$

Différence de température en service :

$$dT = T_s \text{ maxi} - T_s \text{ mini} = 20 \text{ K}$$

Ces valeurs permettent de calculer la longueur minimale de branche de flexion $L_{\text{BF1 req}}$ comme suit :

$$L_{BF1 \text{ req}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 280 \cdot 9500 \cdot 20 \cdot 0,00018 \cdot 177,5}{1,74}} = 1712 \text{ mm}$$

Pour la valeur $L_{BF2 \text{ req}}$ de la branche de flexion, on tiendra compte de :

$$L_{BF2 \text{ req}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 280 \cdot 1712 \cdot 20 \cdot 0,00018 \cdot 177,5}{1,74}} = 727 \text{ mm}$$

Selon l'exemple de la page 61, le diagramme SIMONA donne une longueur de branche de flexion $L_{BF1} = 1730 \text{ mm}$ et $L_{BF2} = \text{env. } 720 \text{ mm}$. On remarquera que les valeurs déterminées graphiquement coïncident avec les valeurs déterminées par le calcul dans une proportion acceptable dans la pratique.

Les dimensions des coudes de dilatation en Z et en U seront déterminées de la même manière. On se reportera aux exemples pour chaque cas.

[6] Détermination des efforts aux points de fixation d'une tuyauterie en matière plastique encastrée longitudinalement

Soit : Une tuyauterie en PE 100

Dimensions du tube : $d_e = 280 \text{ mm}$, $e = 16,6 \text{ mm}$

Température de service minimale : $T_s \text{ mini} = 20^\circ\text{C}$

Température de service maximale : $T_s \text{ maxi} = 40^\circ\text{C}$

Température de montage : $T_M = 20^\circ\text{C}$

Milieu transporté : Eaux usées

Problème : Déterminer les efforts prévisibles aux points de fixation de la tuyauterie encastrée longitudinalement telle que définie ci-dessus.

Matériau de tube : En raison de sa plus grande résistance à la pression interne à température élevée, le PE 100 sera préféré au PE 80. Cette décision est sans influence sur les efforts aux points de fixation du fait que le module d'élasticité est le même pour les deux matériaux.

Valeur SDR : Les diagrammes SIMONA de détermination des efforts maximaux aux points de fixation doivent être utilisés en corrélation avec la valeur SDR.

L'épaisseur de paroi du tube a une influence sur ces efforts, à savoir que plus la paroi sera épaisse, plus élevé sera l'effort. La longueur du tube ne joue pas un rôle.

Température à la paroi du tube : On prendra ici la température maximale de service, état pour lequel la sollicitation aux points de fixation est également maximale.

Sollicitation aux points de fixation due à l'empêchement de la dilatation thermique :

Pour un tube de $d_e = 280 \times 16,6 \text{ mm}$, le diagramme SIMONA (p. 83) donne une valeur de sollicitation maximale au point de fixation $F_{PA} = 23 \text{ kN}$.

Ce résultat vaut pour une différence de température de 20 K. Cette différence est celle entre la température de montage et la température maximale de service $\Delta T = T_s \text{ maxi} - T_M$. Si la température minimale de service est inférieure à la température de montage, on prendra $\Delta T = T_s \text{ maxi} - T_s \text{ mini}$. Si la tuyauterie est prévue pour être mise hors service, sa paroi peut se refroidir jusqu'à la température ambiante. Les tuyauteries aériennes en plein air peuvent ainsi être exposées à des différences de température extrêmes, auquel cas la sollicitation aux points de fixation doit être déterminée par le calcul.

EXPLICATIONS

La sollicitation aux points de fixation du fait de l'empêchement de la dilatation thermique est donnée par :

$$F_{PA} = \alpha \cdot \Delta T \cdot A_C \cdot E_{cm(100min)}$$

Avec :

α	= coefficient de dilatation thermique linéaire	[1/K]
ΔT	= différence de température	[K]
A_C	= aire de la couronne de la section du tube	[mm ²]
$E_{cm(100min)}$	= module de fluage moyen pour t = 10 mm	[N/mm ²]

Les valeurs du module de fluage sont données dans le diagramme SIMONA du chapitre 3.1. Les valeurs moyennes pour α sont données dans le tableau du chapitre 5.3.2.

