



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

**L'INDUSTRIE
ALGÉRIENNE DES
TUBES ET TUYAUX**

FS 434 F

07660

sorès inc montréal

**PRODUITS
ET
USAGES**

**PRÉPARÉ POUR
L'ONUDI**

FS 434 F

**ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE
DU
SECTEUR DES TUBES ET TUYAUX
EN ALGERIE**

S/F METALWORKING
CF ALGERIA

RAPPORT N° 2

PRODUITS ET USAGES

préparé pour

**L'ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL**

par

SORÈS INC., MONTREAL, CANADA

Contrat de l'Onudi N° 72/10
Projet Sorès N° 1000

AOUT 1973

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	1
PARTIE I: LES PRODUITS	
I LES TUBES ET TUYAUX EN ACIER	9
1. Généralités	9
2. Propriétés	10
3. Gamme des produits	16
4. Procédés de fabrication	29
5. Normes	44
6. Traitement de surface	46
7. Assemblage	49
8. Utilisations	51
II LES TUYAUX EN FONTE	53
1. Généralités	53
2. Propriétés	54
3. Gamme des produits	55
4. Procédés de fabrication	55
5. Normes	58
6. Traitement de surface	58
7. Assemblage	59

TABLE DES MATIERES (suite)

		Page
	8. Utilisations	60
III	LES TUBES ET TUYAUX EN CUIVRE	61
	1. Généralités	61
	2. Propriétés	61
	3. Gamme de produits	62
	4. Procédé de fabrication	68
	5. Normes	68
	6. Traitement de surface	69
	7. Assemblage	69
	8. Utilisations	70
IV	LES TUBES ET TUYAUX EN ALUMINIUM	72
	1. Généralités	72
	2. Propriétés	72
	3. Gamme des produits	73
	4. Procédés de fabrication	77
	5. Normes	80
	6. Traitement de surface	80
	7. Assemblage	81
	8. Utilisations	82

TABLE DES MATIERES (suite)

		Page
V	LES TUBES ET TUYAUX EN PLOMB	83
	1. Généralités	83
	2. Propriétés	83
	3. Gamme des produits	84
	4. Procédé de fabrication	84
	5. Normes	84
	6. Traitement de surface	87
	7. Assemblage	87
	8. Utilisations	87
VI	LES TUBES ET TUYAUX EN PLASTIQUE	88
	1. Généralités	88
	2. Propriétés	89
	3. Gamme des produits	91
	4. Procédé de fabrication	96
	5. Normes	97
	6. Traitement de surface	98
	7. Assemblage	98
	8. Utilisations	99

TABLE DES MATIERE (suite)

		Page
VII	LES TUYAUX EN BETON	100
	1. Généralités	100
	2. Propriétés	102
	3. Gamme des produits	102
	4. Procédés de fabrication	107
	5. Normes	113
	6. Traitement de surface	114
	7. Assemblage	114
	8. Utilisations	115
VIII	LES TUYAUX EN AMIANTE-CIMENT	116
	1. Généralités	116
	2. Propriétés	116
	3. Gamme des produits	117
	4. Procédés de fabrication	117
	5. Normes	121
	6. Traitement de surface	122
	7. Assemblage	122
	8. Utilisations	122

TABLE DES MATIERES (suite)

		Page
IX	TUYAUX EN GRES VITRIFIE	123
	1. Généralités	123
	2. Propriétés	123
	3. Gamme des produits	123
	4. Procédé de fabrication	125
	5. Normes	126
	6. Traitement de surface	126
	7. Assemblage	126
	8. Utilisations	127
X	LES TUBES ET TUYAUX EN CAOUTCHOUC	128
	1. Généralités	128
	2. Propriétés	129
	3. Gamme des produits	132
	4. Procédés de fabrication	133
	5. Normes	140
	6. Traitement de surface	140
	7. Assemblage	141
	8. Utilisations	142

TABLE DES MATIERES (suite)

		Page
XI	LES TUBES DE VERRE	143
	1. Généralités	143
	2. Propriétés	143
	3. Gamme des produits	143
	4. Procédé de fabrication	145
	5. Normes	145
	6. Traitement de surface	145
	7. Assemblage	145
	8. Utilisations	146
XII	LES TUBES ET TUYAUX EN BOIS	147
	1. Généralités	147
	2. Propriétés	147
	3. Gamme des produits	147
	4. Procédé de fabrication	148
	5. Normes	148
	6. Traitement de surface	148
	7. Assemblage	148
	8. Utilisations	148

TABLE DES MATIERES (suite)

	Page
XIII LES TUBES ET TUYAUX EN MATERIAUX DIVERS	149
1. Généralités	149
2. Les tubes et tuyaux en nickel et alliages de nickel	149
3. Les tubes et tuyaux en titanium	151
4. Les tubes et tuyaux en tantalum	151
5. Les tubes et tuyaux en zirconium	151
6. Les tuyaux en porcelaine	151
7. Les tuyaux en céramique	151
8. Les tubes en carton	152
 PARTIE II : LES USAGES	
XIV INDUSTRIE DU BATIMENT	153
1. Définition	153
2. Usages	153
2.1 Distribution d'eau froide et d'eau chaude	154
2.2 Evacuation des eaux usées	157
2.3 Distribution des gaz	160
2.4 Drainage de fondation	162
2.5 Chauffage	162

TABLE DES MATIERES (suite)

		Page
	2.6 Protection contre l'incendie	164
	2.7 Conduits électriques	165
	2.8 Autres canalisations	166
	2.9 Eléments de charpente	167
	2.10 Pieux de fondation	169
XV	SERVICES PUBLICS	171
	1. Définition	171
	2. Usages	171
	2.1 Alimentation en eau	171
	2.2 Assainissement et drainage des superficies	174
	2.3 Distribution de gaz	178
	2.4 Réseaux électriques, téléphoniques et de signalisation	180
XVI	AGRICULTURE	182
	1. Définition	182
	2. Usages	182
	2.1 Irrigation	182
	2.2 Drainage	185

TABLE DES MATIERE (suite)

		Page
	2.3 Piquets de plants	186
	2.4 Cloisons pour bétail	186
	2.5 Systèmes de traying mécanique	187
	2.6 Réseaux d'abreuvement	187
	2.7 Système d'arrosage et de pulvérisation	187
XVII	INDUSTRIE MINIERE	189
	1. Définition	189
	2. Usages	189
	2.1 Canalisations du transport de l'eau	189
	2.2 Canalisations d'air comprimé	190
	2.3 Canalisations pour le transport de matériaux divers	190
	2.4 Systèmes de ventilation et de dépoussiéage	191
XVIII	FORAGE, EXTRACTION ET COLLECTE	192
	1. Définition	192
	2. Usages	192
	2.1 Forage	192
	2.2 Coffrage	195
	2.3 Tubage	195
	2.4 Collecte	196

TABLE DES MATIERE (suite)

	Page	
XIX	TRANSPORT PAR PIPE-LINE	197
1.	Définition	197
2.	Usages	197
2.1	Eau	197
2.2	Hydrocarbures et dérivés	199
2.3	Solides fluidifiés	202
XX	TUYAUTERIES INDUSTRIELLES	204
1.	Définition	204
2.	Usages	204
3.	Contraintes et normes d'utilisation	205
4.	Choix des matériaux	206
4.1	Liste des matériaux couramment utilisés	207
4.2	Matériaux les plus couramment utilisés	209
4.3	Coûts	216
XXI	EQUIPEMENT INDUSTRIEL ET PIECES DIVERSES	225
1.	Définition	225
2.	Usages	225
2.1	Appareils de transfert de chaleur	226

TABLE DES MATIERE (suite)

	Page
2.2 Pièces d'équipements mécaniques, outils et pièces diverses	236
XXII MATERIEL DE TRANSPORT ET DE MANUTENTION	239
1. Définition	239
2. Usages	239
2.1 Les véhicules-automobiles	239
2.2 Bicyclettes et motocyclettes	244
2.3 Bateaux	244
2.4 Matériel de chemin de fer	248
2.5 Aéronautique	249
2.6 Autres usages	250
XXIII MOBILIER ET SERRURERIE	253
1. Définition	253
2. Usages	253
2.1 Mobilier	253
2.2 Echafaudages	254
2.3 Casiers de stockage	255
2.4 Cloisons métalliques fixes ou semi-fixes et étalages	256

TABLE DES MATIERE (suite)

	Page
2.5 Etats et étrépillons	256
2.6 Usages divers	256
 PARTIE III : EVOLUTION TECHNOLOGIQUE	
XXIV EVOLUTION TECHNOLOGIQUE	260
1. Généralités	260
2. Les matériaux	260
3. Les procédés de fabrication	264
 ANNEXE : TABLEAUX RECAPITULATIFS	
Relations usages/produits Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et tuyaux	265
Caractéristiques des principaux matériaux utilisés dans la fabrication des tubes et tuyaux	270

LISTE DES TABLEAUX

No.		Page
I-1	Tubes en acier Diamètres, épaisseur et poids des tubes dits "tubes gaz" fabriqués par Vallourec (France)	18
I-2	Tuyaux en acier Diamètres, épaisseur minimum de paroi, poids et résistance à la pression, selon le procédé de fabrication et les nuances d'acier, des tuyaux line-pipe fabriqués par Bethlehem Steel, (Etats-Unis)	20
I-3	Tuyaux en acier Epaisseurs, poids et résistance à la pression selon les nuances d'acier des tuyaux line-pipe de 42" de diamètre soudés à l'arc immergé fabriqués par Bethlehem Steel (Etats-Unis).	21
I-4	Tubes en acier Dimensions, épaisseur, longueur et poids des tubes mécaniques série 1, fabriqués par Vallourec (France)	24
I-5	Tubes en acier Dimensions et poids des tubes minces ronds, soudés électriquement, couramment fabriqués en France	25
I-6	Tubes en acier Composition chimique des principaux types d'acier inoxydable	27
II-1	Tuyaux en fonte Gamme des tuyaux en fonte grise fabriqués par Cannon Ltd (Canada)	56
II-2	Tuyaux en fonte Gamme des tuyaux en fonte ductile Express GS fabriqués par Pant-à-Mousson (France)	57
III-1	Tubes en cuivre Dimensions et poids des tubes capillaires fabriqués par Wolverine Tube (Canada)	63

LISTE DES TABLEAUX (suite)

Nb.		Page
III-2	Tubes en cuivre Dimensions et poids des tubes en alliage "Yorcalbro" fabriqués par Yorkshire Imperial (Canada)	64
III-3	Tubes en cuivre Composition des alliages utilisés par Yorkshire Imperial (Canada) pour la fabrication des tubes de cuivre	65
III-4	Tubes en cuivre Pression de service nominales des tubes de 1" fabriqués par Noranda Copper Mills Ltd (Canada)	
IV-1	Tubes d'aluminium Caractéristiques des tubes de 8 pouces fabriqués par Reynolds Aluminium (Canada)	74
IV-2	Tubes d'aluminium Composition des alliages utilisés par Alcoa (E.U.) pour la fabrication des tubes d'aluminium	75
IV-3	Tubes d'aluminium Caractéristiques des tubes carrés produits par la société Alcan (Canada)	76
IV-4	Tubes d'aluminium Pressions de service nominales des tubes en alliages Alcan-15 produits par étirage par la société Alcan (Canada)	78
V-1	Tuyaux en plomb Dimensions et poids par mètre linéaire des tuyaux en plomb disponibles sur le marché européen	85
V-2	Tuyaux en plomb Gamme des dimensions disponibles sur le marché nord-américain	86

LISTE DES TABLEAUX (suite)

No.		Page
VI-1	Tuyaux en CPV Caractéristiques des tuyaux fabriqués par Cegedur (France)	92
VI-2	Conduits en CPV rigide Caractéristiques des conduits pour installations électriques fabriqués par Scepter (Canada)	93
VI-3	Tuyaux en polyéthylène Caractéristiques des tuyaux fabriqués par Du Pont (Canada)	95
VII-1	Tuyaux en béton non armé Caractéristiques des tuyaux fabriqués par Concrete Pipe Company (Canada)	103
VII-2	Tuyaux en béton armé Caractéristiques des tuyaux fabriqués par la Société des tuyaux Bonna (France)	105
VII-3	Tuyaux en béton précontraint Caractéristiques des tuyaux fabriqués selon le procédé Sentab par la Société Nationale des Matériaux de Construction (Algérie)	107
VII-4	Tuyaux en béton précontraint avec âme tôle Caractéristiques des tuyaux fabriqués par Cannon Ltée (Canada)	108
VIII-1	Tuyaux en amiante-ciment Caractéristiques des tuyaux-pression fabriqués par Johns-Manville (Canada)	118
VIII-2	Tuyaux en amiante-ciment Caractéristiques des tuyaux sans pression fabriqués par John-Manville (Canada)	119

LISTE DES TABLEAUX (suite)

Nb.		Page
IX-1	Tuyaux en grès vitrifié Caractéristiques des tuyaux de catégorie "Régulière" fabriqués par National Sewer Pipe Ltd (Canada)	124
X-1	Les tubes en caoutchouc Principaux types, variantes pour chaque type et diamètre intérieurs minimum et maximum des boyaux fabriqués par Uniroyal (Canada)	134
X-2	Les tubes en caoutchouc Diamètres intérieurs et extérieurs, guipages, pression et poids des boyaux "Rockproof" fabriqués par Uniroyal (Canada)	135
XI-1	Tubes de verre Caractéristiques des tubes de verre "Pyrex" fabriqués par "L'Équipement industriel en verres spéciaux (France)".	144
XIII-1	Tubes en nickel et alliages de nickel Composition chimique du nickel et de ses principaux alliages	150
XX-1	Coûts comparés pour l'achat et l'installation d'un système-type de tuyauterie complexe de 150 mètres de long selon divers matériaux fréquemment utilisés.	
	A : Diamètre 2 pouces	219
	B : Diamètre 4 pouces	220
	C : Diamètre 6 pouces	221
XX-2	Coûts comparés pour l'achat et l'installation d'un pipeline- type de 300 mètres de long selon divers matériaux fréquemment utilisés	
	A : Diamètre 2 pouces	222
	B : Diamètre 4 pouces	223
	C : Diamètre 6 pouces	224

LISTE DES TABLEAUX (suite)

No.	Annexe	Relations usages/produits Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et tuyaux	Page
	Annexe	Caractéristiques des principaux matériaux utilisés dans la fabrication des tubes et tuyaux	265
			278

SYMBOLES

Les symboles suivants ont été employés dans le rapport :

kl	:	kilomètre
m	:	mètre
m. li.	:	mètre linéaire
cm	:	centimètre
cm ²	:	centimètre carré
mm	:	millimètre
kg	:	kilogramme
pi	:	pied
'	:	pied
pl. li.	:	pied linéaire
po	:	pouce
"	:	pouce
po ²	:	pouce carré
diam.	:	diamètre
diam. nom.	:	diamètre nominal
∅	:	diamètre

Le trait d'union (-) entre deux diamètres indique qu'il s'agit de la gamme complète compris entre ces deux diamètres inclusivement.

La virgule (,) indique les décimales.

INTRODUCTION

1. RAPPEL DU MANDAT

L'Organisation des Nations-Unies pour le développement industriel a confié à Sorès Inc., de Montréal, la mission d'effectuer une étude technico-économique des possibilités de développement de la production de tubes et tuyaux en Algérie.

Le mandat ainsi confié à Sorès comporte les étapes suivantes :

- Détermination du potentiel de production actuel
- Définition des produits et des usages qu'englobe le secteur des tubes et tuyaux
- Détermination du marché actuel et futur
- Elaboration d'un plan de développement du secteur tubes et tuyaux identification de nouvelles réalisations possibles.

2. OBJET DU RAPPORT

Le présent rapport a pour but de traiter des aspects de l'offre et de la demande dans un contexte général, presque universel, et non seulement dans le contexte de la situation prévalant en Algérie. En ce sens il constitue un document de référence qui sert à faire le lien entre ce qui existe actuellement en Algérie et ce qui pourrait potentiellement exister dans le futur, cette potentialité étant déterminée par les conditions propres à l'Algérie et actualisée par le plan de développement proposé. Il constitue de fait la deuxième étape du mandat mentionnée précédemment.

De par sa nature, ce rapport est essentiellement théorique et ne cherche donc pas à tenir compte de façon systématique de conditions particulières dictées par des contraintes géographiques, techniques et même économiques. Toutefois devant la complexité et l'étendue du domaine couvert, une certaine sélection a dû être effectuée. Celle-ci s'est faite non au niveau de l'énumération, mais plutôt à celui de l'importance accordée au traitement des produits, techniques de fabrication, normes, usages, etc, compte tenu des réalités propres au contexte algérien dans le cadre temporel du plan de développement à définir.

Une autre remarque à apporter, et non la moins importante, concerne l'esprit dans lequel le rapport a été conçu. Nous n'avons pas voulu produire un texte de nature encyclopédique ni de type "Traité" ou "Manuel", mais plutôt une synthèse de l'état actuel et également de l'évolution technologique prévisible à moyen terme dans le domaine. Il s'ensuit que le traitement des diverses composantes se veut plutôt général que particulier et ne s'attache pas à l'information que l'on retrouve

généralement dans le commerce. Ainsi à titre d'exemple les gammes de tuyaux fabriqués mentionnées ne prétendent pas représenter tout ce qui peut se faire à l'heure actuelle mais sont plutôt indicatives de ce qui se fabrique généralement, ou de ce qui est considéré comme une gamme de fabrication normale pour ce type de produits.

Ceci nous amène finalement à préciser la définition de tube ou tuyau telle qu'on l'entend dans le cadre du rapport. Nous considérons en fait pour les fins de l'étude les tubes et tuyaux qui sont fabriqués exclusivement en usine. Nous excluons ainsi les conduites fabriqués sur chantier qu'elles soient en béton, en acier ou en autres matériaux. On retrouve généralement ce type de conduite dans les réseaux importants d'assainissement (béton) d'adduction d'eau ou de ventilation où leur fabrication relève d'ailleurs davantage du génie ou de la ferblanterie.

3. STRUCTURE ET CONTENU DU RAPPORT

Le rapport se compose essentiellement de trois parties, complétées d'une annexe. Dans la première partie, nous traitons des produits en tant que tels, sans mettre l'accent sur leurs utilisations ; il s'agit plutôt des aspects techniques tels les gammes fabriqués, les techniques de fabrication, les revêtements, etc. Dans la deuxième partie, nous nous attachons aux diverses applications des tubes et tuyaux, ainsi qu'à l'aspect de concurrence entre produits pour un même usage.

Finalement nous discutons, en troisième partie, de l'évolution technologique prévisible à moyen terme.

En Annexe, nous présentons schématiquement, sous forme de tableaux, une liste de produits et des usages traités dans le corps du rapport ainsi que les diverses relations qui existent entre les deux.

3.1 Partie I : Les produits

Dans cette partie, nous discutons essentiellement des tubes et tuyaux en tant que produits. Les divers sujets abordés sont traités selon le type de matériau utilisé. Ainsi la Partie I est subdivisée en treize chapitres, chacun correspondant à un type ou famille de matériaux. Ces chapitres sont :

- Chapitre I : Les tubes et tuyaux en acier
- Chapitre II : Les tubes et tuyaux en fonte
- Chapitre III : Les tubes et tuyaux en cuivre
- Chapitre IV : Les tubes et tuyaux en aluminium
- Chapitre V : Les tubes et tuyaux en plomb
- Chapitre VI : Les tubes et tuyaux en matières plastiques

Chapitre VII :	Les tubes et tuyaux en béton
Chapitre VIII :	Les tubes et tuyaux en amiante-ciment
Chapitre IX :	Les tubes et tuyaux en grès
Chapitre X :	Les tubes et tuyaux en caoutchouc
Chapitre XI :	Les tubes et tuyaux en verre
Chapitre XII :	Les tubes et tuyaux en bois
Chapitre XIII :	Les tubes et tuyaux en matériau divers

Pour chacun de ces matériaux ou familles de matériaux les aspects suivants sont abordés :

1. Généralités

Cette section comprend généralement un bref historique ainsi que certaines considérations générales sur le matériau ou sur le produit.

2. Propriétés

Sous cette rubrique sont traités les diverses propriétés physiques et mécaniques du matériau ainsi que du ou des produits fabriqués à partir de ce matériau.

Notons toutefois que les caractéristiques techniques ne sont pas les seules à intervenir dans le choix final du matériau pour un usage donné. Il existe en effet d'autres critères de nature autre que purement techniques, qui entrent en ligne de compte tels le coût, la disponibilité locale, la qualité de fabrication, etc.

3. Gamme des produits

Font l'objet de cette section les divers types de produits fabriqués, leurs formes, leurs dimensions, leurs résistances etc. On y traite également des alliages ou variations de compositions chimiques ainsi que des divers éléments qui peuvent entrer dans la fabrication (e.g. armatures pour béton armé). Rappelons ici que le traitement accordé aux divers aspects ne se veulent pas absolument exhaustifs mais se veut plutôt représentatif de ce qui existe ou se fait généralement.

Ainsi on peut présenter, à titre indicatif, la gamme des épaisseurs pour un tuyau d'un diamètre donné produit par tel fabricant important. Il n'est cependant pas dans l'esprit du présent rapport de donner l'ensemble de ces caractéristiques, celles-ci étant couramment disponibles dans le commerce

d'une part, et d'autre part, peuvent varier largement d'un fabricant à l'autre.

4. Techniques de fabrication

Dans cette section, on décrit le ou les procédés de fabrication des différents types de tubes et tuyaux les plus généralement utilisés.