Ces valeurs donnent le calcul suivant :

$$E_{cm(100min)} = 0,5 \cdot (E_{c20^\circ C} + E_{c40^\circ C}) = 0,5 \cdot (595 + 325) = 460 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{PA} = 1,8 \cdot 10^4 \cdot 20 \cdot 13736 \cdot 460 = 22,8 \text{ kN}$$

Le résultat numérique concorde bien avec le résultat lu à partir du diagramme SIMONA.

Remarque : Les efforts aux points de fixation déterminés par les diagrammes SIMONA sont ceux qui interviennent sur la structure de fixation. Les contraintes de compression ou de traction qui interviennent sur la tuyauterie doivent être étudiées séparément dans le cadre de l'étude générale des contraintes (voir chapitre 4.2.4).

[7] Effet de l'épreuve de pression interne

Dans cet essai, la tuyauterie est soumise à une surpression d'épreuve pour mettre en évidence sa sécurité de fonctionnement. Conformément aux règles en vigueur, la pression d'épreuve est égale

à 1,5 fois la pression nominale de la tuyauterie.

S'agissant ici de tubes et de pièces de tuyauterie de SDR 17 = PN 6, la pression d'épreuve est donc de $p = 1,5 \times 6 = 9$ bars. Quels sont les effets de cette épreuve de pression sur une tuyauterie en matière plastique ?

Sollicitation des points de fixation à la pression

d'épreuve : On considèrera que le tronçon de tuyauterie est soumis à des contraintes de traction qui entraînent une variation de longueur. Dans la mesure où cette variation est empêchée, des efforts sont créés sur le point de fixation qui sont donnés par :

$$F_{test} = \frac{0,1 \cdot p \cdot (1 - 2\mu)}{(d_e/d_i)^2 - 1} \cdot A_{tube}$$

Avec :

p	= pression d'épreuve	[bar]
μ	= coefficient de rétraction transversale	[-]
	= 0,38 pour les thermoplastiques	
d_e	= diamètre extérieur du tube	[mm]
d_i	= diamètre intérieur du tube	[mm]
A_{tube}	= Aire de la couronne de section	[mm ²]

Le calcul numérique d'exemple donne :

$$F_{test} = \frac{0,1 \cdot 9 \cdot (1 - 2 \cdot 0,38)}{[(280/246,8)^2 - 1] \cdot 10^3} \cdot 13736 = 10,4 \text{ kN}$$

Dans le cas présent, la sollicitation aux points de fixation du fait de la pression d'épreuve est inférieure à celle engendrée par l'empêchement de la dilatation thermique.

Frottement sur les appuis de la tuyauterie :

Lorsqu'un tronçon de tuyauterie se dilate longitudinalement, des forces de frottement prennent naissance au niveau des appuis. Ces forces s'opposant

à la variation de longueur, la valeur réelle de la variation de longueur est inférieure à la valeur théorique calculée.

Sollicitation de frottement aux points de fixation :

Il s'agit de déterminer les forces de frottement qui s'ajoutent sur une certaine longueur de la tuyauterie. La force de frottement spécifique par mètre linéaire de tuyauterie est donnée par :

$$F_{Fr} = (q_{\text{Tube}} + q_{\text{Rempl}} + q_{\text{suppl}}) \cdot \mu_{Fr}$$

Avec :

q_{Tube}	= poids propre du tube	[N/m]
q_{Rempl}	= poids de remplissage	[N/m]
q_{suppl}	= poids supplémentaire	[N/m]
μ_{Fr}	= coefficient de frottement = 0,3 à 0,5	[-]

Avec en outre les valeurs d'exemple suivantes :

Longueur du tronçon mobile = 50 m

Q_{tot} = poids du tube rempli = 615 N/m

$\mu_{Fr} = 0,3$

D'où il résulte la force de frottement totale = la sollicitation au point de fixation :

$$F_{Fr} = (615 \text{ N/m}) \cdot 0,3 \cdot 50 \text{ m} = 9225 \text{ N} = 9,23 \text{ kN}$$

Remarque : La sollicitation de frottement au niveau des appuis dépend du poids total de la tuyauterie, du coefficient de frottement et des diverses longueurs de tube. Dans le cas ci-dessus, cette sollicitation est nettement inférieure à celle due à l'empêchement de la dilatation thermique.

Sollicitation de pression interne aux points de

fixation : En présence d'éléments de dilatation (compensateurs), la sollicitation aux points de fixation est exclusivement due à la pression dans la tuyauterie. Il convient ici de déterminer l'effet de cette pression

sur la surface des éléments de dilatation, à l'aide de l'égalité suivante :

$$F_p = A_{\text{Edil}} \cdot 0,1 \cdot p$$

Avec :

p	= pression interne	[bar]
A_{Edil}	= surface de l'élément de dilatation soumise à pression	[mm ²]

Avec les valeurs de calcul suivantes :

d_{Edil} = diamètre de l'élément de dilatation
= 300 mm

$p_{\text{maxi}} = 9 \text{ bars}$,

on obtient une sollicitation au point de fixation de :

$$F_p = 300^2 \cdot \pi/4 \cdot 0,1 \cdot 9 = 63617 \text{ N} = 63,6 \text{ kN}$$

ce qui représenterait de loin la plus forte sollicitation au point de fixation.

Remarque : Ces exemples de calcul montrent la grande diversité des calculs et des sollicitations liés aux points de fixation. La sollicitation par gonflement de la tuyauterie en plastique sous l'effet d'un solvant n'est pas traitée ici. Cette condition de service est un cas particulier qui doit entrer dans le cadre d'une étude de projet et qui ne se prête pas à la généralisation.

Pour le dimensionnement de la structure de fixation, on étudiera le cas de charge le plus défavorable. Le cas échéant, la superposition de plusieurs états de fonctionnement simultanés oblige à additionner les diverses sollicitations convergentes contribuant à la sollicitation maximale au point de fixation.

EXPLICATIONS

[8] Détermination de la distance admissible entre les points de fixation d'une tuyauterie en thermoplastique

Soit : Une tuyauterie en PE 100

Dimensions du tube :

$d_e = 63$ mm, $e = 5,8$ mm (SDR 11)

Température de service minimale : T_s mini = 20 °C

Température de service maximale : T_s maxi = 40 °C

Milieu transporté : Eaux usées sans substances dangereuses pour le tube et $A_2 = 1,0$

Densité du milieu transporté : $\rho = 1,1$ g/cm³

Problème : Déterminer la distance admissible entre points de fixation applicable à la tuyauterie dans les conditions définies ci-dessus.

Matériau de tube : En raison de sa plus grande résistance à la pression interne à température élevée, le PE 100 sera préféré au PE 80. Cette décision est sans influence sur l'affaissement de la tuyauterie du fait que le module d'élasticité est le même pour les deux matériaux.

Valeur SDR : Les diagrammes SIMONA de détermination de la distance admissible entre les points de fixation sont indépendants de la valeur SDR. Ils ont été calculés en considérant la somme du poids du tube et du poids de remplissage avec $\rho = 1,0$ g/cm³. Une modification de l'épaisseur de paroi ou une augmentation de la masse spécifique du matériau (p.ex. avec le PVDF) n'entraînent qu'une augmentation négligeable de la flèche.

Considérations relatives au milieu transporté :

La masse spécifique du milieu transporté est à prendre en compte dans tous les cas car, dans les diagrammes SIMONA, une valeur de $\rho > 1,0$ g/cm³ se traduit par une flèche plus importante pour une

même distance entre points de fixation. Les valeurs du facteur de conversion f_x à utiliser pour la modification de la distance entre points de fixation en fonction de la densité du milieu transporté sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

L'utilisation des mêmes facteurs de conversion pour tous les matériaux n'ayant qu'une influence négligeable sur la flexion effective, une différenciation s'avère inutile.