5. Normes

Les normes les plus couramment utilisées en Europe Occidentale et en Amérique du Nord relativement à la fabrication des tubes et tuyaux concernés sont mentionnées dans cette section, lorsqu'elles existent évidemment. Ces normes sont généralement celles des organismes suivants : Association française de normalisation (AFNOR), Organisation internationale de normalisation (ISO), American National Standard Institute (ANSI), American Society of Testing Material (ASTM), British Standards Institution (BSI), Deutscher Normenausschuss (DIN) et Canadian Standards Association (CSA). La principale raison pour le choix de ces normes est le fait qu'à nos yeux, elles sont celles qui représentent le plus d'intérêt à court et à moyen terme pour l'Algérie.

6. Traitements de surface

Sont indiqués dans cette section les principaux traitements auxquels peuvent être soumis les tubes et tuyaux concernés. Ces traitements peuvent être effectués par l'application de revêtements, intérieurs ou extérieurs, ou par des procédés électro-chimiques ou de nature similaire.

7. Assemblage

Les méthodes les plus couramment employées pour l'assemblage des tubes et tuyaux sont mentionnées dans cette sous-section. On y mentionne également, lorsque nécessaire, les applications particulières à tel ou tel type d'assemblage.

8. Utilisations

Dans cette sous-section sont mentionnées succinctement les principales utilisations associées aux tubes et tuyaux concernés. Cette énumération se distingue des usages traités en deuxième partie du rapport en ce sens qu'elle ne tient compte ni des contraintes associées à l'usage ni des produits concurrents, mais a plutôt un but indicatif pour le lecteur.

3.2 Partie II : Les usages

Le but de cette partie est d'identifier et de présenter une liste aussi complète que possible des besoins pouvant être satisfaits par l'utilisation de tubes et

tuyaux, de définir les normes et contraintes d'utilisation propres à chaque usage, et, finalement d'indiquer les types de tubes et tuyaux aptes à les satisfaire. La liste des usages comprend non seulement les usages existant actuellement en Algérie, mais également ceux existant dans d'autres pays (Europe, Amérique du Nord). En ce sens elle se veut globale et est analogue à celle des produits présentés à la partie I du présent rapport.

L'importance du champ d'application des tubes et tuyaux, le traitement du problème des choix techniques à l'intérieur de ce champ, et la variété des normes d'utilisation nécessitent l'élaboration de nomenclatures bien définies concernant les usages de tubes et tuyaux ainsi que les contraintes d'utilisation qui correspondent à ces usages. Ces nomenclatures conjointement avec la nomenclature des produits présentés à la partie I doivent constituer un cadre formel mais souple d'organisation des données à l'intérieur duquel les relations entre usages, produits et applications pour ces produits (par le biais des usages) puissent se faire le plus directement possible et selon une certaine logique.

La nomenclature des usages ainsi définie comprend deux grands niveaux, l'un représentant les grandes catégories d'utilisateurs, et l'autre les usages proprement dits. Les utilisateurs correspondent à des secteurs ou ensemble d'usages de même nature (agriculture, bâtiment) alors que les usages représentent les diverses fonctions à l'intérieur de ces secteurs ou ensembles pouvant être remplies par des tubes ou tuyaux (adduction, drainage, etc.)

A chaque grande catégorie d'utilisateurs ainsi définies pour les fins du présent rapport correspond un chapitre. Ces chapitres sont :

- Chapitre XIV : Bâtiments
- Chapitre XV : Services publics
- Chapitre XVI : Agriculture
- Chapitre XVII : Industrie minière
- Chapitre XVIII : Forage, extraction et collecte
- Chapitre XIX : Transport par pipeline
- Chapitre XX : Tuyauteries industrielles
- Chapitre XXI : Equipements industriels
- Chapitre XXII : Matériel de transport et de manutention
- Chapitre XXIII : Mobilier et serrurerie

Pour chacun de ces chapitre, la structure suivante est généralement suivie :

1. Définition

Cette section a pour but d'expliciter brièvement la couverture de la catégorie d'utilisateur en question, ce qu'elle inclut et ce qu'elle exclut. Certaines catégories sont directement reliées à un secteur particulier (agriculture, industrie minière) alors que d'autres se veulent plus générales et sont définies plutôt par rapport à la nature des usages qu'elles englobent qu'à la nature du secteur lui-même (tuyauteries industrielles).

2. Usages

Dans cette section, on aborde l'essence même du sujet, i.e. qu'on définit d'abord l'usage pour ensuite expliciter les contraintes d'utilisation qui sont associées à cet usage, ainsi que les normes lorsqu'il y a lieu. Une troisième sous-section fait le lien entre l'usage et le ou les produits aptes à le satisfaire, c'est à dire le choix des matériaux.

L'usage est une fonction qui peut être remplie par différents produits dont le nombre dépend de la définition de l'usage. Celle-ci peut être très générale ou très étroite. Plus elle est générale plus un grand nombre de produits peut remplir la fonction. Réciproquement une définition trop générale ou trop étroite rendrait donc difficile la réalisation de prévisions quantitatives de marché usage par usage. De plus une définition trop large empêcherait tout traitement significatif du problème des normes d'utilisation et des choix techniques.

Il s'ensuit que la nomenclature employée doit être suffisamment flexible pour permettre une définition plus ou moins étroite de l'usage dépendant de la nature de celui-ci et du niveau de détail auquel jouent les choix techniques. Pour chaque usage le degré de définition sera fonction du niveau à partir duquel il devient possible ou nécessaire de faire des choix techniques entre différents produits.

Mentionnons finalement que les usages de tubes dans la construction d'édifices, bâtiments, usines, etc. n'ont pas été traités à l'intérieur de chacun des secteurs ou utilisateurs mais ont été regroupés dans le secteur Bâtiment. Ceci permet de séparer lorsque nécessaire les usages propres à la construction de bâtiments des autres usages particuliers à chaque secteur.

Cette nomenclature, en plus d'être importante en soi pour les fins de la présente partie, permet d'établir un lien avec la nomenclature employée dans la matrice "utilisateurs-usages" du modèle de simulation de la demande (Rapport sur la détermination de la demande). En effet la nomenclature des usages utilisée dans la matrice mentionnée précédemment est en quelques sorte une agrégation de celle définie dans la présente partie. Cette agrégation

est due au fait que cette matrice n'inclue que les usages existant actuellement en Algérie ou prévisibles au cours de la période considérée, ceux-ci formant alors un sous-groupe de la présente nomenclature. Une autre raison est que certains usages, particulièrement ceux pour lesquels la consommation de tubes est faible par rapport à l'ensemble, ont été regroupés pour fins de prévision.

2.1 Les contraintes et normes d'utilisation

Dans cette section sont explicitées les diverses contraintes tant impératives qu'accessoires propres à l'usage concerné. Les contraintes impératives sont celles qui doivent absolument être satisfaites si l'on veut que l'usage remplisse sa fonction adéquatement. Elles sont généralement d'ordre technique. Quant aux contraintes accessoires, elles n'affectent pas directement la fonction remplie par l'usage.

Sont également mentionnées lorsqu'il y a lieu les normes régissant ou déterminant les caractéristiques particulières auxquelles doivent répondre les matériaux ou produits employés pour satisfaire l'usage.

2.2 Le choix des matériaux

Pour chaque usage préalablement défini et compte tenu des contraintes d'utilisation propres à cet usage, les différents types de produits aptes à les satisfaire seront déterminés dans cette section avec explications des avantages et désavantages pour chacun.

Cette relation ne détermine pas le choix final du matériau ou produit à utiliser pour un usage donné, ce choix étant fait à une étape ultérieure dans le cadre du rapport sur la demande. Elle a plutôt pour rôle d'établir un certain ordre de préférence entre produits qui sont aptes techniquement à satisfaire un usage donné.

D'ailleurs les critères précédant au choix d'un matériau plutôt qu'un autre ne sont pas toujours d'ordre technique ou économique. Il arrive fréquemment qu'ils soient le fait d'habitudes, de tradition, de groupes d'influences ou autres facteurs de même nature. Ceci est particulièrement vrai dans les secteurs de la plomberie, des installations sanitaires, et autres domaines d'utilisation régis par des normes ou codes d'application obligatoire et qui, par réglementation, peuvent exclure d'un usage donné un matériau apte à satisfaire techniquement à toutes les contraintes associées à cet usage. C'est pourquoi d'un pays à l'autre, et même d'une région à l'autre à l'intérieur d'un même pays, on assiste souvent à l'emploi préférentiel ou absolu de matériaux différents pour un même usage.

Remarquons finalement que dans le cas de plusieurs usages il se fait au niveau du choix des matériaux une certaine élimination de produits techniquement

optes, voire même désirables pour certains usages, mais dont l'utilisation pour ces usages, en raison de facteurs surtout économiques, n'est jamais considéré. C'est le cas en particulier du tuyau en acier inoxydable qui bien que pouvant satisfaire techniquement à une foule d'usages, n'est employé que pour des applications particulières en raison de son coût de production élevé.

3.3 Partie III : L'évolution technologique

Dans cette troisième partie du rapport, nous tentons d'identifier les principales tendances de l'évolution technologique à moyen terme dans le secteur des tubes et tuyaux.

3.4 Annexes

Deux tableaux sont présentés en annexe. Le premier est un tableau détaillé, usage par usage, indiquant les zones de concurrence entre les différents matériaux compte tenu de la situation actuelle et de l'évolution technologique prévisible d'ici 1980, ainsi que les produits concurrents des tubes et tuyaux pour un usage donné s'il y a lieu.

Le deuxième tableau présente une comparaison des caractéristiques des principaux matériaux utilisés dans la fabrication de tubes et tuyaux.

PARTIE I
LES PRODUITS

CHAPITRE I

LES TUBES ET TUYAUX EN ACIER

1. GENERALITES

Les plus anciennes civilisations d'Assyrie, de Babylone, d'Egypte, de Chine, d'Inde, de Grèce et de Rome connaissaient toutes le fer et l'acier et l'utilisaient à de très nombreuses fins. Elles les employaient surtout pour en fabriquer des armes, des outils des ornements et des bijoux. Il n'existe cependant aucune indication sur l'utilisation effective du fer ou de l'acier pour la fabrication de tuyaux. On avait probablement constaté leur faible résistance à la corrosion, et ils avaient sans doute été délaissés en faveur d'autres matériaux tels que la pierre, le grès, le béton, le bois, le cuivre, le plomb qui étaient alors d'usage courant et qui se prêtaient davantage à la fabrication de canalisations compte tenu des techniques connues à ces époques.

Il fallut attendre l'année 1815 avant d'assister à l'introduction définitive de l'acier comme matériau de canalisation. C'est en effet cette année là que l'inventeur d'origine écossaise William Murdoch proposa à la ville de Londres l'emploi du gaz manufacturé pour l'éclairage public. Afin d'assurer de façon stable, continue et efficace l'alimentation des becs à partir de l'usine à gaz, Murdoch se servit de canons de vieux mousquets qu'il vissa bout à bout, réalisant ainsi la première canalisation en acier dont l'histoire nous rapporte l'existence.

Devant la popularité sans cesse croissante de l'éclairage au gaz, la demande pour les tuyaux augmenta proportionnellement, ce qui stimula de nombreux inventeurs à rechercher une façon plus rapide, davantage efficace et moins onéreuse de produire ces tuyaux.

Les premiers succès appartiennent à James Russel, qui en 1824, breveta un procédé de fabrication dont l'innovation consistait à réunir les lèvres chauffées à blanc d'un feuillard préalablement plié pour ensuite le recuire et l'arrondir par laminage.

Ce premier succès fut immédiatement suivi l'année suivante d'un deuxième procédé inventé celui-là par Cornelius Whitehouse. Par ce procédé il était possible d'obtenir d'une façon plus rapide et beaucoup moins onéreuse un tuyau presque parfait par simple étirage d'un feuillard préalablement chauffé à travers une matrice en forme de cloche. Cette dernière permettait de plier le feuillard et de réunir les lèvres qui se soudaient ensemble. Cette technique fut utilisée pendant de nombreuses années pour la fabrication de tuyaux soudés longitudinalement.

Toutefois la mauvaise résistance et le manque d'uniformité des soudures résultant de techniques simples et d'une absence presque totale de moyens de contrôle appropriés provoquaient de fréquentes défaillances des tuyaux. Afin de pallier

à ces défauts et aussi de répondre à une demande grandissante pour des tuyaux plus résistants on se tourna alors vers la possibilité de fabriquer des tubes d'acier et de fer sans soudure. Les premiers essais firent appel à des méthodes d'extrusion identiques à celles déjà employées alors pour la fabrication de tuyaux de plomb et de certains autres métaux. Un tel procédé fut breveté en Angleterre en 1836 par un nommé Hanron, mais il s'avéra peu pratique.

En 1840, un procédé fut développé où le tuyau était obtenu par perçage d'une billette à chaud et par laminage de la pièce cylindrique creuse ainsi obtenue. Le procédé échouait toutefois sur le perçage de la billette qui devait être parfaitement concentrique pour donner des résultats adéquats.

Cinq ans plus tard, on perfectionna une méthode par emboutissage profond, où le tuyau était obtenu par l'emboutissage progressif d'une tôle ronde. Une fois la forme cylindrique obtenue, on coupait l'extrémité fermée pour obtenir le produit fixe. Ces deux méthodes furent cependant peu utilisées en raison du coût élevé de fabrication. En 1886, l'ingénieur allemand Mannesmann, reprenant l'idée du perçage d'une billette à chaud, en perfectionna les techniques de fabrication de sorte qu'il était désormais possible de produire des tuyaux sans soudure efficacement et à peu de frais.

Ce développement coïncida avec la grande popularité que connut la bicyclette durant la dernière décennie du dix-neuvième siècle et qui nécessitait des quantités toujours plus grandes de tubes sans soudure. Après 1900, l'avènement de l'automobile signala le déclin de l'ère du cycle. Cependant, l'utilisation toujours croissante de l'automobile et des demandes toujours plus grandes de carburants et de lubrifiants qu'elle suscita, stimulèrent intensément l'industrie pétrolière et ouvrirent ainsi un marché extrêmement important pour les tubes sans soudure.

Aujourd'hui, le marché des tubes d'acier est plus important que celui de tous les autres tubes métalliques réunis. Qu'il s'agisse du transport de l'eau, de l'air, de la vapeur, des gaz, de l'huile, de la fabrication d'essieux, de poteaux, de mobiliers, de véhicules, de jouets, d'échafaudages, de structures, ils sont omniprésents dans toutes les grandes activités et réalisations de l'homme.

2. PROPRIÉTÉS

L'acier, sous sa forme la plus simple, est essentiellement un alliage de fer pur et d'une quantité de carbone généralement inférieure à 2%. Ses propriétés générales sont : l'élasticité, la dureté, la résistance, la malléabilité, la ductilité et un point de fusion élevé.

De tous les matériaux employés pour la fabrication de tubes, l'acier est sans doute l'un de ceux où la diversité des nuances ainsi que des alliages est la plus étendue. Cette diversité peut être ramenée à trois grandes catégories, à savoir :

- Les aciers au carbone

- Les aciers alliés
- Les aciers inoxydables qui constituent de fait une catégorie d'alliages à part

2.1 Les aciers au carbone

Les aciers au carbone peuvent être classifiés selon leur teneur en carbone : basse, (doux) moyenne (demi-doux) et haute teneur (dur). C'est en effet le carbone qui, de par sa teneur, donne les différentes espèces d'acier au fur et à mesure que la composition en carbone augmente, les aciers deviennent de plus en plus durs, leur résistance augmente, mais ils deviennent moins malléables et, moins ductiles et plus difficiles à souder. Pour la fabrication de tubes, on emploie les aciers à basse et moyenne teneur.

En plus des effets prédominants du carbone, les propriétés de l'acier au carbone peuvent être modifiées par les effets des éléments résiduels qui sont toujours présents, soit, le manganèse, le phosphore, le soufre et le silicium. Le manganèse contribue à la résistance et à la dureté, mais à un degré moindre que le carbone. L'accroissement de ces propriétés dépend de la teneur en carbone, i.e. des aciers à haute teneur en carbone sont davantage affectés par le manganèse que les aciers à faible teneur.

Le contenu en phosphore, lorsqu'il est augmenté, résulte en une résistance et une dureté accrues, mais aussi en une diminution de la ductilité. Il améliore de plus la résistance à la corrosion atmosphérique et également l'aptitude au filetage. Le soufre, d'une façon générale, diminue la ductilité, la résistance et la soudabilité. Par contre, il améliore l'aptitude à l'usinage.

Quant au silicium, sa présence est moins efficace que celle du manganèse pour améliorer la résistance et la dureté, et affecte la qualité de la surface dans le cas des aciers à faible teneur en carbone.

L'acier, de même que le fer, se corrode dans de nombreux milieux incluant la plupart des conditions atmosphériques extérieures. Normalement, l'acier n'est pas choisi en vertu de sa résistance à la corrosion, mais pour d'autres propriétés telles la résistance, la facilité de fabrication et le coût. Aussi doit-on leur appliquer diverses méthodes de contrôle de corrosion, celles-ci étant décrites à la section 6 du présent chapitre.

Concernant la corrosion atmosphérique, les diverses nuances d'acier peuvent afficher des degrés de résistances différents. Ces différences se présentent sous la forme d'un taux de perte de métal due à la rouille.

Dans certaines circonstances, l'addition de 0,3% de cuivre à l'acier au carbone peut réduire le taux de rouille de 25% et même de 50%. La formation d'un dépôt de rouille, dense et fortement adhérent, est un facteur de diminution du taux d'attaque. L'amélioration peut être suffisante pour encourager l'emploi sans

protection et peut également étendre la durée de vie de la peinture en diminuant le taux de corrosion sous la couche de peinture.

Le taux de rouille sera habituellement plus élevé au cours de la première année d'exposition à l'atmosphère qu'au cours des années suivantes et s'accroîtra de façon significative avec le degré de pollution et d'humidité dans l'air. L'acier présente une résistance relativement bonne aux alcalies, à plusieurs types d'acides organiques et aux acides hautement oxydants. L'addition de cuivre peut contrebalancer les effets dommageables de la présence de phosphore et de soufre dans l'acier lorsque ce dernier est employé dans les acides dilués.

Dans les milieux contenant des nitrates, des hydroxydes, de l'ammoniaque et de l'hydrogène sulfure, l'acier est peut être susceptible de fissuration par corrosion résultant de l'état latent d'efforts ("stress corrosion cracking").

Les tuyaux en acier au carbone représentent la majeure partie du tonnage, des tuyaux fabriqués, en métaux ferreux. Ils sont employés à un grand nombre de fins telles canalisations d'eau, évacuation d'eaux usées et de transport de gaz, ossature de mobilier, éléments de charpente, pièces mécanique, etc.

2.2 Les aciers alliés

Les aciers alliés peuvent être définis comme ceux qui doivent leurs propriétés améliorées à la présence d'un ou plusieurs éléments spéciaux ou à la présence de proportions plus importantes d'éléments tels de manganèse et le silicium qui sont présents ordinairement dans l'acier au carbone.

Au sens le plus large, les aciers alliés peuvent contenir jusqu'à 50% d'éléments d'addition et l'amélioration des propriétés peut être une fonction spécifique et directe de ces éléments d'addition comme c'est le cas entre autres de l'accroissement de résistance à la corrosion des aciers à haute teneur en chrome. Toutefois, par convention, les aciers contenant plus de 4.0% de chrome sont considérés dans une catégorie d'alliages à part connu sous le nom d'aciers inoxydables.

Il existe de fait une grande variété d'alliages d'acier quoiqu'ils ne soient pas tous utilisables pour la fabrication de tubes, en raison de leur dureté élevée, de leur non soudabilité, etc.

Certains de ces alliages ont été d'abord développés pour leur résistance à la température et au fluage, alors que pour d'autres le but était la résistance à la corrosion et à l'oxydation.

Les tuyaux et raccords fabriqués d'acier contenant moins de 1,5% d'éléments d'addition, tels le chrome et le molybdène, peuvent être classifiés comme étant fait d'acier alliés à faible teneur (low alloy steel), alors que ceux fabriqués d'acier contenant jusqu'à 5% d'éléments d'addition appartiennent au groupe à moyenne teneur. Les aciers à faible teneur sont destinés à offrir une résistance

plus grande et, concernant la résistance à la corrosion, sont semblables aux aciers non-alliés, exception faite de certaines améliorations concernant le taux d'attaque par le milieu atmosphérique. Par exemple, un acier allié peut rouiller à un taux équivalent à 1/3 de celui d'un acier au carbone sans cuivre.

Les aciers à faible teneur et à haute résistance peuvent, au maximum de leur dureté, être sujets à la fissuration par corrosion issue de l'état latent d'effort en milieu à humidité élevée. Les tuyaux en acier alliés disponibles sur le marché sont souvent référés comme étant fabriqués d'acier régulier au carbone molybdène; aciers Cr = 1/2 Moly; 1 1/4 Cr - 1 Moly et 2 1/4 Cr - 1 Moly.

Les alliages intermédiaires sont ceux contenant 5 Cr - 1/2 Moly et 7 Cr - 1/2 Moly. Ceux-ci sont employés surtout pour les tuyauteries de raffineries de pétrole et des installations opérant aux environs de 1 000°F. Les tuyaux sans soudure fabriqués de ces aciers ont plusieurs fois la durée de vie de ceux fabriqués en acier régulier au carbone.

2.3 Les aciers inoxydables

L'acier inoxydable est généralement défini comme un alliage ferreux contenant au moins 11,5% de chrome. Les trois principales variétés sont :

- Austénitique - Ces aciers au chrome nickel sont employés pour leur bonne résistance à la corrosion. Ceux contenant environ 18% de chrome et 8% de nickel, avec ou sans modifications pour besoins particuliers, sont de loin les plus largement utilisées pour la fabrication de tuyaux.
- Ferritique - Ces aciers au chrome non trempables sont employés là où les conditions de service ne nécessitent pas l'addition de nickel.
- Martensitique - Durcissables par traitement à chaud. Ces aciers inoxydables sont employés surtout, pour la coutellerie, les instruments chirurgicaux, les ailettes de turbines, etc.