Influence du milieu transporté sur la distance entre points de fixation : Voir tableau ci-dessous.

Distance admissible entre points de fixation : Pour un tube en PE 80 ou PE 100 de $d_e = 63$ mm, le diagramme SIMONA indique une distance entre points de fixation $L_A = 950$ mm pour la température de service $T_s = 40$ °C. La densité du milieu transporté étant de 1,1 g/cm³, la distance admissible entre points de fixation devient $L_A = 0,98 \times 950 = 930$ mm, ce qui, pour ce cas d'application, n'est pas une différence négligeable.

Remarque : La détermination de la distance entre points de fixation par le diagramme SIMONA prend en compte les principaux facteurs qui influent sur la tuyauterie en matière plastique. Les contraintes de flexion $\sigma_{(f)}$ qui interviennent sont nettement inférieures à 1,0 N/mm², c'est-à-dire qu'elles n'ont que peu d'effet dans le cadre de l'étude générale des contraintes.

Densité du milieu transporté [g/cm³]

Facteur de conversion	Gaz	$\rho = 1,1$	$\rho = 1,2$	$\rho = 1,3$	$\rho = 1,4$	$\rho = 1,5$
f_x	1,3	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90



11 Services

En tant que client, vous êtes au cœur de nos activités, du développement du projet à la production, à la conception in situ, en passant par l'achat des matières premières, nous sommes un partenaire à vos côtés pour vous conseiller.

Faites appel à notre longue expérience et à notre savoir-faire pour vos projets.

Service de conseil et d'information



Nous nous occupons intensivement de l'application de nos produits. Nous nous ferons un plaisir de vous transmettre notre savoir. Dans le monde entier, nous proposons un service complet de conseil, assuré par nos collaborateurs du « Technical Sales Support » ainsi que par l'organisation commerciale extérieurs – service qui va de la planification du projet à la conception in situ, en passant par le choix des matériaux aux conseils en technique d'application.

Planification de projet

Nous conseillons les concepteurs et les maîtres d'ouvrage au plan technique comme au plan commercial pour le choix des produits et des matériaux, ainsi que pour celui de la méthode de pose la plus économique. Nous nous ferons un plaisir de vous accompagner et de répondre à toutes les questions techniques que vous vous posez concernant votre projet (techniques de pose, calculs de solidité, techniques de raccordement, etc.).

CONSEIL

+49 (0) 67 52 14-254
pipingsystems@simona.de



Conseil in situ

Nous vous apportons notre soutien durant votre projet. Nos ingénieurs assurent le suivi de toutes les phases de votre projet de construction in situ et restent à votre disposition pour répondre à vos questions après l'achèvement des travaux.

Formation

Nous assurons la formation technique de vos collaborateurs in situ ou dans notre centre de formation technique de Kirn.

Respect des délais et flexibilité

Nous maintenons en stock nos articles standard dans nos entrepôts centraux et nos entrepôts de livraison à votre attention, afin de pouvoir vous livrer avec rapidité et flexibilité.

Service d'application d'offres

Vous trouverez des textes d'appel d'offres détaillés pour nos produits sur le CD-ROM SIMONA® SIMCAT – votre aide à la planification et à la conception de systèmes de tubes et raccords – ou sur le site www.simona.de.

Service d'information

Vous trouverez de plus amples informations sur nos produits sous forme de

- Brochures
- Informations produit
- CD-ROMs.

Vous trouverez le programme de livraison complet « Tubes, raccords et vannes », avec prix bruts, sur notre liste de prix bruts imprimée ou sur le site www.simona.de



INFO

+49 (0) 67 52 14-383
marketing@simona.de

Services techniques

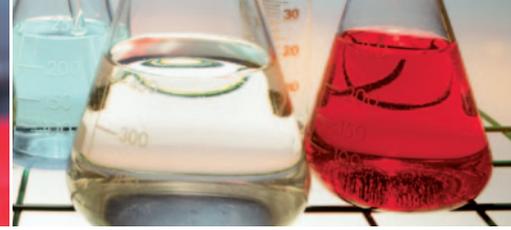


Nous soumettons nos produits à des contrôles réguliers et à des tests de longue durée. Dans le laboratoire de notre entreprise, les paramètres caractéristiques des matériaux et leurs propriétés à long terme sont contrôlés en permanence.