Divers éléments sont alliés à l'acier pour produire ces trois types d'aciers inoxydables. Chacun de ces éléments communique certaines propriétés et est employé en plus ou moins grande quantité selon les contraintes d'utilisation du produit final.

- Le chrome est l'élément alliant fondamental pour communiquer une passivité chimique aux aciers inoxydables. Cette passivité, ou résistance à la corrosion chimique, est due à la formation d'un mince film d'oxyde de chrome qui empêche fortement toute attaque chimique additionnelle. La résistance à la corrosion peut être améliorée en accroissant le contenu en chrome jusqu'à un maximum d'environ 29%. En pondérant judicieusement les divers éléments d'addition, particulièrement le carbone, le nickel, on peut obtenir avec ces alliages austéniques un large éventail de résistance mécanique et de résistance à la corrosion.

- Le nickel, deuxième en importance après le chrome, améliore les propriétés de façonnage, les propriétés à haute température, la soudabilité et particulièrement les propriétés à basses températures des aciers austénitiques. De plus, le nickel accroît leur aptitude à transporter de nombreux agents corrosifs tels les alcalies, les solutions de chlorure neutre et certains acides (dans les série 200, environ la moitié du nickel est remplacé par autant de manganèse).
- Le molybdène, accroît la résistance à température élevée et améliore davantage la résistance à la corrosion des aciers inoxydables, particulièrement aux acides organiques chauds et aux acides sulfuriques et sulfureux. Il prévient la corrosion sélective ("pitting corrosion") dans les solutions de chlorure neutre tels l'eau de mer et accroît également la résistance au fluage et à la rupture.
- Lorsque l'on ajoute du columbium (ou columbium-tantalum) à l'acier inoxydable dans une proportion de 8 à 10 fois le contenu en carbone, la précipitation de carbone de chrome est fortement diminuée, le columbium ayant une plus grande affinité pour le carbone que le chrome. Comme résultat, le carbone précipite sous forme de carbures de columbium plutôt que comme carbures de chrome lorsque le matériau est exposé aux niveaux de températures critiques. Ainsi le chrome demeure en solution solide au travers le grain et peut ainsi assurer la protection contre la corrosion intergranulaire. Il augmente aussi de façon substantielle la résistance au fluage et à la rupture.
- L'addition de titanium dans une proportion de 4 à 6 fois le contenu en carbone, permet aussi de prévenir la précipitation de carbure. Ses effets sont sensiblement les mêmes sur l'acier inoxydable que ceux du columbium.

Les aciers inoxydables se divisent en trois groupes ou séries: la série 200, la série 300 et la série 400. Dans le domaine de la tuyauterie industrielle, on fait surtout appel à la série 300, les types 304, 304L, 316, 316L et 347 étant les grades les plus généralement employés.

La série 200: Les aciers de cette série sont les derniers nés de la famille des aciers inoxydables. Ils sont de structure austénitique et sont magnétiques. Ils contiennent beaucoup plus de manganèse et moins de nickel que leur contreparties dans la série 300. Leurs propriétés physiques et mécaniques sont similaires à celles de la série 300. Il en va de même pour leur résistance à la corrosion.

La série 300: Les aciers de cette série, également de structure austénitique, sont non magnétiques et fondamentalement sont un alliage de 18% de chrome et 8% de nickel. Cette série est communément appelée série 18-8 et comprend 20 alliages de base. Elle offre une excellente résistance à la corrosion et à la fatigue mécanique, une grande facilité de fabrication et de plus offre un large éventail de types d'acier pour satisfaire diverses conditions spécifiques. Les types les plus fréquemment employés pour la fabrication de tuyaux sont les suivants :

- Type 304 : 18% de chrome; 8% de nickel; 0,08% de carbone. Ce type est le plus utilisé de tous les aciers inoxydables austénitiques. Il est résistant et ductile tout en offrant une bonne résistance à la corrosion. On l'emploie surtout pour les tubes d'échangeurs et de condenseurs, comme tubes mécaniques et comme tuyauteries alimentaires. Aux Etats-Unis, il représente environ 95% de la demande pour les tuyauteries industrielles.

- Type 304L : 18% de chrome; 8% de nickel; 0,03% de carbone et type 316L : 17% de chrome, 12% de nickel, 2% de molybdène et 0,03 de carbone.

Lorsque chauffés de 800°F à 1 500°F, ces grades à faible teneur en carbone empêchent la formation de précipitation de carbure qui peut provoquer une attaque intergranulaire en milieu corrosif. Ils sont employés lorsqu'il est nécessaire d'effectuer des soudures sur chantier en milieu corrosif.

- Type 316 : 17% de chrome, 12% de nickel, 2% de molybdène et 0,08% de carbone.

L'addition de molybdène et un contenu élevé en nickel améliore à la fois la résistance à la corrosion générale et particulièrement à la corrosion sélective. On l'emploie dans les usages où le type 304 est insatisfaisant.

Le type 316 est utilisé entre autres pour les tuyauteries d'usines de produits chimiques et les papeteries.

- Type 321 : 18% de chrome, 8% de nickel, 0,08% de carbone et titanium environ 5 fois la teneur en carbone (0,60% maximum)

L'addition de titanium stabilise l'alliage de base 18-8 en formant des carbures de titanium en lieu de carbures de chrome lorsque chauffé entre 800°F et 1 500°F. On l'emploie pour les usages où la résistance à la chaleur est importante.

- Type 347 : 18% de chrome, 8% de nickel, 0,08% de carbone et columbium, environ 10 fois la teneur en carbone (1% maximum)

Ce type est similaire au 321 sauf que le columbium est utilisé comme élément stabilisateur. Il est surtout employé pour les tubes devant être soudés sur chantier où le matériau est soumis à chauffage entre 800°F et 1 500°F. Il maintient une bonne résistance à la corrosion intergranulaire sans nécessiter de recuit après soudage.

- La série 400 : Les aciers de cette série sont fondamentalement un alliage de chrome et de fer, peu ou pas de nickel. Les divers grades peuvent être de structure martenitique ou ferritique et sont magnétiques. Comme les aciers inoxydables austénitiques, etc. offrent une très bonne résistance aux

milieux oxydants, mais par contre ils sont plus susceptibles d'être attaqués dans les applications impliquant des solutions corrosives sous conditions déaérées ou réductrices. Ils sont aussi plus sujets à l'attaque par piqûre en présence d'halogènes, les chlorures en particulier.

Ils sont plus durs et plus résistants à l'abrasion et à l'attaque par cavitation.

3. GAMME DE PRODUITS

Etant donné leurs nombreuses applications, les produits tubulaires en acier sont fabriqués dans une gamme très étendue de diamètres, d'épaisseurs, de formes, d'alliages, d'accouplement, de traitements thermiques et de finis différents.

L'industrie du tube d'acier est sans aucun doute celle où la spécialisation des produits par rapport à leur utilisation finale est la plus développée. Ainsi la United States Steel Corporation qui est le plus gros fabricant de tubes en Amérique, sinon au monde, fabrique plus de 21,000 articles tubulaires différents répartis en 22 grandes catégories d'usages auxquelles correspondent des spécifications particulières. Parmi ces grandes catégories, mentionnons les suivantes :

Tuyaux standards : Ces tuyaux, soudés ou sans soudure, sont produits en trois classes d'épaisseur de paroi et sont destinés à des usages généraux comme le transport à basse pression d'eau, de gaz, de vapeur ou d'air. Ils peuvent aussi être utilisés pour les installations sanitaires, le chauffage central et pour des structures diverses. Ces tuyaux sont mieux connus en France sous le nom de tuyaux type "gaz", série légère, série moyenne et série forte.

Tuyaux pression : Ces tuyaux soudés ou sans soudure, sont employés pour le transport de fluides à températures et pressions normales ou élevées, mais sans condition de chaleur extérieure. Ils sont habituellement fabriqués conformément aux normes ASA - B36 - 10 et API 5L et 5LX.

Tuyaux de grands diamètres ou pipeline : Ces tuyaux sont surtout employés pour le transport de gaz, de pétrole, d'eau et de solides fluidifiés.

Tuyaux de collecte (Line Pipe) : Ces tuyaux servent principalement au transport de gaz, de pétrole ou d'eau. Ils sont fabriqués conformément aux normes API 5L et 5LX.

Tubes pétrole : Tuyaux pour emploi dans l'industrie pétrolière : cette catégorie comprend trois types de tuyaux employés dans l'industrie pétrolière : le casing, le tubing et le drill pipe. Les normes utilisées sont celles de l'API : Std 5A, Std 5AX, et Std 5AC.

Tubes pression : Ces tubes sont utilisés surtout pour le transport de fluides à températures et/ou pressions élevées et peuvent être soumis à des conditions extérieures de chaleur : Tubes de chaudières, de surchauffeurs, d'économiseurs, d'échangeurs

et de condenseurs .

Tubes et tuyaux de construction : Ces produits tubulaires sont employés à diverses fins comme éléments de charpente, coffrage, pieux de fondation, etc. Entrent aussi dans cette catégorie les profilés creux pour construction, souvent de section carrée au rectangulaire.

Tubes mécaniques et de serrurerie : Ces tubes sont utilisés comme pièces mécaniques où la forme creuse s'avère nécessaire ou avantageuse. Entrent également dans cette catégorie les tubes minces soudés électriquement employés pour l'aménagement, moins courantes et autres applications similaires.

Tubes et tuyaux en aciers inoxydables : Les produits tubulaires en aciers inoxydables forment en pratique une classe à part tant au niveau des matériaux qu'à celui des marchés ou applications auxquels ils s'adressent. Ils sont habituellement répartis en trois catégories : pression, mécanique et ornemental.

3.1 Gamme des dimensions

Dans l'ensemble , les tubes et tuyaux d'acier et de ses alliages sont fabriqués dans une gamme de diamètre s'étendant généralement de 1/8 à 60 pouces et même davantage lorsque nécessaire (jusqu'à 100 pouces). Dans le bas de la gamme on peut obtenir par étirage à froid selon des procédés identiques au tréfilage des diamètres de beaucoup inférieur à 1/8". La seringue hypodermique est un exemple de ces très petits diamètres que l'on peut réussir à fabriquer.

La gamme des diamètres varie d'une part selon le procédé de fabrication et d'autre part selon les usages auxquels sont destinés les tubes. Les gammes de dimensions présentées ci-après ne se prétendent pas exhaustives, chaque tubiste produisant des gammes différentes selon le type de marché auquel il s'adresse; elles ont plutôt pour but de donner une idée de la grande diversité des produits existant dans ce secteur.

3.1.1 Tuyaux standards

Les tuyaux standards sont généralement fabriqués dans les diamètres nominaux de 1/8 à 12" selon la classe (trois classes). De nombreux fabricants toutefois se limitent à un diamètre maximum de 6". Ces tuyaux peuvent être soudés ou sans soudure lisses ou filetés manchonnés, noirs ou galvanisés. Le tableau I-1 indique les diamètres, épaisseurs et poids des tubes de type standards, séries légère, moyenne et forte fabriqués par Vallourec (France).

3.1.2 Tuyaux pression

Les tuyaux pression sont habituellement fabriqués dans les diamètres allant de 1/8 à 36 pouces. Ces tuyaux peuvent être à bouts filetés avec raccords à une extrémité, lisses au chanfreinés, noirs ou galvanisés. Ils peuvent être soudés ou sans sou-

TABLEAU I - 1

TUBES EN ACIER

Diamètres, épaisseur et poids des tubes dits "tubes gaz" fabriqués par Vallourec (France).

		TARIF 1 ISO série légère 1 (1/4 à 2) NF. E 29-027		TARIF 2 ISO série légère 2 (2-1/4 à 8)		TARIF 3 ISO série moyenne NF. E 29-025			SERIE RENFORCEE ISO série forte NF. E 29-028		
Dénomina- tions	Diamètres extérieurs approxima- tifs	Epaisseurs	Masses au mètre		Epaisseurs	Masses au mètre		Epaisseurs	Masses au mètre		
			Tubes noirs lisses	Tubes noirs filetés manchonnés		Tubes noirs lisses	Tubes noirs filetés manchonnés		Tubes noirs lisses	Tubes noirs filetés manchonnés	
	(mm)	(mm)	(kg)	(kg)	(mm)	(kg)	(kg)	(mm)	(kg)	(kg)	
1/4	13,5	2,00	0,573	0,577	2,35	0,650	0,654	2,90	0,769	0,773	
3/8	17,2	2,00	0,747	0,753	2,35	0,852	0,858	2,90	1,02	1,03	
1/2	21,3	2,35	1,10	1,11	2,65	1,22	1,23	3,25	1,45	1,46	
3/4	26,9	2,35	1,41	1,42	2,65	1,58	1,59	3,25	1,90	1,91	
1	33,7	2,90	2,21	2,23	3,25	2,44	2,46	4,05	2,97	2,99	
1 1/4	42,4	2,90	2,84	2,87	3,25	3,14	3,17	4,05	3,84	3,87	
1 1/2	48,3	2,90	3,26	3,30	3,25	2,61	3,65	4,05	4,43	4,47	
2	60,3	3,25	4,56	4,63	3,65	5,10	5,17	4,50	6,17	6,24	
2 1/4	70,0	3,25	5,35	5,46	3,65	5,97	6,08	-	-	-	
2 1/2	76,1	3,25	5,80	5,92	3,65	6,51	6,63	4,50	7,90	8,02	
3	88,9	3,25	6,81	6,98	4,05	8,47	8,64	4,85	10,10	10,30	
3 1/2	101,6	3,65	8,74	8,92	4,05	9,72	9,90	4,85	11,60	11,80	
4	114,3	3,65	9,89	10,20	4,50	12,10	12,40	5,40	14,40	14,70	
5	139,7	4,50	15,00	15,50	4,50	15,00	15,50	5,40	17,90	18,40	
6	165,1	4,50	17,76	18,36	4,50	17,76	18,36	5,40	21,30	21,90	

Source : Vallourec (France), Catalogue de produits.

dure suivant l'emploi.

3.1.3 Tuyaux de grands diamètres

Les tuyaux de grands diamètres sont habituellement fabriqués dans des diamètres allant jusqu'à 60 pouces et même davantage. Ils sont fabriqués avec soudure longitudinale ou hélicoidale, et leur production est généralement fonction de commandes particulières.

3.1.4 Line Pipe

Les tuyaux de collecte ou "line pipe" sont produits dans les dimensions de 1/8" de diamètre nominal à 48" de diamètre réel. Ces tubes sont fabriqués avec extrémités lisses, filetées, chanfreinées, rayées, bridées ou évasées en fonction des divers types d'accouplement mécaniques ou de joints soudés. Ils sont soit soudés, soit sans soudure. Dans ce dernier cas ils peuvent être fabriqués jusqu'à 30 pouces quoique habituellement les fabricants se limitent à 16 ou 20 pouces. Quant aux tubes soudés, ils sont souvent fabriqués dans les diamètres nominaux de 1/8" à 4" par soudure continue, et de 2 3/8" à 16" de diamètres extérieurs avec soudure par résistance électrique et de 18" à 48" de diamètre extérieur par soudure sous arc double immergé. Dans le cas des tuyaux soudés hélicoidalement, les diamètres sont de 6 à 18 pouces.

Le Tableau I-2 présente la gamme des diamètres de line-pipe fabriqués par Bethlehem Steel (E.U.). Pour chaque diamètre sont indiqués l'épaisseur minimum, avec le poids par pied correspondant, et les résistances à la pression intérieure selon les nuances d'acier employées. Le tableau I-3 montre à titre d'exemple, pour le diamètre de 42" le choix des épaisseurs de paroi, les poids correspondants et les résistances à la pression selon les nuances d'acier employées.

3.1.5 Tubes pétrole

Les gammes de dimensions pour ces produits tubulaires sont les suivantes :

- Les tuyaux "casing" sont généralement fabriqués dans les diamètres extérieurs réels de 4 1/2" à 20" inclusivement et selon diverses épaisseurs. Les extrémités sont habituellement filetées (avec filets courts ou longs) et fournis avec les accouplements. Cependant, si nécessaires, ils peuvent être préparés pour satisfaire d'autres types de joints. Il est fabriqué par soudure ou sans soudure, ce dernier procédé étant le plus utilisé.
- Le "drill pipe" est produit de façon générale dans les diamètres extérieurs réels de 2 3/8" à 6 5/8" selon diverses épaisseurs. Ce tuyau est habituellement refoulé intérieurement ou extérieurement ou les deux à la fois, et est fourni avec des extrémités lisses pour permettre la soudure d'outils ou avec des filets spéciaux permettant l'utilisation d'outils remplaçables. Il est pratiquement toujours fabriqué sans soudure.

TABLEAU I - 2

TUYAUX EN ACIER

Diamètres, épaisseur minimum de paroi, poids et résistance à la pression, selon le procédé de fabrication et les nuances d'acier, des tuyaux line-pipe fabriqués par Bethlehem Steel, (Etats-Unis).

PROCÉDÉ	DIAMÈTRE EXTÉRIEUR	ÉPAISSEUR MINIMUM	POIDS (lb/pi.)	PRESSION INTERNE EN LIVRES PAR POUCE CARRÉ, SELON LES NUANCES D'ACIER						
				A	B	X42	X46	X52	X60	X65
SOUDAGE PAR RESISTANCE EN COURSE	2 3/8	0,065	1,60	1.640	1.920	2.300	2.520	2.850	3.280	-
	2 7/8	0,083	2,47	1.730	2.020	2.430	2.660	3.000	3.460	-
	3 1/2	0,083	3,03	1.420	1.660	1.990	2.180	2.470	2.850	-
		0,083	3,47	1.240	1.450	1.740	1.910	2.160	2.490	-
	4 1/2	0,083	3,92	1.110	1.290	1.550	1.700	1.920	2.210	-
	5 9/16	0,188	10,79	2.020	2.370	2.840	3.110	3.510	4.060	-
	6 5/8	0,109	7,59	990	1.150	1.380	1.510	1.710	1.970	-
	8 5/8	0,188	16,94	1.310	1.520	1.830	2.000	2.270	2.620	-
	10 3/4	0,188	21,21	1.050	1.220	1.470	1.610	1.820	2.100	-
	12 3/4	0,188	25,22	880	1.030	1.240	1.360	1.530	1.770	-
	14	0,210	30,93	900	1.050	1.260	1.380	1.560	1.800	-
	16	0,203	34,25	760	890	1.060	1.170	1.320	1.520	-
SOUDAGE A L'ARC IMMERGE	18	0,250	47,39	830	970	1.170	1.280	1.440	1.670	1.810
	20	0,250	52,73	750	880	1.050	1.150	1.300	1.500	1.620
	22	0,250	58,07	680	800	950	1.050	1.180	1.360	1.480
	24	0,250	63,41	620	730	880	960	1.080	1.250	1.350
	26	0,250	181,50	580	670	810	880	1.000	1.150	1.250
	28	0,250	195,60	540	620	750	820	930	1.070	1.160
	30	0,250	79,43	500	580	700	770	870	1.000	1.080
	32	0,250	84,77	470	550	660	720	810	940	1.020
	34	0,250	90,11	440	510	620	680	760	880	960
	36	0,250	95,45	420	490	580	640	720	830	900
	38	0,250	100,79	390	460	550	610	680	790	860
	40	0,250	106,13	380	440	520	580	650	750	810
42	0,250	11,47	360	420	500	550	620	710	770	

Source: Bethlehem Steel (Etats-Unis), Catalogue de produits.

TABLEAU I - 3

TUYAUX EN ACIER

Epaisseurs, poids et résistance à la pression selon les nuances d'acier des tuyaux line-pipe de 42" de diamètre soudés à l'arc immergé fabriqués par Bethlehem Steel (Etats-Unis).

EPAISSEUR (pouces)	POIDS (lb/pi.)	PRESSION INTERNE EN LIVRES PAR POUCE CARRÉ, SELON LES NUANCES D'ACIER						
		A	B	X42	X46	X52	X60	X65
0,251	111,47	360	420	500	550	620	710	770
0,281	125,20	400	470	560	620	700	800	870
0,312	138,91	450	520	620	680	770	890	970
0,344	153,04	490	570	690	750	850	980	1.060
0,375	166,71	540	620	750	820	930	1.070	1.160
0,406	180,35	580	680	810	890	1.010	1.160	1.260
0,438	194,42	630	730	880	960	1.080	1.250	1.360
0,469	208,03	670	780	940	1.030	1.160	1.340	1.450
0,500	221,61	710	830	1.000	1.100	1.240	1.430	1.550
0,531	235,18	760	880	1.060	1.160	1.310	1.520	1.640
0,562	248,72	800	940	1.120	1.230	1.390	1.610	1.740
0,594	262,68	850	990	1.190	1.300	1.470	1.700	1.840
0,625	267,18	890	1.040	1.250	1.370	1.550	1.790	1.930
0,656	289,66	940	1.090	1.310	1.440	1.620	1.870	2.030
0,688	303,56	940	1.150	1.380	1.510	1.700	1.970	2.130
0,719	317,00	1.030	1.200	1.440	1.570	1.780	2.050	2.230
0,750	330,42	1.070	1.250	1.500	1.640	1.860	2.140	2.320
0,781	343,82	1.120	1.300	1.560	1.710	1.930	2.230	2.420
0,812	357,19	1.160	1.350	1.620	1.780	2.010	2.320	2.510
0,875	384,32	1.250	1.460	1.750	1.920	2.170	2.500	2.710

Source: Bethlehem Steel (Etats-Unis), Catalogue de produits.

- Le "tubing" est produit dans les diamètres extérieurs de 1,050 à 4,5" et selon diverses épaisseurs. Les extrémités sont généralement filetées et munies d'accouplements et peuvent être refoulées ou non extérieurement. Des joints filetés intégrés usinés à partir d'extrémités refoulées sont aussi employés. Ce tube peut être soudé ou sans soudure.

Tous ces tubes et tuyaux peuvent être fabriqués dans un grand nombre de nuances d'acier.

3.1.6 Tubes pression

D'une façon générale, ces tubes possèdent des diamètres extérieurs compris entre 1/2 et 10 pouces avec des épaisseurs variant entre 0,035 et 2,0 pouces. Ils peuvent être soudés ou sans soudure et fabriqués d'aciers au carbone, alliés ou inoxydables.

Les dimensions habituellement fabriquées pour les tubes d'usages particuliers par United States Steel Corporation sont les suivants :

- Tubes de chaudière et de surchauffeur : 1/2 à 5" de diamètre extérieur avec épaisseurs minimum de paroi variant entre 0,035 à 0,500 pouces.
- Tubes d'échangeurs et de condenseurs : 1/2 à 3" de diamètre extérieur avec épaisseur minimum de paroi de 0,035 pouces.
- Tubes de raffineries : 2 à 9" de diamètre extérieur avec épaisseur minimum de paroi de 0,220 pouces.
- Tubes pour service à haute température : 1/2 à 10" de diamètre extérieur avec épaisseur minimum de paroi comprise entre 0,068 et 1 1/8 pouces.

3.1.7 Tubes et tuyaux de construction

Ces produits sont généralement fabriqués dans les diamètres suivants selon leur forme :

Carrée :	1,0 x 1,0" à 12,0 x 12,0" avec épaisseur minimum de paroi variant entre 0,10 et 0,50 pouces.
Ronds :	1,0 à 16,0 pouces avec épaisseur minimum de paroi comprises entre 0,1 et 0,5 pouce.
Rectangulaires :	2,0 x 1,0 à 12,0 x 8,0 pouces avec épaisseur minimum de paroi comprise entre 0,1 et 0,5 pouce.

Ils sont soudés ou sans soudure, formés à chaud ou à froid.

Pour les tuyaux soudés employés comme pieux de fondation, les diamètres vont de 8,0 à 36 pouces et parfois davantage.

- Tubes mécaniques et de serrurerie

Les tubes pour usages mécaniques sont fabriqués sans soudure selon des diamètres extérieurs allant de 3/8 à 10 3/4 pouces (certains fabricants vont jusqu'à 16 pouces pour les tubes ronds et selon une grande variété d'épaisseurs, de formes (rondes, carrés, rectangulaires, ovales, octogonales etc), d'aciers (ou carbone alliés, inoxydables) et de finis.

Le Tableau I-4 présente les diamètres intérieurs et extérieurs, les longueurs maximums et le poids moyen des tubes pour usages mécaniques série 1 fabriqués par Vallourec (France).

Quant aux tubes de serrurerie, ils sont habituellement fabriqués par soudure électrique dans des diamètres extérieurs de 3/4 à 4 pouces inclusivement et selon diverses épaisseurs. En France, ils sont souvent dénommés "tubes minces soudés électriquement" et sont fabriqués en 4 qualités (101, 102, 103 et 105). Ils sont produits suivant diverses formes (rondes carrées, rectangulaires, profilées avec ailettes longitudinales, etc).

Le Tableau I-5 présente les dimensions et poids des tubes minces et ronds soudés électriquement selon les qualités 101, 102 et 103 généralement fabriqués en France.

3.1.8 Tubes et tuyaux en aciers inoxydables

Ces produits, d'emplois relativement spécialisés, sont disponibles soudés ou sans soudure dans des dimensions qui sont fonctions de leur usage final et aussi de leur procédé de fabrication.

- Les tubes et tuyaux pression sont fabriqués habituellement dans les dimensions suivantes :

Sans soudure : 0,375 à 24,0 pouces de diamètre nominal. La plupart des fabricants se limitent toutefois à 6". Il existe par contre certains tubistes spécialisés tels Cameron (E.U.) qui produisent des tuyaux en acier inoxydable par extrusion jusqu'à 50" de diamètre extérieur, avec épaisseur de paroi pouvant atteindre 5 pouces.

Soudés : 3,0 à 30 pouces de diamètre nominal avec épaisseur variant entre 0,083 et 0,625 pouces.

- Les tubes mécaniques soudés et sans soudure sont généralement fabriqués dans les diamètres extérieurs allant de 3/16 à 5 pouces. Certains fabricants, tels

TABLEAU I - 4

TUBES EN ACIER

Dimensions, épaisseur, longueur et poids des tubes mécaniques série I, fabriqués par Vallourec (France)

DIMENSIONS NOMINALES			LONGUEUR MAXIMUM	POIDS MOYEN
DIAM. EXT.	EPAISSEUR	DIAM. INT.		
(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(kg/m)
32	6	20	7,5	4,2
36	5,5	25	7,5	4,5
40	6	28	7,5	5,4
45	6,5	32	7,5	6,6
50	7	36	7,5	7,9
56	8	40	7,5	10,0
63	6,5	50	7,5	9,9
71	7,5	56	7,0	12,7
75	7,5	60	7,5	13,6
80	8,5	63	6,8	16,3
85	9	67	6,0	18,3
90	9,5	71	7,0	20,5
95	10	75	7,5	22,9
100	10	80	7,0	24,2
106	13	80	5,3	32,0
112	11	90	5,6	30,0
118	14	90	7,5	38,8
125	12,5	100	7,5	37,8
132	13	106	7,5	41,8
140	14	112	7,2	47,5
150	12,5	125	7,3	47,0
160	14	132	7,5	55,8
170	15	140	7,5	63,4
180	15	150	7,2	68,0
190	15	160	6,7	72,3
200	20	160	4,9	96,8
212	21	170	4,4	108,0
224	22	180	3,7	120,0
236	23	190	3,3	132,2
250	25	200	2,6	151,8

Source: Vallourec (France), catalogue de produits.

United States Steel, se rendent jusqu'à 10 3/4 pouces.

- Les tubes d'ornementation sont généralement fabriqués par soudure électrique dans les diamètres extérieurs compris entre 3/16 et 5 pouces et selon diverses formes.

3.2 Alliages

Les produits tubulaires en acier sont fabriqués dans une gamme très étendue d'alliages et de nuances, chacun de ces alliages ou nuances étant destinés à des usages particuliers pour lesquels leurs caractéristiques physiques et mécaniques découlant de compositions chimiques et de traitements différents, sont adaptées.

On comprendra facilement qu'il serait trop long d'énumérer ici la gamme complète de ces nuances et alliages. A titre d'exemple nous présentons au tableau 1-6 la composition chimique des types les plus courants d'acier inoxydable. Mentionnons qu'en ce qui concerne les aciers au carbone, il existe un grand nombre de nuances et de compositions chimiques différentes. Il en va de même pour les alliages intermédiaires de types carbone/molybdène et chrome/molybdène.

3.3 Formes

A part la forme ronde, les produits tubulaires sont fabriqués dans une grande variété de formes, particulièrement dans le domaine des tubes mécaniques, de construction, de mobiliers et serrurerie et des tubes d'ornementation. Les formes que l'on retrouve généralement dans le commerce sont les suivantes :

- ronde
- carrée avec ou sans ailettes longitudinales
- rectangulaire avec ou sans ailettes longitudinales
- ovale
- hexagonale
- triangulaire
- trapézoïdale
- torsadée
- moletée
- rainée
- conique
- etc.

TABLEAU 1-6

Tubes en acier

Composition chimique des principaux
types d'acier inoxydable

Type	Composition chimique en %				
	Carbone max.	Manga- nèse max.	Chrome	Nickel	Autres éléments (1)
304	0,08	2,00	18,00/12,00	8,00/12,00	-
304L	0,03	2,00	18,00/20,00	8,00/12,00	-
309	0,20	2,00	22,00/24,00	12,00/15,00	-
309S	0,08	2,00	22,00/24,00	12,00/15,00	-
310	0,25	2,00	24,00/26,00	19,00/22,00	-
310S	0,08	2,00	24,00/26,00	19,00/22,00	-
316	0,08	2,00	16,00/18,00	10,00/14,00	Mo 2,00/3,00
316L	0,03	2,00	16,00/18,00	10,00/14,00	Mo 2,00/3,00
317	0,08	2,00	18,00/20,00	11,00/15,00	Mo 3,00/4,00
317L	0,03	2,00	18,00/20,00	11,00/15,00	Mo 3,00/4,00
321	0,08	2,00	17,00/19,00	9,00/12,00	Ti 5 x C Min ⁽²⁾
347	0,08	2,00	17,00/19,00	9,00/13,00	Cb-Ta 10xC Min
348	0,08	2,00	17,00/19,00	9,00/13,00	Cb-Ta 10xC Min Ta 0,10 Max
409	0,08	1,00	10,50/11,75	0,50	Ti 5 x Carbon ou 0,75 Max

(1) Phosphore: Max. 0,045%; Soufre: Max. 0,030% sauf type 409 - 0,045%;
Silicium: Max. 1,00 sauf types 310, 310S - 1,50 max.

(2) "Ti 5xC min." signifie une quantité de titane égale à 5 fois la teneur minimum en carbone

3.4 Pression de service

La gamme des pressions de service auxquelles peuvent résister les tubes et tuyaux en acier est évidemment très étendue et dépend entre autres des dimensions (épaisseurs) et des contraintes d'utilisation. Elle peut varier de 60 bars pour les tuyaux de type gaz à 300 bars pour les tubes pression et dans le cas des tubes casing les résistances aux pressions peuvent atteindre 700 bars.

3.5 Produits tubulaires particuliers

Parmi les autres produits tubulaires en acier, lesquels sont généralement fabriqués par des entreprises spécialisées, mentionnons les tubes bi-métalliques, les tubes à ailettes extérieures intégrées, les tubes flexibles et les tuyaux ondulés.

3.5.1 Tubes bi-métalliques

Les tubes bi-métalliques constitués de métaux différents à l'intérieur et à l'extérieur du tube, sont employés surtout dans les applications où les conditions d'utilisation sont différentes à l'extérieur et à l'intérieur du tube et où l'emploi d'un seul matériau ne saurait offrir les garanties voulues. Ils sont fabriqués dans des diamètres faibles, habituellement compris entre 5/8 et 1 1/2 pouces.

3.5.2 Tubes à ailettes intégrées

Ces tubes sont utilisés pour les applications où le transfert de chaleur est important. Ils sont généralement produits dans des diamètres compris entre 1/2 et 1 pouce.

3.5.3 Tubes flexibles

Ces tubes sont utilisés surtout dans les ateliers et autres endroits fermés pour l'évacuation des gaz d'échappement de moteurs, comme conduit de circulation d'air pour le refroidissement et la ventilation. Dans les petits diamètres ils sont aussi employés comme conduits électriques.

Ils sont généralement disponibles dans une gamme de diamètres intérieurs compris entre 2 et 10" pour l'acier galvanisé et entre 1/2 et 6 pouces pour l'acier inoxydable.

3.5.4 Tuyaux ondulés

Les tuyaux en tôle ondulée sont employés principalement pour le drainage, et, comme ponceaux ou autres ouvrages de nature similaire sous les routes, chemins de fer, etc. Les tuyaux de drainage sont généralement perforés et fabriqués dans une gamme de diamètres nominaux compris entre 6 et 21 pouces. Pour les tuyaux employés comme ponceaux, ils sont habituellement fabriqués dans des diamètres compris entre 8 et 96 pouces avec un choix d'épaisseur variant de 0,064" à 0,168".

Ces tuyaux sont, la plupart du temps, galvanisés ou galvanisés et revêtus intérieurement et extérieurement de fibres d'amiante posées à chaud lors de la galvanisation et par la suite imprégnées de bitume.

4. PROCÉDES DE FABRICATION

Même s'il est, en fait, possible de produire des tubes de n'importe quel diamètre désiré, la rentabilité et d'autres facteurs d'importance, tant pour le consommateur que pour le producteur, exigent que certaines limites soient fixées concernant les diamètres, ces limites pouvant varier d'un procédé à l'autre. Le choix du procédé de fabrication le plus approprié dépend, dans une large mesure, des dimensions requises, du volume de production, des caractéristiques désirées concernant la qualité des tubes et finalement des matériaux de base disponibles.

Plusieurs procédés ont ainsi été développés pour la fabrication de tubes d'acier afin de tenir compte le plus possible des derniers facteurs précédemment mentionnés. Tous furent utilisés en pratique mais certains d'entre eux ont perdu graduellement de leur importance.

Pour ces raisons, les procédés qui sont décrits ci-après sont utilisés pour la fabrication des tubes d'applications les plus courantes. Aucun d'eux ne peut être décrit comme étant dominant dans son domaine quoique certains peuvent être employés plus fréquemment. En fait, des études exhaustives doivent être menées dans chaque cas pour déterminer le meilleur procédé adapté à une tâche particulière.

Les différents procédés peuvent se classer en deux grandes catégories.

- Les procédés sans soudure
- Les procédés avec soudure

4.1 Les procédés sans soudure

Tous les procédés de fabrication de tubes sans soudure ont un point en commun le tube fini est produit en deux étapes. Dans une première étape, un lingot d'acier dimensionné pour s'adapter au procédé utilisé, est chauffé à la température de façonnage et transformé en un corps creux à parois relativement épaisses. Dans la deuxième étape, ce corps creux est étiré de façon à produire un tube de diamètre et d'épaisseur de paroi voulu.

Les deux étapes sont effectuées dans une même chauffe, c'est à dire que l'acier est chauffé une seule fois. Généralement, les installations utilisées dans les divers procédés sont suivies d'équipement de laminage pour le dimensionnement, la réduction, le redressement, etc.

4.1.1 Les procédés par laminoir oblique et à pas de pèlerin.

Ce procédé, inventé par les frères Mannesmann, est un des plus vieux connus.

Dans une première étape, des lingots d'acier, cylindriques ou légèrement coniques, chauffés à une température de 1200 à 1300°C sont glissés entre les deux cylindres d'un laminoir oblique, cylindres dont les axes ne sont pas parallèles mais légèrement de biais l'un par rapport à l'autre. Les lingots chauffés, entraînés par les cylindres obliques tournant dans le même sens, se meuvent longitudinalement selon une hélicoïde.

Le laminage provoque la formation d'une cavité interne au centre des lingots. Les corps creux ainsi obtenus glissent ou frottent et à mesure de leur formation sur un mandrin qui égalise et lisse intérieurement leur paroi.

Ce traitement soumet la matière première à de tels efforts de distorsion que seul un acier de qualité spéciale permettant d'obtenir une surface de billette parfaite peut lui résister. La qualité de surface de la billette est importante car tout défaut mineur est amplifié dans le corps creux et dans le tube fini.

Dans la deuxième étape, le traitement du corps creux court et à paroi épaisse obtenu par laminage oblique se poursuit au cours de la même chaude dans un laminoir à pas de pèlerin que le transforme en un tube de grande longueur dont la paroi est par conséquent amincie. La cage de ce laminoir renferme deux cylindres horizontaux superposés.

Les cylindres commencent à se faire leur place dans le corps creux incandescent et à le matricer en quelque sorte. Pendant qu'ils continuent à tourner, ils étranglent en une barre-tube une partie du corps creux qui est ramené en arrière sous la poussée des cylindres. Les parties profilées que ceux-ci comportent, maintenant en prise, égalisent la partie du tube qui vient d'être laminée. L'opération du laminage est terminée. L'intervalle entre les cylindres s'élargit immédiatement après, le tube est avancé de nouveau - et tourné simultanément de 90° - d'une nouvelle longueur entre les cylindres, et l'opération du laminage recommence.

Pour égaliser l'épaisseur des parois on utilise, après réchauffage préalable des tubes, un laminoir égaliseur. On peut aussi poursuivre le traitement, en une même chaude, dans un laminoir de précision ou laminoir calibreur, pour l'obtention de diamètres uniformes, rigoureusement conformes aux tolérances. Les procédés par laminoir oblique et à pas de pèlerin sont utilisés avec avantage pour la production de tubes longs et à paroi épaisse. En général, de nouvelles installations, employant ces procédés, sont mises en place seulement lorsqu'il existe des besoins particuliers pour des tubes de diamètres relativement grands, à forte épaisseur de paroi et de grandes longueurs (8" à 24" de diamètre et allant jusqu'à 30 mètres de longueur).

4.1.2 Le procédé par laminoir à bouchon ou système Stiefel.

Un autre procédé très important est le procédé du laminage à bouchon qui, tout comme le laminage à pas de pèlerin, consiste à transformer tout d'abord le lingot

d'acier en un corps creux dans un laminoir à cylindres obliques, corps creux dont l'étirage se poursuit au cours d'une deuxième opération de laminage oblique pour obtenir une ébauche de tube assez longue et de faible épaisseur de paroi. En règle générale, le double laminage entre deux cylindres obliques dans un train de laminoir à bouchon est employé pour la fabrication des tubes de plus de 5 pouces de diamètre extérieur.

L'ébauche laminée sur bouchon dans un laminoir à bouchon donne naissance à un tube. L'opération du laminage a lieu en deux ou trois fois, le cylindre supérieur étant soulevé après chacune d'elles. Le tube ainsi formé est ensuite ramené dans sa position initiale par les cylindres de recul pour être encore laminé une ou deux fois sur un bouchon de plus fort diamètre, après avoir été tourné préalablement de 90° autour de son axe. Le traitement du tube se poursuit immédiatement après dans un laminoir qui égalise l'épaisseur de la paroi, puis dans un laminoir de précision pour l'obtention d'un diamètre très uniforme sur toute la longueur du tube.

Un train de laminoir à bouchon moderne est largement automatisé. Il présente l'avantage de permettre la fabrication rigoureusement conforme aux côtes d'une grande quantité de tubes de diamètres moyens utilisés principalement dans l'exploitation des champs pétrolifères. Ce procédé est très apprécié en Amérique, et la productivité et la rentabilité sont à la fois meilleurs qu'avec le procédé à pas de pèlerin. De plus, l'emploi de laminoirs lisseurs, ou égalisateurs, à la suite du laminoir à bouchon améliore la qualité des tubes. D'une façon générale, ce procédé peut être utilisé seulement pour les tubes de diamètres compris entre 4 1/2 et 13 ou 15 pouces.

4.1.3 Le procédé por banc poussant (ou procédé Ehrhardt)

Dans ce procédé, une ébauche d'acier de section quadratique est portée à une température d'environ 1250° C puis percée dans une matrice ronde par un poinçon. Un culot subsiste en fin d'opération. Le poinçon est dimensionné de telle manière que la matière refoulée épouse la forme de la matrice et comble l'espace entre la paroi de celle-ci et l'ébauche carrée. Le corps creux avec culot et à paroi épaisse ainsi obtenu est alors placé sur un mandrin poussant et passé violemment à travers plusieurs anneaux calibreurs ou calibres à rouleaux successifs. La réduction de calibre est constante d'un calibre à l'autre jusqu'à l'obtention du diamètre final du tube. Le culot est scié après que la barre de mandrin ait été libérée dans un laminoir à dégager, puis retirée du tube. Le traitement de celui-ci peut alors se poursuivre à froid ou à chaud.

Ce procédé se prête surtout à la fabrication de tubes à paroi mince pouvant atteindre 9 pouces de diamètre, et permet d'obtenir une qualité davantage élevée en ce qui concerne la précision dimensionnelle et la surface des tubes lorsqu'on emploie, en avant du laminoir par banc poussant, un étireur à trois cylindres.

4.1.4 Le procédé continu.

La matière première employée dans ce procédé est une billette ronde qui est formée en corps creux dans un laminoir oblique (étape no 1). Dans une deuxième étape, ce corps creux est étiré sur un mandrin mobile dans un train continu, comprenant environ 7 à 9 paires de cylindres. Ces paires de cylindres sont disposées en ligne et décalées, l'espacement entre les deux cylindres diminuant graduellement le long du train. Les paires de cylindres sont variables, étant mues par des moteurs individuels, de façon à permettre les ajustements nécessaires aux conditions assez obscures pour l'opérateur concernant les vitesses de rotation et de façonnage entre les espacements de cylindres et les tubes d'une part, le tube et le mandrin d'autre part. Une fois l'opération d'étirage terminée, le mandrin est retiré du tube et l'opération recommence sur la billette suivante.

Ce procédé convient aux tubes de diamètres allant jusqu'à 5 1/12" environ, mais son emploi est justifié seulement lorsque l'on désire obtenir une production très élevée. Les possibilités de production d'un train continu est environ 2 fois supérieure à celle du laminoir par banc poussant. Toutefois, l'investissement requis accroît proportionnellement, ce qui signifie que le procédé continu est rentable seulement lorsqu'une production très élevée est nécessaire.

4.1.5 Le procédé par extrusion (au presse à filer)

Fondamentalement, deux étapes d'opération sont également nécessaires dans le procédé par extrusion. La première concerne le perçage des lingots et la deuxième le filage proprement dit.

En ce qui concerne la première étape, on distingue deux méthodes différentes pour le perçage des lingots : le perçage sur une presse à percer séparée et le perçage dans la presse à filer équipée d'un dispositif spécial.