Nous partageons volontiers nos connaissances avec vous et nous réalisons des études pour votre compte.

Essais de matériaux

- Essais de dispersion selon la DIN 16888 Partie 1–2 et ISO 4433 Partie 1–4
- Estimation des facteurs de perte par des essais d'immersion, ou établissement des facteurs de perte par des essais de fluage sous compression interne
- Contrôle du potentiel d'un fluide à déclencher des fendillements par contrainte
- Évaluation de la perméation en cas d'utilisation dans le domaine de la construction composite et de la technique de revêtement, avec recommandation de matériau correspondante



Service d'accessoires

Nous vous proposons les machines et les accessoires ad hoc pour la transformation et le soudage de nos tubes et raccords : appareils et machines à souder pour polyfusion bout à bout aux éléments thermiques et aux filaments chauffants, outils de serrage ou appareils d'usinage, à louer ou à acheter.

Calculs statiques

Nous réalisons des calculs statiques pour

- les tubes enterrés
- les conduits de ventilation
- les puits et
- les revêtements.

Service de conseil ATEX

- Sélection du matériau
- Informations sur les normes et directives
- Informations sur la transformation des produits EL

Tubes et raccords customisés

En plus de nos produits standard, nous vous proposons un ensemble de prestations spécifiques :

- Tubes de diverses longueurs et pour différentes techniques d'assemblage
- Tubes de dimensions spéciales, ajustées aux diamètres nominaux standard d'autres matériaux
- Tubes dotés de propriétés spécifiques : électroconducteurs ou difficilement inflammables
- Raccords spéciaux individualisés comme composants de système pour vos applications spécifiques

SIMONA® SIMCHEM

SIMCHEM 6.0 – CD-ROM sur la résistance chimique

Le CD-ROM SIMCHEM 6.0 est le guide pratique qui vous conseille, avec compétence et exhaustivité, pour toutes les questions que vous vous posez sur la résistance chimique de nos matériaux.

Plus de 3000 substances et produits commerciaux y sont listés. Par ailleurs, vous y trouverez des informations précieuses sur nos matériaux, sur nos produits et sur SIMONA.



SIMCHEM – La base de données sur la résistance chimique des matériaux SIMONA®, avec plus de 3000 substances listées.

La 6^{ème} version de SIMCHEM a été intégralement remaniée. Elle a pour but de vous donner des points de repère importants dans le cadre de votre travail au quotidien. Veuillez noter que toutes les indications mentionnées dans ce document correspondent aux connaissances actuelles. La présente version de SIMCHEM repose sur des résultats tirés d'essais en immersion où les échantillons ont été exposés à des fluides à différentes températures, hors de toutes contraintes extérieures.

Les résultats d'essais sont complétés par des rapports empiriques faisant suite à des mises en œuvre pratiques, par des recommandations émises par les fabricants des matières premières, ainsi que par beaucoup d'indications relatives aux normes, aux directives et aux recommandations en vigueur.

POUR COMMANDER SIMCHEM 6.0

+49 (0) 67 52 14-383
marketing@simona.de

SIMONA dans le monde entier

SIMONA AG

Teichweg 16
D-55606 Kirn
Allemagne

Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-211
mail@simona.de
www.simona.de

SITES DE PRODUCTION

Usine I/II

Teichweg 16
D-55606 Kirn
Allemagne
Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-211

Usine III

Gewerbstraße 1-2
D-77975 Ringsheim
Allemagne
Phone +49 (0) 78 22 436-0
Fax +49 (0) 78 22 436-124

SIMONA Plast-Technik s.r.o.

U Autodílen 23
CZ-43603 Litvínov-Chudeřín
Czech Republic

SIMONA AMERICA Inc.