- Perçage sur presse à percer : le lingot réchauffé, décalaminé et lubrifié (sa section peut être carrée, polygonale ou ronde) est amené dans la presse à percer munie d'un pilon annulaire permettant le centrage du trou. Le pilon et le mandrin refoulent d'abord le métal, le lingot étant centré indépendamment de sa section originale. Le pilon est ensuite soulagé et le perçage proprement dit commence. La presse perce le lingot sur la presque totalité de sa longueur en ne laissant subsister qu'un mince fond (culot) qui sera ensuite défoncé dans le conteneur, au après qu'un extracteur annulaire aura sorti le lingot du conteneur. Le lingot ainsi percé est alors lubrifié de nouveau et conduit à la presse à filer les tubes d'acier. Dans le cas d'aciers à haute teneur, sensibles à la température, on procède, entre le perçage et le filage, à un nouveau réchauffage et, le cas échéant à un nouveau décalaminage.
- Perçage dans la presse à filer : le lingot, réchauffé, décalaminé et lubrifié, est amené dans la presse dont les outillages ont été également lubri-

fiés. Les seuls lingots utilisables ici sont ceux de section ronde. Dans la presse, le lingot subit un premier refoulement, puis le perçage proprement dit s'effectue auquel succède immédiatement le filage qui le transforme en tube. Au cours du perçage et du filage, le métal porté à haute température reste plus longtemps en contact avec les outillages. Les fonds, plus épais, se traduisent par une mise au mille moins bonne. Mais le perçage et le filage ayant lieu en un temps très court, aucun réchauffage intermédiaire n'est nécessaire et les frais d'investissement sont plus réduits.

Dans une deuxième étape, le corps creux ainsi obtenu, placé dans un conteneur, est forcé à s'introduire dans l'espace annulaire libre entre le mandrin et la filière par un fouloir mû soit hydrauliquement, soit mécaniquement (presse à manivelle). Le mandrin, ou aiguille, peut être soit du type accompagnant fixé au fouloir, soit du type fixe. L'opération terminée, seul un excédent de métal très mince (culot) tenant encore au tube se trouve dans le conteneur, d'où il est retiré après cisaillement par un outil spécial.

Il existe deux types de presses à filer les tubes d'acier : les presses horizontales et les presses verticales. Les premières sont surtout utilisées pour la fabrication de profilés et de tubes d'assez gros diamètre, alors que les deuxièmes servent principalement pour la production de tubes de types gaz et bouilleurs de 3/8 à 3 pouces de diamètre (faibles diamètres), en longueur de 10 à 22 mètres et aussi des tubes en acier très peu aptes au façonnage par déformation sans enlèvement de métal.

D'une façon générale, le procédé par extrusion est employé pour les aciers alliés et non alliés, les aciers à haute teneur, les aciers inoxydables et les aciers résistants à la chaleur. Il est surtout avantageux lorsque de petites quantités de ces tubes sont nécessaires, et lorsque le programme de production doit par conséquent être fréquemment changé.

4.1.6 Installations annexes de laminage

Les installations additionnelles pour l'étirage des tubes comprennent des laminoirs lisseurs, des laminoirs étireurs réducteurs, des équipements de redressement à chaud et à froid, des bancs d'étirage à chaud et à froid, des laminoirs à froid à pas de pèlerin et autres équipements de manutention.

Tel que mentionné précédemment en rapport avec les divers procédés, la transformation de billette solide en tube est toujours effectuée en deux étapes. Le tube ainsi produit doit être séparé du mandrin pour ensuite être retiré.

Dans chaque procédé, on essaie de garder à un minimum le nombre de tubes standards utilisés comme matériau initial pour tous les tubes de diamètres plus petits (en général ce nombre varie entre 1 et un maximum de 3). Les tubes standards (ou de base) sont réchauffés à température du laminage et transformés soit dans un laminoir calibreur (pour des réductions mineures de diamètre) ou soit dans un laminoir réducteur (pour des réductions plus grandes.). Le laminoir étireur-

réducteur réduit à la fois le diamètre et l'épaisseur de paroi. Finalement les tubes doivent être coupés, refroidis et redressés.

Alors que les exigences ordinaires pour les tubes et tuyaux peuvent être satisfaites par le procédé de laminage à chaud, il existe plusieurs exigences demandant une précision plus grande, des propriétés physiques plus élevées, de meilleures surfaces, des épaisseurs plus minces et des diamètres plus petits que ce qui peut être obtenu par les méthodes de travail à chaud. Cette demande peut être satisfaite par l'étirage à froid des tubes laminés à chaud comme opération de finition. Dans le cas des aciers alliés, on utilisera surtout, au lieu de banc d'étirage à froid, des laminoirs à pas de pèlerin.

Les principales raisons pour l'emploi de l'étirage à froid sont les suivantes :

- Produire des tubes à épaisseur de paroi plus mince que celle pouvant être obtenue par laminage à chaud.
- Produire des tubes de plus petits diamètres
- Produire des tubes plus longs que par le procédé de laminage à chaud dans certains diamètres.
- Obtenir de meilleurs finis de surface
- Obtenir des tolérances dimensionnelles plus serrées
- Accroître certaines propriétés mécaniques telle que la résistance en tension
- Produire des formes autres que rondes
- Produire des tubes de diamètre et épaisseur variables d'une extrémité à l'autre
- Produire de petites quantités de tube aux dimensions peu courantes qui ne justifieraient pas une passe de laminage à chaud.

Les procédés les plus connus d'étirage à froid sont décrits ci-après :

- Etirage à creux : dans ce procédé seuls les diamètres intérieurs et extérieurs sont réduits alors que l'épaisseur de paroi peut s'accroître ou décroître légèrement selon le rapport de réduction. Ce procédé est surtout limité aux tubes de petits diamètres où l'insertion d'un outil interne présenterait des difficultés.
- Etirage sur bouchon : ce procédé est celui le plus couramment utilisé. Le tube est étiré sur un outil interne, le bouchon, qui est fixe par rapport à la filière. Dans ce procédé, les diamètres intérieurs et extérieurs ainsi

que l'épaisseur de paroi sont réduits.

- Étirage sur bouchons flottants : Selon ce procédé, des bouchons flottants, c'est à dire sans mandrin de support, sont utilisés pour étirer des tubes de petits diamètres. Ces bouchons sont fabriqués de façon à se supporter eux-mêmes contre la paroi intérieure du tube et sont ainsi maintenus en position d'étirage.
- Étirage sur banc ébaucheur. Dans ce procédé le tube et la tige qui détermine le diamètre intérieur du tube sont étirés à la fois au travers la filière. Il en résulte une diminution de friction entre le tube et la tige par rapport à l'étirage sur bouchon et par conséquent de plus grandes réductions possibles par passe.

4.2 Les procédés avec soudure

Les procédés de fabrication des tubes soudés sont généralement connus d'après le type de procédé de soudage utilisé. Toutefois dans le cours de la production d'un tube soudé on peut distinguer deux types d'opération qui, quoique distinctes par leur fonction, ne sont pas toujours indépendants l'un de l'autre : l'opération de mise au rond ou de formage du tuyau et l'opération de soudage proprement dite. Ces opérations sont souvent suivies d'étapes de transformation dont le but est de parfaire le tube (laminoir étireur réducteur dresseuse, etc.).

4.2.1 Procédés de formage ou mise au rond.

4.2.1.1 Formage longitudinal par galets formeurs

Selon ce procédé, un feuillard laminé à chaud ou à froid, décapé ou non suivant le type de tube à fabriquer, est transformé en un tube à joint ouvert par un train de cages formeurs à cylindres verticaux et horizontaux.

Les cylindres, ou galets formeurs, de ces cages sont dimensionnés aux diamètres et aux épaisseurs de paroi des tubes que l'on désire obtenir. Il existe en fait diverses formes pour les galets : les premiers du train ont pour but de donner au feuillard une forme ovale alors que les derniers sont destinés à parfaire la mise au rond et à effectuer le rapprochement des lèvres afin de permettre la soudure. Celle-ci est effectuée par chauffage des lèvres du feuillard et peut-être faite soit par rapprochement (butt welded), soit par recouvrement (lap-welded).

Après la soudure, le tube passe dans un laminoir calibreur où il est ajusté au diamètre extérieur voulu et redressé. Dans le cas du procédé avec soudure par rapprochement, il s'avère souvent nécessaire, pour diminuer le diamètre et obtenir l'épaisseur de paroi désirée, de faire passer le tube dans un laminoir étireur-réducteur avant de l'introduire dans le laminoir calibreur.

Le tube est alors coupé à la longueur désirée par une scie mobile pour ensuite

être refroidi et soumis aux tests (inspection visuelle, épreuve hydraulique, etc.) Il peut ensuite être fileté et galvanisé s'il y a lieu.

Le nombre de cages formeuses peut varier dans une installation, entre 6 et 10 selon les diamètres fabriqués. Huit peut cependant être considéré comme le nombre le plus couramment utilisé puisque pratiquement, il est difficile de produire des tubes minces avec un nombre de cages inférieur.

L'avantage de ce procédé est de permettre la fabrication à partir d'un feuillard presque sans fin, obtenu en soudant entre eux les extrémités de plusieurs bobines de feuillard. Afin de ne pas arrêter le processus lors de la mise en place et de la soudure des bobines suivantes, on conserve toujours une longueur suffisante de feuillard entre la soudeuse d'extrémités et les galets formeurs en le faisant serpenter dans un couloir à boucles (loopit). Ce procédé de formage est employé pour la fabrication de tubes soudés par rapprochement (ou forgeage) jusqu'à un diamètre de 4 pouces et des tubes soudés par résistance électrique ou autres procédés analogues jusqu'à un diamètre de 20 pouces.

4.2.1.2 Formage longitudinal avec presses

Ce procédé est utilisé pour la fabrication de tubes soudés de grands diamètres allant généralement de 18 à 42 pouces. Selon ce procédé, le tube est fabriqué à partir de plaques d'acier et non à partir de feuillard comme c'est le cas pour le procédé décrit précédemment, ce qui permet de produire des tubes ayant un diamètre et une épaisseur de paroi beaucoup plus importants.

Les principales étapes de ce procédé sont les suivantes :

- La première opération concerne la préparation des rives longitudinales pour la soudure subséquente. Ce travail préparatoire consiste à rogner, raboter, chanfreiner et emboutir les rives. Ces opérations peuvent être effectuées de deux façons, différents types d'équipement mécanique étant utilisés dans chaque cas.

Une combinaison de deux machines séparées soit une machine à raboter les rives et une presse à emboutir est employée pour les plaques supérieures à 18 mm d'épaisseur; la première machine étant utilisée exclusivement pour le rabotage et la seconde pour l'emboutissage. Les plaques d'une épaisseur inférieure (jusqu'à 18 mm) sont préparées sur une machine combinée. Avec une seule et même unité, les rives sont rognées par des couteaux circulaires, rabotées et chanfreinées par des outils de rabotage, et embouties au moyen d'outils d'emboutissage.

- Les plaques sont ensuite formées en tuyaux à joint ouvert. Cette opération est effectuée soit par une presse en U suivie d'une presse en O, ou au moyen d'une presse en C.

Le formage de la plaque à la fois dans le sens de sa longueur et de sa largeur, est effectué sur la presse en U et la presse en O en une seule opération. La presse en C forme la plaque dans le sens de sa longueur en une opération, mais dans le sens de la largeur - la circonférence subséquente du tuyau - l'opération est graduelle.

Après que la plaque eut été transformée en un tuyau à joint ouvert, les opérations suivantes sont effectuées : soudage, inspection aux rayons X ou aux ultrasons, expansion, et épreuve hydrostatique interne. Un laminoir élargisseur hydraulique ou mécanique est utilisé pour les deux dernières opérations.

Sur le laminoir élargisseur hydraulique, les tuyaux ne sont pas seulement élargis mais sont aussi redressés et testés hydrauliquement, le tout simultanément.

Le laminoir élargisseur mécanique, d'autre part, est utilisé seulement pour l'expansion, ce qui nécessite un banc d'épreuve hydraulique séparé.

Après la fin de l'expansion et/ou de l'épreuve hydraulique, les extrémités des tuyaux sont usinés et ces derniers sont ensuite soumis aux traitements de finissage et aux inspections finales.

4.2.1.3 Formage en spirale

L'évolution du marché des tubes et tuyaux au cours des dernières années, caractérisée par une utilisation accrue des tuyaux soudés par rapport aux tuyaux sans soudure et une demande croissante pour les tuyaux soudés de grands diamètres a favorisé l'emploi du tuyau avec soudure hélicoïdale, communément appelé tuyau en spirale.

Selon ce procédé il est nécessaire d'employer un feuillard rogné et la largeur du feuillard est déterminée par le diamètre de tuyau désiré.

Des tuyaux de différents diamètres peuvent être fabriqués à partir d'un feuillard de même largeur en faisant varier l'angle d'entrée du feuillard sur la table de formage.

Le déroulement des opérations est le suivant :

- Le rouleau de feuillard est préparé à l'extérieur de la machine pour ensuite être installé sur un dévidoir. L'extrémité du feuillard est placée sur une table d'entrée où elle est soudée à l'extrémité du feuillard précédent après que les extrémités de chaque feuillard aient été nettoyées et enlignées.
- Cette opération terminée, la machine est mise en marche et le feuillard rabouaté est tiré par un dispositif à tirer les feuillards dans une dresseuse et

ensuite dans une chanfreineuse où les rives du feuillage sont chanfreinées pour le soudage si nécessaire.

- Le dispositif à tirer les feuillards, qui possède une pression de serrage et une vitesse d'alimentation variables, pousse ensuite le feuillard dans un dispositif à plier les rives installé dans l'outil de formage.
- Le dispositif à plier les rives plie les rives du feuillard afin d'assurer que le tuyau fini soit parfaitement cylindrique
- Le feuillard est guidé horizontalement et verticalement dans l'outil de formage où il est formé en un tuyau cylindrique selon un angle pré-déterminé

L'outil de formage est installé sur une table, elle-même sise sur un pivot autour duquel tourne la structure de la machine avec la section d'entrée du feuillard.

- Après que le feuillard eut été transformé en tuyau ses rives sont soudées ensemble au point de contact inférieur à l'intérieur du tuyau. Une deuxième tête de soudage, désaxée de 180 degrés par rapport au poste de soudage intérieur, soude les rives ensemble à l'extérieur du tuyau au point approximativement le plus élevé.
- Le tuyau soudé est alors guidé vers la sortie de la machine, pour être ensuite coupé à la torche oxyacétylénique, soit manuellement soit au moyen d'un appareil automatique mobile, sans que le cycle de fabrication soit interrompu.
- Le tuyau est ensuite dirigé vers les installations d'inspection (rayon-X ultrasons) et d'épreuve hydraulique.

Si un revêtement est requis (bitume, epoxy, etc.) le tuyau est alors dirigé vers l'atelier qui y pourvoira.

4.2.2 Procédés de soudage

Dès que fut découverte une méthode pour produire des feuillards, plusieurs tentatives furent faites pour fabriquer des tubes en pliant le feuillard et en joignant ses rives. Ceci donna lieu à la création des deux plus anciens procédés de soudage - le soudage par forgeage et le soudage par fusion au gaz (autogène), les deux ayant été développés il y a plus de 100 ans.

Depuis de nombreux procédés ont été mis au point afin d'améliorer la qualité de la soudure et du produit fini ainsi que la vitesse de soudage. Ces divers procédés sont les suivants :

- Procédé par forgeage
- Procédé Fretz - Moon
- Procédé Sönnichsen
- Procédé par induction à moyenne fréquence
- Procédé par fusion au gaz (autogène)
- Procédé par résistance électrique à basse fréquence
- Procédé par résistance à haute fréquence par conduction ou induction
- Procédé à l'arc sous argon
- Procédé au plasma
- Procédé à l'arc immergé
- Procédé par rayon d'électron

Dans les tuberies modernes, seuls les 6 derniers procédés sont en fait utilisés. Dans les usines plus anciennes encore en opération on retrouve certains des autres procédés tels le procédé Fretz-Moon et le procédé Sönnichsen.

Une description de chacun des procédés ainsi que leurs avantages est donnée ci-après.

4.2.2.1 Procédé par forgeage

Ce procédé, le premier utilisé, consistait à former un tube à joint ouvert à partir d'un feuillard par forgeage sur un mandrin. Ensuite une moitié du tube était chauffé à la température de soudage (1300 à 1400 °C) dans un four réverbère.

L'extrémité froide était alors saisie par les pinces d'étirage d'un banc d'étirage à chaîne et étiré au travers une cloche de formage ajustable. Après refroidissement la seconde moitié du tube était chauffée à température de soudage et l'opération était répétée.

En passant au travers la cloche, la partie chauffée était soumise à une forte pression qui permettait de joindre ensemble les rives du tube. Ce procédé n'est plus utilisé aujourd'hui.

4.2.2.2 Procédé Fretz-Moon

Ce procédé, du nom de son inventeur J. Moon (E.U.) et de celui qui l'a perfec-

tionné S.F. Fretz (All.) consiste à produire un tube soudé par forgeage à partir d'un feuillard sans fin.

Le feuillard circule dans un four continu où il atteint sa température de soudage, pour ensuite être transformé en tube dans une série de cages formeuses. Avant d'être introduit dans les cylindres formeurs, le feuillard est élevé à la température requise au moyen d'un souffleur.

Les usines employant ce procédé sont utilisées pour la production de tubes "gaz" (basse pression). Ces usines combinent une grande économie d'opération et une production élevée, mais ne conviennent pas pour la fabrication de tubes de haute qualité tels que tubes de chaudières, etc.

4.2.3 Le procédé Sönnichsen

Ce procédé, du nom de son inventeur F. Sönnichsen (Norvège), consiste à chauffer les rives du tube en utilisant le courant électrique. Il implique trois disques-électrodes verticaux disposés consécutivement, le plus épais en première position et le plus mince en dernière position. Grâce à la disposition et à la forme des électrodes, les rives du tube à joint ouvert atteignent la température de soudage requise au moment où elles passent la dernière électrode et sont alors jointes ensemble par des rouleaux presseurs horizontaux.

Chacune des électrodes est reliée à une des trois phases d'une source d'énergie triphasée. Notons que le tube est chauffé par conduction sur son entière circonférence bien que l'effet de chauffe maximum soit concentré sur les rives du tube.

Aujourd'hui ce procédé n'est pratiquement plus installé dans les nouvelles usines quoique dans certaines usines à tubes soudés comprenant un laminoir étireur-réducteur, il est couramment fait usage de ce procédé, légèrement modifié, pour chauffer les tubes soudés avant leur introduction dans le laminoir.

En général ce procédé est considéré comme assez efficace, mais présente de nombreux désavantages par rapport à la méthode de chauffage par induction maintenant utilisée pour les mêmes fins.

4.2.2.4 Procédé par induction à moyenne fréquence

Dans ce procédé, qui fonctionne à des fréquences comprises entre 4 et 10 kilocycles, une ou plusieurs lignes d'induction sont disposées au-dessus du tube à joint ouvert et induit le courant dans les rives du tube, les chauffant ainsi sans l'emploi de contacts.

La haute densité du débit permet un transfert rapide par induction d'un montant d'énergie relativement important. Par suite de l'effet pelliculaire (effet Kelvin), qui se produit déjà dans la plage de moyenne fréquence, le chauffage du matériau demeure confiné à une zone étroite autour des rives du joint ouvert.

Ce procédé est employé dans un nombre limité d'usines fabriquant des tubes filetés. La plupart des usines existantes de ce type ont été converties au procédé à haute fréquence.

4.2.2.5 Procédé par fusion au gaz.

Selon ce procédé, la température de soudage requise est obtenue par la chaleur de combustion produite par un mélange de gaz et d'oxygène. Une série de brûleurs (jusqu'à 16) sont disposés au-dessus de deux paires de rouleaux presseurs pour joindre les rives du joint ouvert. Le tube soudé est ensuite dimensionné par deux paires de cylindres calibreurs et un cylindre dresseur placé entre ces derniers.

Très peu d'usines, employant ce procédé, sont en opération aujourd'hui, ayant été remplacées par le procédé par résistance électrique.

4.2.2.6 Procédé par résistance à basse fréquence

Ce procédé, existant depuis plus de soixante ans, a été amélioré au cours des 20 dernières années par l'avènement de régulateurs de soudage à induction rotatifs et l'emploi de fréquences plus élevées. Aujourd'hui, des transformateurs sont disponibles avec un débit de 10 à 450 KA et des fréquences de soudage variant de 150 à 400 cycles.

Dans le procédé de soudage de tubes par résistance électrique, la résistance interne du matériau constituant le tube au courant électrique et la résistance de contact sur les rives du tube à joint ouvert sont utilisées pour générer la température de soudage.

Les rives sont gardées distantes par un guide de joint placé en avant des rouleaux presseurs de telle sorte que lorsque les rives sont introduites dans les rouleaux presseurs, elles présentent une forme en V.

L'effet de chauffe le plus élevé est développé par résistance de contact : juste au-delà des rouleaux, au point où les rives du tube se rencontrent. Ce point constitue à la fois le point de soudage et le point où les rives du tube sont soumises à la pression la plus élevée.

4.2.2.7 Procédé par résistance à haute fréquence.

Selon ce procédé, des courants à haute fréquence, - 450 kilocycles - sont utilisés pour chauffer le tube. L'application diffère toutefois selon que la méthode est par conduction ou par induction.

- Méthode par conduction

Selon cette méthode, le courant à haute fréquence est appliqué au tube au moyen de deux contacts.

Ce courant à haute fréquence est caractérisé par son effet pelliculaire. Ce terme est utilisé pour décrire le fait que le courant dans un conducteur, e.g. un fil, est forcé par auto-induction à la surface externe de ce dernier lorsque la fréquence augmente. Le courant direct se distribue uniformément sur la totalité de la section transversale du conducteur; dans le cas du courant alternatif cependant, la densité du courant diminue constamment à l'intérieur du conducteur lorsque la fréquence est augmentée.

Un autre effet obtenu avec le courant à haute fréquence et ayant la même origine que l'effet pelliculaire est connu sous le nom d'effet de proximité. Il est basé sur l'attraction mutuelle de deux courants à haute fréquence se dirigeant en sens opposés dans des conducteurs adjacents. Appliqué au modèle de courant dans le soudage à haute fréquence avec emploi de contacts, cet effet a les résultats suivants : le courant à haute fréquence passe de l'un des deux contacts à la rive du tube, le long de cette dernière jusqu'au point de soudage pour ensuite revenir le long de la rive opposée du tube jusqu'au second contact, ce trajet étant effectué dans une couche extrêmement mince du matériau. Dû à l'attraction de courants opposés, la majeure partie de ce courant circule dans la couche mince mentionnée précédemment le long des rives du tube seulement et non sur toute la circonférence du tube. L'effet de chauffe du courant (loi de Joule) est ainsi pratiquement limité à cette mince couche. Grâce au mouvement longitudinal du tube à joint ouvert, la température maximum - qui doit correspondre à la chaleur de soudage requise - est obtenue au point de soudage où elle est favorisée par la résistance ohmique élevée qui y prévaut.

Comme résultat du flux de courant dans la couche mince, la résistance réelle pour le courant à haute fréquence est approximativement 20 à 50 fois plus élevée que dans le cas du procédé de soudage par résistance à basse fréquence, de telle sorte que le courant requis est environ 1/20 à 1/50 de celui requis pour le procédé à basse fréquence. Les vitesses de soudage obtenues diminuent le temps de chauffe, éliminant ainsi le risque de changements dommageables dans la structure du matériau. Par conséquent le procédé convient non seulement aux matériaux facilement soudables, mais aussi aux aciers alliés et aux métaux non ferreux.

- Méthode par induction

Selon ce procédé, le courant de soudage, avec une fréquence de 450 kilocycles également est transmis au tube au moyen d'une bobine d'induction, c'est-à-dire sans l'emploi de contacts.

Un courant à haute fréquence est induit dans le tube devant être soudé, circule autour de ce dernier et ensuite le long des rives ouvertes jusqu'au point de soudage où ils se rencontrent. La température requise est obtenue sensiblement de la même façon qu'avec la méthode par contacts, le tube agissant comme bobinage secondaire d'un transformateur.

Au début, ce procédé était employé exclusivement pour les tubes dont le diamètre extérieur maximum ne dépassait pas 150 mm. Avec l'avènement de générateurs à haute capacité et d'inducteurs mieux adaptés, ce procédé peut être maintenant utilisé pour le soudage de tubes dont le diamètre extérieur peut atteindre 500 mm.

4.2.2.8 Procédé à l'arc sous argon

Selon ce procédé, la chaleur requise est fournie par un arc formé entre une électrode au tungstène et le joint ouvert du tube. L'arc et, en particulier, le point de soudage réel, sont protégés contre les influences atmosphériques par le gaz protecteur - l'argon - qu'on fait s'écouler lentement du porte-électrode.

Ce procédé peut fonctionner sous courant direct ou alternatif. L'emploi d'un courant alternatif et d'une tension haute fréquence surimposée est particulièrement important pour le soudage de tubes. Il permet, en effet, aux tubes fabriqués à partir de n'importe quel métal ou alliage d'être soudés dans des épaisseurs aussi minces que 1 mm.

La surimposition de tension haute fréquence sur le courant de soudage non seulement facilite l'allumage de l'arc mais aussi le stabilise, simplifiant ainsi l'opération et permettant d'obtenir une soudure unie et douce.

Grâce aux vitesses élevées de soudage et à une zone de chauffe étroite, la déformation, les tensions de soudage et, par conséquent, les risques de fissures sont maintenues à un niveau remarquablement bas.

Le procédé à l'arc sous argon permet un soudage efficace du joint sur les aciers alliés à haute teneur, principalement les aciers austénitiques. Le joint interne n'est pas oxydé et est, par conséquent, propre et uni.

4.2.2.9 Procédé au plasma

Le soudage par fusion au plasma est un procédé de soudage sous protection par gaz inerte, sans électrodes consommables, similaire au procédé sous argon.

Il existe cependant deux différences. La première est que, dans le soudage au plasma, l'arc entre l'électrode en tungstène et le tube est resserré par un bec de cuivre refroidi à eau. La deuxième est qu'un arc pilote est allumé entre le bec de cuivre et l'électrode et demeure allumé durant l'opération de soudage. Cet arc pilote facilite l'allumage de l'arc de soudage réel et agit comme stabilisateur additionnel. Il en résulte une opération de soudage moins sujette à être affectée par les souffles d'air, les déplacements des rives, etc., facteurs qui diminuent l'efficacité de l'arc sous argon, lequel n'est pas protégé contre ces facteurs.

Avec ce procédé, il est possible d'obtenir des vitesses de soudage beaucoup plus élevées qu'avec le procédé sous argon dans le cas de tubes ayant une épaisseur de paroi supérieure à 3 mm.

4.2.2.10 Procédé à arc immergé sous flux

Ce procédé correspond, dans ses propriétés physiques, au procédé par arc électrique. Il en diffère toutefois par le fait que l'arc est recouvert d'une couche de poudre (flux) lors du soudage. La poudre, sous forme de composé granulaire, est répartie dans le joint ouvert du tube, lequel a été préparé auparavant. Une tige en fil nu est amenée d'un dévidoir, via des cylindres dresseurs, au bec de soudage au moyen de cylindres motorisés, où le courant de soudage lui est transmis par contact à frottement. La poudre non utilisée est enlevée par succion, alors que la poudre fondue est laissée pour former une couche de scories dans la zone de l'arc au-dessus du joint soudé. Cette poudre peut ensuite être facilement enlevée.

Ce procédé peut être employé pour les joints longitudinaux et hélicoïdaux sur les tuyaux de grands diamètres, c'est-à-dire compris entre 500 et 2500 mm.

4.2.2.11 Procédé par rayon d'électrons

Le procédé de soudage par rayon d'électrons, développé ces dernières années, opère en atmosphère non protégée et grâce à sa sécurité d'opération, peut être utilisé avec avantage pour le soudage des tubes.

Il produit des joints soudés d'une excellente qualité sur pratiquement tous les types de matériaux et permet d'obtenir des vitesses de soudage approximativement dix fois plus élevées que celles obtenues avec les procédés à arc sous argon ou au plasma.

5. NORMES

La normalisation concernant la fabrication des tubes d'acier est très importante. Les normes les plus couramment utilisées sont présentées ci-après.

5.1 ISO (Organisation internationale de normalisation)

No. R-64, R-65, R-134, R-165, R-166, R-169, R-202, R-221,
R-336, R-374, R-559, R-560, R-1127 (AC. inox)

5.2 ANSI (American National Standard Institute)

Aciers ordinaires :

No. B 36 - nos. 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 16, 28, 33, 35, 38, 43, 46, 49, 52,
53, 54, 55, 56, 58, 60.

B 125 - nos. 1, 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 17, 18, 19, 20, 21.

G 62 - nos. 2, 3, 4, 5. G81 - 22

Aciers alliés :

No. B 36 - nos. 17, 30, 39, 42, 44, 46, 47, 48, 50, 55,
B 125 - nos. 5, 8, 9, 13, 18, 20.

Aciers inoxydables :

No. B 36 - nos. 19, 38. G 62 - 1

5.3 ASTM (American Society for Testing and Materials)

Aciers ordinaires :

No. A-53, A-106, A-120, A-134, A-135, A-139, A-155, A-161,
A-178, A-179, A-192, A-210, A-211, A-214, A-226, A-252,
A-273, A-309, A-333, A-334, A-376, A-381, A-422, A-430,
A-450, A-451, A-452, A-498, A-500, A-501, A-512, A-513,
A-519, A-520, A-523, A-523, A-530, A-539, A-556, A-557,
A-587, A-589, A-595,

Aciers alliés :

No. A-161, A-169, A-200, A-209, A-213, A-250, A-271, A-334,
A-335, A-358, A-362, A-369, A-405, A-409, A-423, A-426,
A-450, A-498, A-513, A-519, A-530, A-608, A-618.

Aciers inoxydables :

No. A-249, A-268, A-269, A-270, A-312, A-511, A-554, A-632.

5.4 API (American Petroleum Institute)

No. 5A, 5AC, 5AX, 5B, 5C2, 5L, 5LS, 5LX, 5L3.

5.5 AFNOR (Association française de normalisation)

No. NF A 48-003, NF A 48-004, NF A 48-051, (acier inox.), NF A 48-102
NF A 48-103, NF A 91-141, NF E 29-025, NF E 29-026,
NF E 29-027, NF E 29-027, NFM 82-230, NFM 82-238,
NF R 990-50.

5.6 CSA (Canadian Standard Association)

No. B-63, B-192, B-193, G-40.15, G-40.16, G-40.17.

5.7 BSI (British Standard Institution)

No. 31, 534, 778, 806, 879, 980, 1091, 1387, 1507,

1508, 1627, 1628, 1717, 1730, 1731, 3059, 3601,
3602, T-100.

5.8 DNA (Deutscher Normenausschuss)

No. 1626, 1629, 2391, 2393, 2394, 2410, 2413, 2440,
2441, 2442, 2448, 2449, 2450, 2458, 2460, 2461,
17175, 50135, 50136.

6. TRAITEMENT DE SURFACE

En raison de la nature de l'acier, divers traitements de surface sont utilisés pour les tubes d'acier, soit pour les protéger contre l'action de la corrosion, soit pour assurer un meilleur écoulement des fluides transportés, soit pour améliorer l'apparence du fini extérieur.

6.1 Protection contre la corrosion

Selon les contraintes de service (pression, température), de la nature des fluides transportés et du milieu ambiant, les conditions de corrosion seront plus ou moins sévères et les tubes d'acier doivent être protégés en conséquence.

Les tubes peuvent être attaqués intérieurement ou extérieurement ou les deux à la fois.

6.1.1 Protection extérieure

A l'extérieur, les tubes sont soumis à la corrosion galvanique, électrochimique ou électrolytique ainsi qu'à la corrosion microbologique des bactéries anaérobies réduisant les sulfates et détériorant ainsi le métal des conduites lorsque celles-ci sont enterrées. Pour combattre ces types de corrosion, les méthodes employées sont la méthode de protection cathodique et la pose de revêtements protecteurs. Les deux peuvent être appliquées indépendamment mais leur emploi simultané est davantage efficace et permet de donner une meilleure protection contre les deux types de corrosion mentionnés précédemment. De plus, l'emploi de revêtements protecteurs permet de diminuer la quantité de courant nécessaire pour protéger cathodiquement les tubes.

Les principaux revêtements utilisés pour la protection extérieure des tuyaux enterrés sont les suivants :

- Goudron de houille et bitume appliqué à chaud et enrobé de papier kraft
- Résines epoxy
- Résines vinyliques
- Polyéthylène haute densité extrudé sur le tube d'acier

- Caoutchouc chloré
- Béton

Pour les tuyaux non enterrés on fait appel à des peintures spéciales appliquées sur des peintures d'apprêt, ou à la galvanisation. Les peintures, tout en protégeant le métal contre le milieu corrosif, servent en même temps à améliorer l'apparence et souvent à différencier les canalisations transportant des fluides différents. La galvanisation, qui consiste à plonger les tuyaux dans un bain de zinc en fusion, est surtout employée lorsque les tubes sont uniquement soumis aux effets du milieu atmosphérique ordinaire. Toutefois ce traitement ne convient pas aux conduites enterrées puisque le zinc peut être attaqué rapidement par certains acides ou alcalis contenus dans le sol.

Pour les usages où les conditions de corrosion sont particulièrement sévères (usines d'acides sulfuriques, échangeurs, etc) et où les traitements précédents sont inadéquats et où même l'emploi d'alliages peut s'avérer inefficace, les tubes peuvent être "aluminisés". Ce procédé consiste à diffuser de l'aluminium dans l'acier en plongeant le tube dans de la poudre d'aluminium et en le soumettant à des températures élevées dans un four à atmosphère contrôlée. On obtient ainsi un alliage de fer et d'aluminium possédant une excellente résistance à la corrosion et à la chaleur. Ce procédé peut aussi être employé avec les aciers inoxydables.

Plusieurs autres métaux peuvent également être utilisés comme revêtements extérieurs dont le chrome, le cuivre, le plomb et le bronze.

6.1.2 Protection intérieure

A l'intérieur, les tubes doivent être protégés contre l'action souvent très corrosive des fluides transportés et, dans le cas des tubes à usages autres que le transport de fluides contre la corrosion provoquée par le milieu ambiant.

Pour assurer cette protection, plusieurs types de revêtements sont utilisés suivant les conditions de service. Les plus couramment employés sont indiqués ci-après:

- Bitume et goudron de houille

Ces revêtements sont les plus anciens et les plus économiques en usage. Ils résistent à une grande variété d'acides et d'alcalis jusqu'à leur point d'amolissement. Récemment des revêtements d'epoxy et de goudron de houille ont été développés qui peuvent résister à tous les solvants jusqu'à une température de 120°C. Les revêtements de goudron de houille sont particulièrement bien adaptés pour les conduites d'évacuation des eaux usées.

- Mortiers de ciment

Ce type de revêtement est surtout employé pour les eaux salées ou saumâtres

ainsi que dans les eaux contenant des hydrocarbures ou des solvants aromatiques où il protège contre la corrosion et la tuberculation. Il est appliqué par centrifugation.

- Caoutchouc

Résiste aux solutions fortes d'acides ou d'alkalis (caoutchouc dur) et à l'abrasion (caoutchouc doux). Dans la plupart des applications ce revêtement est introduit sous forme de tube à l'intérieur des conduites en acier.

- Verre

Ce revêtement est celui qui résiste le mieux à la gomme la plus étendue de concentration et de température. Par contre, il possède une faible résistance aux impacts et aux chocs thermiques. Il est appliqué en revêtant la paroi intérieure du tuyau avec un mélange d'eau et de verre et en chauffant jusqu'au point de fusion du verre.

- Résines thermoplastiques

Ces résines, tels le CPV, le Saran, le polyéthylène, le polypropylène et le polyéther chloré, peuvent être fixés au tube à protéger ou être indépendantes. Dans ce dernier cas, elles sont sous forme de tubes que l'on introduit dans le tube à protéger. En général, un tuyau d'acier revêtu de ces matériaux a la même résistance à la corrosion que le tuyau en plastique, mais possède des propriétés physiques supérieures au dessus de 65°C et dans les diamètres élevés.

- Les fluorocarbures

De tous les revêtements non métalliques, ces matériaux sont ceux possédant la meilleure résistance à la corrosion mais ils sont aussi les plus dispendieux. Quoiqu'ils appartiennent à la famille des thermoplastiques, ils résistent à des températures d'opération élevées et nécessitent des techniques de fabrication spéciales. En fait, ces techniques limitent leur emploi aux tubes de diamètre compris entre 1/2 et 10 pouces. Ces matériaux se présentent généralement sous forme de tubes que l'on introduit dans les tuyaux à protéger.

- Les polyesters, époxyés et phénols

Ceux-ci représentent la majorité des revêtements de type thermodurcissable. Ils sont employés surtout pour les conduites d'eaux salées dans les champs pétrolifères et pour le transport de fluides contenant du soufre d'hydrogène. L'époxy est fréquemment utilisé pour assurer un meilleur écoulement dans les pipelines transportant des hydrocarbures.

- Métaux divers

Le nickel, l'acier inoxydable, le titane, le tantale et le zirconium sont aussi employés parfois comme revêtement intérieur. Ceux-ci sont posés par

"cladding".

La galvanisation et l'alunisation mentionnées précédemment sont aussi utilisées pour protéger l'intérieur des tubes.

Mentionnons ici que les traitements de surface contre la corrosion tant intérieure qu'extérieure, concernent presque exclusivement les aciers au carbone, la composition des aciers alliés et des aciers inoxydables ayant précisément pour but de les protéger contre les effets de la corrosion.

Mentionnons également que les tubes doivent être absolument débarrassés de toute saleté avant d'être traités.

6.2 Amélioration de l'écoulement

La plupart des revêtements intérieurs, tout en assurant une protection contre la corrosion, facilitent l'écoulement des liquides dans les conduites sous pression et parfois, ils sont utilisés surtout à cette fin. C'est en particulier, le cas des composés d'époxy.

6.3 Amélioration de l'apparence et du fini

Pour de nombreuses applications dans le domaine du mobilier, de la serrurerie et de l'ornementation, et pour de nombreux usages mécaniques, il est nécessaire d'améliorer l'apparence et le fini de surface.

A cette fin, les tubes peuvent être recuits, polis, nettoyés par jet de sable, décapés. Ils peuvent également être peints, chromés, zingués, nickelés, etc.

7. ASSEMBLAGE

L'assemblage des tubes et tuyaux en acier peut être effectué soit par soudure, soit par bride, soit par vissage.

Historiquement, le joint mécanique fileté ou vissé généralement effectué au moyen d'un raccord fileté en fonte fut pendant longtemps le seul moyen pour effectuer les joints. Le raccord en fonte fut remplacé par le raccord en fonte malléable, plus robuste. Ensuite, fut développé le raccord fileté en acier forgé pour résister aux températures et pressions plus élevées rencontrées dans les industries de transformation. Pour des températures et pressions anormalement élevées, on en vint à utiliser des raccords bridés en acier coulé. Finalement, après améliorations des techniques, le soudage devint la méthode d'assemblage standard pour obtenir des joints permanents et à l'épreuve des fuites.

7.1 Assemblage par soudure

Selon cette méthode, les joints peuvent être assemblés avec soudure bout à bout,

ou avec soudure en angle. Le joint à francs bords circonférentiel est celui qui est le plus utilisé. On l'emploie pour les joints de tuyau-à-tuyau, de tuyau-à-bride, de tuyau-à-soudage et de tuyau-à-raccord. Bien que les tubes de toutes dimensions puissent être soudés bout à bout, il est souvent plus avantageux de joindre les tubes de faibles diamètres (jusqu'à 2") au moyen de soudure à angle utilisant des raccords à emboîtement soudé.

Les extrémités des tuyaux plus épais sont habituellement préparées par usinage ou meulage. Les tuyaux en acier au carbone et en aciers alliés à faible teneur au diamètre de 1/2" et moins sont aussi coupés à l'oxygène et chanfreinés.

Les procédés de soudage utilisés sont le soudage manuel à arc protégé avec apport de métal (le plus utilisé), le soudage automatique à arc immergé, le soudage au tungstène avec protection par gaz inerte, le soudage à l'arc avec protection par gaz inerte et apport de métal. Une dernière méthode, moins utilisée maintenant est le soudage à l'oxycétylène. On l'emploie surtout pour les tuyaux de faibles diamètres et lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser le soudage à l'arc.

7.2 Assemblage par joints vissés et joints boulonnés

L'assemblage par joints vissés s'effectue au moyen d'un raccord, ou manchon, fileté dans lequel sont vissées les extrémités filetés des tuyaux. Les raccords filetés sont habituellement en fonte, en fer malléable ou en acier forgé.

Pour que le joint soit étanche, il est nécessaire que les filets soient propres, lisses et lubrifiés.

Lorsque les tuyaux doivent être désaccouplés pour entretien ou autres raisons, on emploie généralement la méthode d'assemblage par brides boulonnées en acier forgé. Ces brides sont disponibles en différentes formes : à gorge soudé, glissante, à obturation, à emboîtement, à joint, à recouvrement, et filetés.

Les brides sont vissées, soudées ou rabattues sur les tuyaux et la surface de contact peut être unie, dentelée, rainée pour les joints à bagues d'étanchéité ou meulée et rabattue pour contact métal sur métal.

La surface des brides peut être de type à surface lisse avec bague plate, en papier, étoupe, caoutchouc ou amiante-ciment, de type joint à languette et rainure avec bague d'étanchéité, en amiante-métallique, de type à joint annulaire ou de type joint à recouvrement.

7.3 Assemblage par joints mécaniques

Les accouplements mécaniques les plus couramment utilisés sont l'accouplement à coquille, connu sous le nom d'accouplement "Victaulic" et l'accouplement à compression, connu sous le nom d'accouplement "Dresser".

Le premier type est employé avec les tubes d'acier dont les extrémités ont été striées

de telles sortes que l'accouplement puisse les agripper afin d'empêcher leur désengagement. Il est constitué de deux segments dont les dimensions sont de 3/4 à 14 pouces et en 4 ou 6 segments pour les dimensions plus grandes. Ce type de joint peut être utilisé pour les conduites souterraines de pratiquement n'importe quel fluide, à condition toutefois que le choix du matériau de la bague d'étanchéité soit approprié. Ses principaux avantages sont de permettre de grands déplacements angulaires et d'absorber une certaine expansion; d'avoir une bague qui devient plus étanche en pression; d'empêcher les désengagements et de permettre un montage et démontage rapide.

Le deuxième type qui est employé extensivement pour les conduites de surface ou souterraines d'air, de gaz, d'eau et d'huile, absorbe un taux d'expansion et de contraction considérablement élevé et permet une certaine flexibilité à chaque joint.

8. UTILISATIONS

Au cours des années, la demande sans cesse grandissante pour des produits tubulaires de plus en plus spécialisés et résistants et le développement de la normalisation associés à l'amélioration des techniques de fabrication, au coût avantageux et aux bonnes caractéristiques de l'acier, ont amené l'utilisation des tubes et tuyaux en acier dans presque tous les domaines.

De nos jours, l'emploi des tubes en acier est supérieur à celui de tous les autres tubes métalliques réunis. A titre d'exemple, en 1971, la consommation, au Canada, de tubes et tuyaux d'acier s'est élevée à plus d'un million de tonnes comparativement à 36,000 tonnes pour le cuivre et 130,000 tonnes pour la fonte.