64 N. Conahan Drive
Hazleton, PA 18201
USA

SIMONA ENGINEERING PLASTICS (Guangdong) Co. Ltd.

No. 368 Jinou Road
High & New Technology Industrial
Development Zone
Jiangmen, Guangdong
China 529000

SITES DE VENTE

SIMONA S.A. Paris

Z.I. 1, rue du Plant Loger
F-95335 Domont Cedex
Phone +33 (0) 1 39 35 49 49
Fax +33 (0) 1 39 91 05 58
domont@simona-fr.com

SIMONA UK LIMITED

Telford Drive
Brookmead Industrial Park
GB-Stafford ST16 3ST
Phone +44 (0) 1785 22 24 44
Fax +44 (0) 1785 22 20 80
mail@simona-uk.com

SIMONA AG SCHWEIZ

Industriezone
Bäumlimattstraße 16
CH-4313 Möhlin
Phone +41 (0) 61 8 55 90 70
Fax +41 (0) 61 8 55 90 75
mail@simona-ch.com

SIMONA S.r.l. ITALIA

Via Padana
Superiore 19/B
I-20090 Vimodrone (MI)
Phone +39 02 25 08 51
Fax +39 02 25 08 520
mail@simona-it.com

SIMONA IBERICA SEMIELABORADOS S.L.

Doctor Josep Castells, 26-30
Polígono Industrial Fonollar
E-08830 Sant Boi de Llobregat
Phone +34 93 635 41 03
Fax +34 93 630 88 90
mail@simona-es.com
www.simona-es.com

SIMONA-PLASTICS CZ, s.r.o.

Zděbradská ul. 70
CZ-25101 Říčany-Jažlovice
Phone +420 323 63 78 3-7/-8/-9
Fax +420 323 63 78 48
mail@simona-cz.com
www.simona-cz.com

SIMONA POLSKA Sp. z o.o.

ul. H. Kamieńskiego 201-219
PL-51-126 Wrocław
Phone +48 (0) 71 3 52 80 20
Fax +48 (0) 71 3 52 81 40
mail@simona-pl.com
www.simona-pl.com

SIMONA FAR EAST LIMITED

Room 501, 5/F
CCT Telecom Building
11 Wo Shing Street
Fo Tan
Hongkong
Phone +852 29 47 01 93
Fax +852 29 47 01 98
sales@simona.com.hk

SIMONA ENGINEERING PLASTICS TRADING (Shanghai) Co. Ltd.

Room C, 19/F, Block A
Jia Fa Mansion
129 Da Tian Road, Jing An District
Shanghai
China 200041
Phone +86 21 6267 0881
Fax +86 21 6267 0885
shanghai@simona.com.cn

SIMONA AMERICA Inc.

64 N. Conahan Drive
Hazleton, PA 18201
USA
Phone +1 866 501 2992
Fax +1 800 522 4857
mail@simona-america.com
www.simona-america.com

Au moment de la parution de cet imprimé, toutes les anciennes éditions perdent leur validité. Vous trouverez les modifications importantes que comporte cette édition sur notre site web : www.simona.de. Toutes les indications publiées dans ce prospectus correspondent au niveau d'évolution le plus récent de nos connaissances à sa date de parution. Sous réserve d'erreurs et de fautes d'impression. Les indications fournies n'ont pas vocation à garantir de manière juridiquement contraignante certaines propriétés des produits ou leur adéquation à un usage concret. Nous n'assumons aucune responsabilité pour l'utilisation, l'application, la transformation ou tout autre usage de ces informations ou de nos produits, ni pour les conséquences en découlant. L'acheteur est tenu de contrôler la qualité et les propriétés des produits. Il assume l'entière responsabilité de la sélection, de l'utilisation, de l'application et de la transformation des produits. Nous garantissons la qualité parfaite de nos produits dans le cadre de nos Conditions générales de vente.



SIMONA AG

Teichweg 16

D-55606 Kirn

Phone +49 (0) 67 52 14-0

Fax +49 (0) 67 52 14-211

mail@simona.de

www.simona.de