La liste qui suit présente les principales catégories d'utilisation où les tubes et tuyaux en acier sont couramment employés :

- Tubes pour usages généraux : transport de gaz, d'eau, de vapeur, d'air à basse pression.
- Tubes de mobilier et de serrurerie
- Conduits électriques
- Tubes de réfrigération
- Conduites de grands diamètres pour l'eau, le pétrole, le gaz et conduites de dérivation.
- Tuyaux pour la collecte des hydrocarbures et le transport de solides fluidifiés
- Pieux de fondation
- Supports tubulaires de signalisation.

- Cylindres de machines à papier, de presses à imprimer, et cylindres pour convoyeurs à rouleaux.
- Canalisations pour transport de fluides à haute pression : gaz, vapeur, produits chimiques.
- Tuyaux de structure : mains courantes, poteaux de clôture, coffrage, colonnes, etc.
- Tuyaux pour emploi dans l'industrie pétrolière : "casing", "tubing", "drill pipe", "drive pipe".
- Tubes pression pour chaudières, surchauffeurs, économiseurs, murs d'eau réchauffeurs d'air, échangeurs de chaleur, condenseurs, etc.
- Tubes mécaniques pour emploi dans les industries aéronautique et automobile, comme cylindres, arbres, coussinets, etc.
- Tubes d'ornementation
- Etc.

CHAPITRE II

LES TUYAUX EN FONTE

1. GENERALITES

Pendant plus d'un siècle, le tuyau en fonte a été utilisé avec avantage à travers le monde pour l'adduction et la distribution d'eau. Les premiers tuyaux en fonte ont, semble-t-il, été fabriqués à partir de tubes à canon. La première conduite d'eau d'importance en fonte fut installée au château de Dillenburgh en Allemagne en 1455. Deux cent ans plus tard, soit entre 1664 et 1668, fut construit un pipeline en fonte qui partant des réservoirs de Picardie, alimentait, et alimente encore aujourd'hui, les fameuses fontaines des jardins du palais de Versailles.

Au fil des ans, des améliorations techniques furent apportées aux méthodes de coulée et également à la qualité des produits finis. Les premiers tuyaux en fonte étaient coulés horizontalement. Peu après 1800, il devint d'application courante de les couler à un angle d'inclinaison de 30°, technique connue sous le nom de coulage incliné. En 1846 fut accordé à D.Y. Stewart un brevet pour la coulée de tuyaux verticale. Aujourd'hui, les tuyaux en fonte sont généralement fabriqués par le procédé par centrifugation, développé par un ingénieur français, M. Sensaud de Lavaud (1882-1947), et dont les premières expériences eurent lieu au Brésil.

Le développement le plus récent dans l'industrie des tuyaux de fonte est sans doute la coulée par centrifugation de tuyaux en fonte à graphite sphéroïdal plus généralement connu sous le nom de fonte ductile ou malléable. La découverte de la fonte ductile date de 1948. Morrogh et Williams, en Angleterre, découvrirent que l'addition d'une faible quantité de cérium à la fonte grise en fusion amenait le graphite à se solidifier sous une forme nodulaire, ou sphéroïdal, plutôt que sous une forme lamellaire comme c'est le cas pour la fonte grise. Aux Etats Unis, Gagnbin, Millis et Pilling s'aperçurent que l'addition d'une faible quantité de magnésium produisait un effet identique, de sorte que maintenant cette dernière méthode prévaut largement pour la production de masse des tuyaux en fonte ductile.

Les canalisations en fonte sont maintenant disponibles dans le commerce en deux grandes catégories, à savoir la fonte grise et la fonte ductile. Ces canalisations, offertes dans des diamètres de 60 à 1250 mm, sont le plus souvent utilisées pour l'adduction d'eau et l'évacuation des eaux usées.

2. PROPRIETES

On désigne sous le nom de fonte des alliages fer-carbone. La fonte grise d'une teneur en carbone de 3 à 3,8% contient la majorité de ce carbone sous forme de paillettes de graphite cristallisé disséminées dans la masse à l'état libre. Modérément élastique, on peut la travailler, la percer et la tarauder. Elle offre une grande résistance à la corrosion et à l'usure mais elle est fragile aux chocs. Facile à mouler, on en fabrique des tuyaux par centrifugation dans des moules en sable horizontaux ou inclinés et par gravité dans des moules en sable verticaux.

La fonte grise présente l'inconvénient d'être fragile et de ne pas supporter de déformations plastiques sans se rompre. Les lamelles de graphite constituent des plans de discontinuité dans la masse et les cassures progressent facilement de lamelle en lamelle. La résistance de la fonte est améliorée lorsqu'on réduit l'effet affaiblissant du graphite en obtenant celui-ci sous forme sensiblement sphérique; on est alors en présence de fonte GS (à graphite sphéroïdale) ou fonte ductile.

Il s'agit d'une fonte qui, refroidie normalement, serait grise. La cristallisation du graphite sous forme de sphère est obtenue grâce à l'action du magnésium

A la fonte liquide on ajoute, à la surface du bain, du magnésium sous forme d'alliage Ni-Mg, Cu-Mg, ou Si-Mg. Il semble que le magnésium joue un rôle inhibiteur de courte durée en retardant la formation initiale de graphite; la fonte se solidifie d'abord avec formation de cémentite, puis l'action du magnésium cessant, celle-ci se décompose en donnant du graphite qui se développe également dans toutes les directions, d'où sa forme sensiblement sphérique.

La structure sphéroïdale du carbone confère à la fonte ductile de remarquables améliorations de caractéristiques mécaniques par rapport à la fonte grise. A titre d'exemple, la résistance à la traction du métal constituant les tuyaux centrifugés qui est de 18 à 20 da N/mm²* avec la fonte grise, atteint 40 à 42 da N/mm² avec la fonte ductile; l'allongement à la rupture qui est nul avec la fonte grise est d'au moins 8% avec la fonte ductile. La facilité d'usinage est excellente. La fonte ductile peut être coupée, percée, cintrée à chaud. Elle est plus résistante que l'acier à la corrosion et à l'usure. Elle se prête bien au moulage qui est réalisé presque exclusivement par centrifugation dans le cas des tuyaux.

Les tuyaux en fonte ductile se révèlent particulièrement bien adaptés aux canalisations enterrées. La sécurité de service dans ce cas est liée à leur aptitude à résister aux atteintes du temps, aux attaques des sols, à celles des liquides et des solides transportés ainsi qu'aux variations de température, aux chocs et aux surpressions.

* 1 da N (décanewton)/mm² = 1,02 kgf/mm²

3. GAMME DES PRODUITS

3.1 Gamme des dimensions

Les tuyaux en fonte grise sont fabriqués dans les diamètres de 4" à 24". Le tableau No. II-1 présente la gamme des tuyaux de fonte grise fabriqués par Canron Ltd. (Canada).

Les tuyaux en fonte ductile sont fabriqués dans les diamètres de 60 mm à 1250 mm (2 1/2" à 50"). Le tableau No. II-2 présente la gamme des tuyaux en fonte ductile fabriqués par Pont-à-Mousson (France).

3.2 Pressions de service

Les tuyaux en fonte grise sont fabriqués en plusieurs séries d'épaisseurs pour résister à une variété de pressions de service dont la plus élevée est généralement de 350 lb/po² (24,5 kg/cm²).

Les tuyaux en fonte ductile sont fabriqués dans des catégories pouvant accepter des pressions de service allant jusqu'à 40 bars pour les canalisations d'eau. (40,8 kg/cm²).

4. PROCÉDES DE FABRICATION

Les tuyaux en fonte ont d'abord été coulés dans des moules en sable, dans la position verticale avec l'emboîtement en bas.

Cette méthode a maintenant été presque entièrement remplacée par le moulage par centrifugation.

La fonte liquide est introduite par un canal de coulée légèrement incliné dans un moule métallique cylindrique, appelé coquille, tournant à grande vitesse autour de son axe. La fonte liquide est appliquée par la force centrifuge contre la paroi de la coquille, laquelle est refroidie par une circulation d'eau; elle s'y répartit uniformément et se solidifie à son contact. Les tuyaux sont ensuite extraits de leur coquille et introduits au four pour traitement thermique. Ce traitement fera disparaître les tensions résiduelles et conférera au produit une résistance accrue à la flexion et au choc, tout en facilitant son usinage éventuel. Les tuyaux sont prêts à subir l'essai hydrostatique après quoi ils reçoivent leur revêtement et sont usinés si il y a lieu.

Les tuyaux ainsi obtenus par centrifugation sont de grain plus fin que celui des anciens tuyaux coulés en moules de sable. Dans la fonte grise en particulier, le graphite est d'une plus grande finesse ce qui améliore nettement ses propriétés mécaniques.

TABLEAU N° II - I
TUYAUX EN FONTE

SORBS inc.

Gamme des tuyaux en fonte grise fabriqués par Canron Ltd (Canada)

DIAMÈTRE NOMINAL (PO.)	CATÉGORIE D'ÉPAISSEUR (PO.)	ÉPAISSEUR (PO.)	DIAMÈTRE EXTERIEUR (PO.)	DIAMÈTRE INTÉRIEUR (PO.)	POIDS DU FÛT PAR PIED (LBS)	POIDS DE LA CLOCHE (LBS)
4	22	0,35	4,80	4,10	15,3	14
	23	,38	4,80	4,04	16,5	14
	24	,41	4,80	3,98	17,6	14
	25	,44	4,80	3,92	18,8	14
6	22	0,38	6,90	6,14	24,3	25
	23	,41	6,90	6,08	26,1	25
	24	,44	6,90	6,02	27,9	25
	25	,48	6,90	5,94	30,2	25
	26	,52	6,90	5,86	32,5	25
8	22	0,41	9,05	8,23	34,7	41
	23	,44	9,05	8,17	37,1	41
	24	,48	9,05	8,09	40,3	41
	25	,52	9,05	8,01	43,5	41
	26	,56	9,05	7,93	46,6	41
10	22	0,44	11,10	10,22	46,0	54
	23	,48	11,10	10,14	50,0	54
	24	,52	11,10	10,06	53,9	54
	25	,56	11,10	9,98	57,9	54
	26	,60	11,10	9,90	61,8	54
12	22	0,48	13,20	12,24	59,8	66
	23	,52	13,20	12,16	64,6	66
	24	,56	13,20	12,08	69,4	66
	25	,60	13,20	12,00	74,1	66
	26	,65	13,20	11,90	80,0	66
14	21	0,48	15,30	14,34	69,7	78
	22	,51	15,30	14,28	73,9	78
	23	,55	15,30	14,20	79,5	78
	24	,59	15,30	14,12	85,1	78
	25	,64	15,30	14,02	92,0	78
26	,69	15,30	13,92	98,8	78	
16	21	0,50	17,40	16,40	82,8	96
	22	,54	17,40	16,32	89,2	96
	23	,58	17,40	16,24	95,6	96
	24	,63	17,40	16,14	103,6	96
	25	,68	17,40	16,04	111,4	96
26	,73	17,40	15,94	119,3	96	
18	21	0,54	19,50	18,42	100,4	114
	22	,58	19,50	18,34	107,6	114
	23	,63	19,50	18,24	116,5	114
	24	,68	19,50	18,14	125,4	114
	25	,73	19,50	18,04	134,3	114
26	,79	19,50	17,92	144,9	114	
20	21	0,57	21,60	20,46	117,5	133
	22	,62	21,60	20,36	127,5	133
	23	,67	21,60	20,26	137,5	133
	24	,72	21,60	20,16	147,1	133
	25	,78	21,60	20,04	159,2	133
26	,84	21,60	19,92	170,9	133	
24	21	0,63	25,80	25,54	155,4	179
	22	,68	25,80	24,44	167,4	179
	23	,73	25,80	24,34	179,4	179
	24	,79	25,80	24,22	193,7	179
	25	,85	25,80	24,10	207,9	179
26	,92	25,80	23,96	224,4	179	

Source: Canron Ltd. (Canada). Catalogue de Produits.

TABLEAU II-2

Tuyaux en fonte

**Gamme des tuyaux en fonte ductile Express GS
fabriqués par Pont-à-Mousson (France)**

Diamètre nominal	Diamètre extérieur du fût	Épaisseur du fût	Masse métrique
(mm)	(mm)	(mm)	(kg)
60	77	6,0	10
80	98	6,0	13
100	118	6,1	16
125	144	6,2	20
150	170	6,3	24
175	196	6,3	28
200	222	6,4	32,5
250	274	6,8	42,5
300	326	7,2	54
350	378	7,7	67,5
400	429	8,1	80,5
450	480	8,6	96
500	532	9,0	112
600	635	9,9	147
700	738	10,8	187
800	842	11,7	233
900	945	12,6	282
1000	1048	13,5	337
1100	1150	14,4	396
1250	1305	15,8	496

Source : Société des fonderies de Pont-à-Mousson (France), Canalisations (1969).

5. NORMES

Les normes les plus généralement utilisées pour la fabrication des tuyaux en fonte sont les suivantes:

5.1 ISO (Organisation internationale de normalisation)

No. R-13, R-531

5.2 ANSI (American National Standards Institute)

No. A-21.1, A-21.4, A-21.6, A-21.7, A-21.8, A-21.9, A-21.12,
A-21.51, A-21.52, A-40.5, A-112.5.1, G-26.1

5.3 ASTM (American Society for Testing and Materials)

No. A-74, A-142, A-377

5.4 AFNOR (Association française de normalisation)

No. NF A 38-011, NF A 38-012, NF A 48-501, NF A 48-505
NF A 48-506, NF A 48-601, NF A 48-602, NF A 48-606
NF A 48-607, NF A 48-701, NF A 48-702, NF A 48-703

5.5 CSA (Canadian Standards Association)

No. B-70, B-131.1, B-131.5, B-131.6, B-131.7,
B-131.8, B-131.11

5.6 BSI (British Standard Institution)

No. 40, 41, 44, 78, 416, 460, 1211, 2035

5.7 DNA (Deutscher Normenausschuss)

No. DIN 28500, DIN 28511, DIN 28513, DIN 28514

6. TRAITEMENT DE SURFACE

Le revêtement intérieur le plus couramment utilisé est constitué d'un mortier de ciment appliqué par centrifugation. Avec la fonte grise on utilise un ciment métallurgique à forte teneur en silico-aluminate. Les revêtements intérieurs de goudron, de bitume et de vernis sont aussi utilisés. Règle générale ces revêtements ont pour but d'obtenir une surface d'écoulement particulièrement lisse et de préserver le tuyau des risques d'incrustation.

Lorsqu'elles doivent traverser des terrains particulièrement agressifs, les canalisations de fonte peuvent être protégées par des manches de polyéthylène. Celles-ci sont drapées autour des tuyaux et elles y sont maintenues en place au moyen de bandes adhésives également en polyéthylène.

7. ASSEMBLAGE

Tandis que les joints à brides sont plus particulièrement utilisés dans les installations industrielles, et les joints vissés pour les gazoducs, les canalisations de transport, généralement enterrées, comportent presque toujours des joints à emboîtement.

Les joints à emboîtement sont généralement d'un des trois types suivants :

- a) joints coulés (réservés pour les écoulements libres d'eaux usées et eaux pluviales)
- b) les joints à rondelle de caoutchouc dits automatiques
- c) les joints dits express en version ordinaire ou verrouillée.

Les joints coulés sont généralement réalisés en plomb. Pour les canalisations d'eau on utilise également le mortier de ciment et certains composés de soufre.

Dans le joint automatique, l'étanchéité est obtenue par la compression d'une rondelle circulaire en caoutchouc insérée dans une rainure à l'intérieur de l'emboîtement. L'emboîtement présente à l'intérieur un dégagement qui permet les déplacements angulaires et longitudinaux. Pour assembler il suffit de faire pénétrer le bout uni d'un tuyau dans l'emboîtement de l'autre; la compression de la rondelle assure alors l'étanchéité.

Dans les joints express, l'étanchéité est obtenue par compression d'une rondelle élastique logée dans l'emboîtement au moyen d'une contrebride serrée par des boulons. Tout comme dans le cas du joint automatique, l'emboîtement du joint express comporte à l'intérieur un dégagement qui permet les déplacements angulaires et longitudinaux. Différentes rondelles sont disponibles dépendant que la canalisation sera utilisée pour le transport de l'eau, de l'eau chaude, du gaz, ou des hydrocarbures. Le joint express assure l'étanchéité à des pressions élevées grâce à la section importante des boulons. De plus il se prête bien au démontage et au réemploi en cas de dépose ou de transformation de la canalisation. Ces joints ne sont cependant pas indéboîtables et dans les canalisations importantes les coudes, cônes, tés, etc., doivent être soigneusement bûtés au moyen de massifs en béton. Le joint express verrouillé permet d'éviter ces butés si on le désire. Il s'agit d'un joint express modifié de façon à le rendre indéboîtable. Les tuyaux qu'il réunit sont immobilisés dans le sens longitudinal par un jonc métallique circulaire.

Dans les pays froids, on fait aussi usage de joints électroconducteurs. Pour dégeler plusieurs sections de tuyaux ou pour dégeler les raccordements aux maisons, il est de pratique courante d'y appliquer des courants électriques dont l'intensité peut atteindre 600 ampères pendant une assez longue période de temps.

Or, les joints avec rondelle de caoutchouc s'oppose au passage du courant d'un tuyau à l'autre. On utilise alors les joints électroconducteurs qui sont essentiellement de deux types. Un premier type comporte des lamelles de cuivre soudés en usine à la partie mâle et la partie femelle de chaque tuyau. Lorsqu'on réalise l'emboîtement des tuyaux, ces lamelles sont réunies par boulons et écrous en alliage bronze-silicium. Dans un deuxième type, la conductivité du joint est réalisée au moyen de deux boulons de serrage. L'emboîtement, qui est fait plus long dans ce cas, est percé et taraudé, et comporte deux vis de serrage qui viennent prendre appui contre la partie du tuyau à bout uni inséré dans l'emboîtement. La pointe concave des vis leur permet de traverser le revêtement extérieur et d'établir un contact avec le métal.

E. UTILISATIONS

Les tuyaux de fonte sont utilisés surtout pour les canalisations d'eau, de gaz, et les conduites d'assainissement.

Pour la canalisation d'eau la fonte s'impose surtout pour les conduites fonctionnant à de fortes pressions, exposées à des chocs ou soumises à des efforts exceptionnels. On les utilise pour les canalisations posés en terrains instables.

On utilise la fonte pour le transport, la répartition, et la distribution de gaz à moyenne pression.

On l'emploie également dans les raffineries et les usines pétrochimiques pour le transport des hydrocarbures. De même à bord des pétroliers, les canalisations sur les ponts sont souvent réalisées en fonte. Dans les réseaux d'assainissement urbains, la fonte ductile est particulièrement appréciée aux endroits soumis aux trépidations et aux fortes charges extérieures résultant de la circulation de véhicules.

La fonte ductile centrifugée est également employée pour la fabrication de rouleaux de tous genres utilisés dans les machines à papier et les équipements de sidérurgie.

CHAPITRE III

LES TUBES ET TUYAUX EN CUIVRE

1. GENERALITES

Le cuivre est un des premiers métaux utilisés par l'homme. Les artisans en connaissaient l'usage dès 7 500 av. J.C. et découvrirent rapidement qu'en y ajoutant de l'étain on obtenait le bronze, un alliage de grande résistance. Cet alliage et le cuivre étaient déjà couramment utilisés par les civilisations Antiques vers 2 750 av. J.C. Les Romains, notamment, perfectionnèrent l'emploi du cuivre et en y mélangeant du zinc, apprirent à fabriquer le laiton.

Aujourd'hui, l'usage des tubes de cuivre par la technologie moderne est intense. Elle se sert d'un très large éventail de diamètres, allant du tube capillaire au tuyau de 24". Elle utilise aussi une grande variété d'alliages suivant ses besoins. Elle les emploie surtout pour les canalisations d'eau froide, d'eau chaude et de gaz, les installations de chauffage, les évacuations d'eaux usées, la fabrication des échangeurs de chaleur, des appareils de réfrigération et de climatisation. A cause de leur résistance élevée à la corrosion, ils trouvent de nombreuses applications dans les papeteries, les brasseries, les distilleries, les usines de fabrication de produits chimiques.

2. PROPRIETES

Le cuivre est un métal très ductile et très malléable. De dureté moyenne, c'est le plus tenace des métaux après le fer d'où la possibilité de l'étirer en tuyaux de très faible épaisseur et de très petit diamètre.

Le polissage lui donne un éclat brillant, mais qui s'altère au contact de l'air; il se forme alors des composés insolubles, imperméables et très adhérents qui lui confèrent une très bonne résistance à la corrosion, même en atmosphère sulfureuse ou saline.

Sa haute conductibilité électrique inférieure seulement à celle des métaux précieux, en fait un matériau de choix pour appareillage électrique. Dans les installations à haute tension, les barres omnibus sont fréquemment constituées de profilés tubulaires en cuivre.

Le cuivre étant un très bon conducteur calorifique, il est souvent employé pour la réalisation des tubulures des échangeurs de chaleur, des radiateurs et des condenseurs.

Son point de fusion est élevé (1084°C) et il résiste bien au feu. Ainsi, lors d'un incendie, un tuyau en cuivre canalisant du gaz ne fond pas immédiatement, ce qui retarde l'alimentation du foyer par le gaz même.

3. GAMME DES PRODUITS

Les tuyaux de cuivre, de lalton et de bronze sont fabriqués dans une gamme très étendue de diamètres, d'épaisseurs de formes et d'alliages différents selon les divers besoins et conditions d'utilisation (pression, température, etc.)

3.1 Gamme des dimensions

Les tuyaux de cuivre et des alliages de cuivre sont fabriqués dans des diamètres intérieurs allant d'un minimum de 0,026 pouces pour les tubes dit capillaires à un maximum de 24" pour les tuyaux de canalisation d'eau.

Le tableau no. III-1 présente les dimensions et poids des tubes capillaires fabriqués par Wolverine Tube (Canada). Ces tubes très fins répondant à la norme ASTM B-360, sont utilisés comme restricteurs et organes de régulation pour les liquides et les gaz dans les appareils de réfrigération et de climatisation ainsi que dans les instruments scientifiques.

Le tableau no. III-2 présente les dimensions et poids des tubes en alliage "Yorcalbro" produits par Yorkshire Imperial (Canada) et recommandés pour les canalisations d'eau salée.

3.2 Alliages

Les plus importants fabricants de tuyaux de cuivre offrent dans leur production une variété impressionnante d'alliages.

Nous avons porté au tableau no III-3 la composition des principaux alliages de cuivre employés par Yorkshire Imperial (Canada) pour la fabrication de ses tuyaux.

3.3 Formes

Les tuyaux de cuivre fabriqués par certains producteurs présentent un large éventail de formes, dont les suivantes :

- ronde
- carrée
- rectangulaire
- hexagonale
- octogonale
- ronde à l'extérieur, carrée à l'intérieur

TABEAU III-1

Tubes en cuivre

Dimensions et poids des tubes capillaires fabriqués par Wolverine Tube (Canada)

Diamètre extérieur	Diamètre intérieur	Épaisseur de la paroi	Section intérieure	Poids en livres par pied linéaire
(po.)	(po.)	(po.)	(po.)	
0,072	0,026	0,023	$5,309 \times 10^{-4}$	0,01373
0,072	0,028	0,022	6,158	0,01340
0,081	0,031	0,025	7,548	0,01705
0,081	0,033	0,024	8,553	0,01666
0,087	0,036	0,02555	10,18	0,01910
0,087	0,039	0,024	11,95	0,01842
0,093	0,042	0,02555	13,85	0,02076
0,097	0,046	0,0255	16,62	0,02221
0,099	0,049	0,025	18,86	0,02253
0,106	0,054	0,026	22,90	0,02533
0,112	0,059	0,0265	27,34	0,02760
0,125	0,064	0,0305	32,17	0,03511
0,125	0,070	0,0275	38,48	0,03266
0,125	0,075	0,025	44,18	0,03045
0,145	0,080	0,0325	50,27	0,04453
0,145	0,085	0,030	56,74	0,04202
0,145	0,090	0,0275	63,62	0,03936
0,160	0,100	0,030	78,54	0,04750
0,160	0,110	0,025	95,03	0,04111
0,188	0,120	0,034	113,1	0,06377
0,188	0,130	0,029	132,7	0,05616
0,200	0,145	0,0275	165,1	0,05779
0,220	0,160	0,030	201,1	0,06943
0,240	0,175	0,032	240,5	0,08107

Source : Wolverine Tube (Canada, Catalogue de produits

TABLEAU III-2

Tubes de cuivre

Dimensions et poids des tubes en alliage "Yorcalbro"
fabriqués par Yorkshire Imperial (Canada)

Diamètre intérieur nominal	Diamètre extérieur		Épaisseur de la paroi		Poids	
	(po.)	(mm)	(po.)	(mm)	(po.)	(Kg/m)
0,5	0,596	15,14	0,048	1,22	0,30	0,44
0,75	0,846	21,49	0,048	1,22	0,44	0,65
1,0	1,112	28,25	0,056	1,42	0,67	1,00
1,25	1,362	34,60	0,056	1,42	0,83	1,24
1,5	1,612	40,95	0,056	1,42	0,99	1,47
2,0	2,128	54,05	0,064	1,63	1,50	2,23
2,5	2,628	66,75	0,064	1,63	1,86	2,77
3,0*	3,144	79,86	0,072	1,83	2,51	3,74
3,5	3,660	92,96	0,080	2,03	3,25	4,84
4,0*	4,184	106,27	0,092	2,34	4,28	6,36
4,5	4,684	118,97	0,092	2,34	4,80	7,14
5,0*	5,184	131,67	0,092	2,34	5,32	7,92
6,0*	6,208	157,68	0,104	2,64	7,21	10,73
7,0	7,208	183,08	0,104	2,64	8,39	12,49
8,0*	8,208	208,48	0,104	2,64	9,57	14,25
9,0	9,232	234,49	0,116	2,95	12,01	17,87
10,0*	10,256	260,50	0,128	3,25	14,73	21,91
11,0	11,288	286,72	0,144	3,66	18,23	27,13
12,0*	12,288	312,12	0,144	3,66	19,86	29,55
14,0	14,320	363,73	0,160	4,06	25,74	38,30
16,0	16,320	414,53	0,160	4,06	29,37	43,71
18,0	18,320	465,33	0,160	4,06	33,00	49,12
20,0	20,352	516,94	0,176	4,47	40,34	60,02
22,0**	22,352	567,74	0,176	4,47	44,33	65,97
24,0**	24,384	619,35	0,192	4,88	52,76	78,52

Source : Yorkshire Imperial (Canada), Catalogue de produits.

TABEAU III - 3

TUBES DE CUIVRE

Composition des alliages utilisés par Yorkshire Imperial (Canada) pour la fabrication des tubes de cuivre.

DESIGNATION DE L'ALLIAGE	COMPOSITION	
Cuivre désoxydé non-arsénical	99,9 % 0,03%	cuivre phosphore
Cuivre désoxydé arsénical	99,6 % 0,35% 0,03%	cuivre arsenic phosphore
Cuivre haute conductivité	99,90% 0,03%	cuivre autres éléments sauf oxygène
Laiton seva 70/30	70 % 00,04% reste	cuivre arsenic zinc
Laiton Admiralty	70 % 1 % 0,04% reste	cuivre étain arsenic zinc
Laiton de décolletage	62 % 1,75% reste	cuivre plomb zinc
Laiton Yorcambro	76 % 2 % 0,04% reste>	cuivre aluminium arsenic zinc
Yorcoron	31 % 2 % 2 % reste	nickel fer manganèse zinc
Kunifer 30	31 % 0,6 % 0,8 % reste	nickel fer manganèse cuivre
Kunifer 10	10,5 % 1,7 % 0,8 % reste	nickel fer manganèse cuivre
Kunifer 5	5,5 % 1,2 % 0,5 % reste	nickel fer manganèse cuivre
Resisco	93 % 7 %	cuivre aluminium
Cuivre phosphoreux	94,5 % 5 % 0,1 %	cuivre étain phosphore

Source: Yorkshire Imperial (Canada), Catalogue de produits.

Il ne se soude pas à lui-même facilement. La soudure se fait par brasure (de laiton ou d'argent) à l'aide de la lampe à braser ou du chalumeau oxyacétylénique. On peut aussi le souder à l'étain mais cette soudure n'offre pas une grande résistance.

Il s'allie à divers métaux et en particulier au zinc et à l'étain pour former respectivement le laiton et le bronze, alliages fréquemment utilisés sous forme de tuyauterie et robinetterie.

Il faut éviter dans les installations de tuyaux en cuivre les contacts cuivre-zinc et cuivre-fer. Les courants électrolytiques qui pourraient ainsi prendre naissance entraîneraient la formation de couples galvaniques sources de corrosion.

- ronde à l'extérieur, hexagonale à l'intérieur
- ronde à l'extérieur, oblongue à l'intérieur
- ronde à l'intérieur, carrée à l'intérieur
- ronde à l'intérieur, hexagonale à l'extérieur
- ronde à l'intérieur, octogonale à l'extérieur

3.4 Pressions de services

Les tuyaux de cuivre sont fabriqués pour répondre à une gamme étendue de pressions de service.

Nous présentons à titre d'exemple au tableau no. III-4 les pressions de service nominales des tubes de 1" fabriqués par la société Noranda et destinés surtout aux installations de chauffage. Les pressions indiquées correspondent à une température de service de 200°F (80°C).

3.5 Tubes duplex

Les tubes de cuivre sont aussi produits dans la version dite duplex. Ces tubes sont constitués de métaux différents à l'intérieur et à l'extérieur du tube. Ils sont utilisés pour répondre à des conditions particulières d'emploi lorsque le milieu corrosif est très différent à l'intérieur et à l'extérieur du tube. Diverses combinaisons de cuivre, d'alliage de cuivre, d'aluminium et d'acier entrent dans la fabrication de ces tubes.

3.6 Tubes à ailettes intégrées

Des tubes de cuivre et alliages de cuivre sont maintenant proposés avec ailettes intérieures ou extérieures intégrées. Ces ailettes sont droites ou en spirale. Ces tubes, une des innovations les plus prometteuses des programmes spatiaux et nucléaires, ont été développés afin d'augmenter les propriétés de transfert calorifique des tubes lorsque ceux-ci sont utilisés dans les appareils de chauffage, de climatisation, et d'échange de chaleur.

TABLEAU III-4

Tubes en cuivre

Pression de service nominales des tubes
de 1" fabriqués par Noranda Copper Mills Ltd (Canada)

Désignation du tube	Pression livres par pouces carrés	Pression Kg/cm ²
Type K	620	43,5
Type L	460	32,3
SPS (bouts filetés)	440	30,9
SPS cuivre rouge (bouts filetés)	630	44,2
SPS (bouts lisses)	1090	76,8
SPS cuivre rouge (bouts lisses)	1580	105,6
SPS série forte (bouts filetés)	930	65,3
SPS série forte, cuivre rouge (bouts filetés)	1340	94,1
SPS série forte (bouts lisses)	1620	112,0
SPS série forte cuivre rouge (bouts lisses)	2360	166,0

Source : Noranda Copper Mills Ltd (Canada), Catalogue de produits.

4. PROCÉDE DE FABRICATION

Les tubes de cuivre sont fabriqués par le procédé d'extrusion au moyen de presses à filer du même type que celles utilisées pour les tubes d'acier sans soudure (1) ou les tubes d'aluminium. Le mode d'extrusion avec chemise et sans graissage est habituellement employé.

L'équipement est sensiblement le même que pour l'acier au niveau de l'extrusion elle-même (presse). Toutefois, les métaux cuivreux nécessitent des équipements auxiliaires de presse ainsi que des équipements annexes particuliers pour tenir compte des caractéristiques des différents alliages de laiton très sensibles à la rupture, de même que d'une gamme de vitesses plus étendue, jusqu'à 150 mm/s. En effet, les alliages de laiton doivent être d'abord lentement refroidis, avant toute opération de trempe. Par contre, les tubes de cuivre supportent une trempe directe à l'eau.

Au cours des dernières années, de nombreuses sociétés importantes, en particulier aux États-Unis, en sont arrivées à axer leur fabrication de tubes sanitaires en cuivre sur le procédé de filage "high ratio extrusion" qui permet d'obtenir en une seule opération des tubes à parois très minces. Le rapport de filage entre la section de la billette et la section du tube atteint alors 180/1. Ces tubes de cuivre sont ensuite terminés sur banc poussant à partir de couronnes ou de longueurs droites. D'autres sociétés sont persuadées qu'il est plus rentable d'élaborer sur la presse des tubes de cuivre à parois épaisses-poids et débits élevés - pour ensuite poursuivre la réduction des tubes sur laminoirs à pas de pèlerin avant de finir sur bancs pourrants comme dans le premier cas.

5. NORMES

La normalisation des tubes et tuyaux de cuivre a été très poussée surtout lors des quinze dernières années. Les normes les plus généralement utilisées sont les suivantes :

5.1 ISO (Organisation internationale de normalisation)

No. R 195, R 274, R 401

5.2 ANSI (American National Standards Institute)

No. C 7.26, H 23.1, H 23.2, H 23.3, H 23.4, H 23.5, H 23.6,
H 23.7, H 23.8, H 26.1, H 26.2, H 26.3, H 27.1, H 36.1,
H 37.1, H 39.2, H 39.4

(1) Voir chapitre I, section 4.1.5

5.3 ASTM (American Society for testing and Materials)

No. B 42, B 43, B 6⁰, B 75, B 88, B 111, B 135, B 153, B 165,
B 188, B 251, B 30, B 302, B 306, B 315, B 359, B 360,
B 372, B 395, B 428, B 447, B 466, B 467, B 469, B 543,
B 552, E 243

5.4 AFNOR (Association française de normalisation)

No. NF A 53-501, NF A 53-503, NF A 56-101, NF A 68-201, NF A 68-204,
NFL 15,620, NFR 990-90

5.5 CSA (Canadian Standards Association)

No. HC 7.1, HC 7.2, HC 7.3, HC 7.4, HC 7.5, HC 7.6, HC 7.7,
HC 7.8, HC 7.9, HC 7.10

5.6 BSI (British Standards Institution)

No. 61 (Part 1), 378, 659, 885, 1306, 1386, 1431, 1464, 1866,
1977, 2017, 2579, 2871.

5.7 DNA (Deutscher Normenausschuss)

No. DIN 1785, DIN 17671

6. TRAITEMENTS DE SURFACE

Compte tenu de leur excellente résistance à la corrosion, les tubes de cuivre ne requièrent généralement aucun recouvrement protecteur.

De même, les parois intérieures des tubes de cuivres sont très lisses et maintiennent cette propriété dans la plupart des cas pendant de très nombreuses années ce qui obvie à la nécessité d'utiliser des revêtements intérieurs. Grâce à cette qualité de la surface interne, les pertes de charge sont très réduites et il est souvent possible de ce fait de réduire le diamètre du tube lorsque celui-ci est en cuivre.

7. ASSEMBLAGE

Les assemblages de tuyaux de cuivre sont généralement réalisés de l'une des façons suivantes :

7.1 Assemblage par raccords intermédiaires à soudage par capillarité

Cette méthode est la plus couramment utilisée dans le secteur du bâtiment pour les tuyauteries d'alimentation d'eau, d'évacuation et de chauffage. Les raccords sont en cuivre ou en alliage de cuivre. La soudure, sous l'action de la chaleur, est entraînée par capillarité dans le joint entre le tube et le raccord. Lorsque la soudure par brasure de plomb-étain est employée, la température de service est limitée à 120°C. La température de service peut être portée à 175°C avec l'utilisation de la brasure de laiton.

7.2 Assemblage par raccords intermédiaires à montages et démontages mécaniques.

On use de cette méthode pour l'assemblage des tubes à parois minces et son application est généralement restreinte aux tubes dont le diamètre n'excède pas 2".

7.3 Assemblage par raccords filetés

Les raccords sont en cuivre ou en alliages de cuivre et ils sont filetés à la façon des raccords de fonte ductile couramment utilisés avec les tuyaux d'acier. Cette méthode est employée uniquement lorsque l'épaisseur de la paroi du tube est suffisante pour permettre le filetage.

7.4 Assemblage par brides

Ce procédé est appliquée aux tuyaux de diamètre important et pour le raccord aux réservoirs, soupapes, appareils de comptage et autres appareils de tuyauterie.

8. UTILISATIONS

Les tubes de cuivres ont une gamme d'utilisation très variée.

Dans le bâtiment on les utilise pour les distributions d'eau chaude et froide ainsi que pour les évacuations d'eaux usées. Leur paroi intérieure, qui demeure toujours lisse permet souvent l'utilisation de tubes de diamètre plus petit. Leur grande résistance à l'incendie les fait rechercher pour les canalisations de gaz. En dépit de leur conductibilité thermique élevée, ils sont fréquemment employés pour les installations de chauffage, car ils se prêtent bien aux sinuosités de parcours. Noyés dans les planchers et les plafonds, ils constituent l'élément principal des systèmes de chauffage radiants.

L'industrie a recours au tubes de cuivre pour les canalisations d'air comprimé et de lubrifiant. On les retrouve également dans les systèmes hydrauliques.

Ils sont d'une utilisation courante dans les appareils de réfrigération et de climatisation. Ils sont fréquemment employés dans la fabrication des radiateurs et des condensateurs. Ils constituent l'élément principal d'une grande proportion des échangeurs de chaleur dont se servent les industries les plus variées. Leur utilisation dans ce dernier domaine a été rendue encore plus généralisée par la mise au point des tubes duplex qui sont composés d'alliages différents à l'intérieur et à l'extérieur ce qui leur permet de répondre à des conditions particulières d'emploi lorsque le milieu corrosif est différent à l'intérieur et à l'extérieur du tube. De même, le développement de tubes de cuivre à ailettes intégrées avec coefficient de transmission de chaleur amélioré permet de réduire sensiblement la taille des appareils échangeurs de chaleur.

Le petit tube de cuivre à paroi mince est d'utilisation courante dans le secteur des instruments de mesure et de contrôle. A l'intérieur de ces instruments, l'emploi des tubes de très petits diamètres dit capillaires est fréquent pour contrôler l'écoulement des liquides et des gaz.

Le cuivre est souvent choisi pour les canalisations d'eau salée. On le retrouve en de nombreuses applications dans les usines de dessalinisation d'eau de mer ainsi qu'à bord des navires.

Dans les hôpitaux on l'utilise couramment pour les canalisations d'oxygène et des autres gaz employés en anesthésie et en chirurgie.

Dans l'industrie de l'appareillage électrique le cuivre est recherché pour son excellente conductibilité. Les barres omnibus sont fréquemment faites de profilés tubulaires en cuivre.

Les profilés tubulaires en cuivre qui sont produits en une grande variété de formes, i.e., ronde, carrée, hexagonale, octogonale, etc., sont employés dans l'industrie de la boulonnerie et de la fabrication de pièces de petite quincaillerie.

Les raffineries de pétrole, les fabriques de pâtes et papiers, les brasseries, les distilleries, les raffineries de sucre et les industries chimiques sont d'importants utilisateurs de tubes de cuivre.

CHAPITRE IV

LES TUBES ET TUYAUX EN ALUMINIUM

1. GENERALITES

Inconnu il y a 150 ans, l'aluminium est aujourd'hui le métal le plus utilisé après le fer. Sa fabrication industrielle date de 1854, et c'est en 1886 que fut mise au point sa métallurgie par l'électrolyse.

Il entre dans la fabrication de tubes dont les diamètres varient de 1/8" à 12". On le retrouve alors surtout sous forme d'alliages légers renfermant de 94 à 99% d'aluminium et soit du manganèse, du magnésium, du chrome ou du cuivre.

Le tube d'aluminium est recherché surtout pour sa légèreté et sa résistance à la corrosion. Il est donc utilisé pour le transport des fluides, eau, air comprimé, etc. dans les cas où il doit être déplacé fréquemment comme par exemple dans les mines et sur les périmètres d'irrigation. On l'emploie pour fabriquer des structures légères et transportables telles les échafaudages. Il est utilisé en serrurerie, en quincaillerie et pour la fabrication du mobilier. Les conduits pour fils électriques sont souvent faits de tubes d'aluminium.

A cause de sa résistance à la corrosion il trouve de nombreux emplois dans les papeteries, les usines de produits alimentaires, les usines de produits chimiques.

2. PROPRIETES

L'aluminium est à l'état pur un métal blanc, léger et mou. Au contact de l'air humide, il se recouvre d'une mince pellicule d'alumine adhérente, imperméable et continue qui permet au métal de résister à la corrosion par les agents destructeurs des atmosphères industrielles. L'utilisation des tubes d'aluminium est courante dans les usines de pâtes et papier employant le procédé au sulfate.

Il faut noter cependant que l'aluminium craint les acides phosphoriques, fluorhydrique, muriatique, sulfurique, etc. Les tuyaux d'aluminium sont également à proscrire dans les atmosphères salines à moins qu'ils ne soient fabriqués d'alliages spécialement conçus à cette fin.

L'aluminium se raie facilement et il peut se rompre sous l'action de vibrations répétées. On doit donc utiliser les tuyaux d'aluminium avec circonspection dans tous les endroits où ils sont exposés aux chocs et aux vibrations.

A basse température sa résistance augmente et à l'encontre de plusieurs métaux, il ne devient pas cassant. Pour cette raison, les tuyaux d'aluminium sont utilisés pour de nombreuses applications dans les régions froides. Réciproquement, sa

résistance diminue rapidement à la chaleur et on doit éviter de les utiliser pour le transport des fluides dont la température excède 85° C.

L'aluminium est un bon conducteur de la chaleur et de l'électricité. Il fond vers 660°C, mais ne brûle pas durant la fusion, (il ne propage donc pas l'incendie).

Il forme un couple galvanique en présence d'un métal plus électropositif (cuivre, bronze, laiton, étain, plomb, fer). Il faut donc éviter dans les installations de tuyaux d'aluminium les contacts avec ces métaux.

Il est attaqué par le plâtre et les ciments libérant de la chaux vive durant la prise, d'où nécessité de le protéger lorsqu'il est noyé dans le béton.

5. GAMME DES PRODUITS

Les tubes d'aluminium sont fabriqués dans une variété de diamètres, d'épaisseurs, de formes et d'alliages différents selon les applications auxquelles ils sont destinés.

3.1 Gamme des dimensions

Les principaux producteurs de tubes d'aluminium offrent ceux-ci dans une gamme importante de diamètres et d'épaisseurs. Par exemple, la société Reynolds Aluminium fabrique ses tubes en 18 diamètres différents allant de 1/8" à 12". Les épaisseurs de paroi varient de 0.068" à 0.906".

Le tableau IV-1 présente les dimensions, poids et pressions de rupture des tubes de 8" fabriqués par Reynolds Aluminium.

3.2 Alliages

Les plus importants fabricants offrent les tubes d'aluminium dans un choix d'alliages étendu.

Nous présentons au tableau no. IV-2 la composition des alliages utilisés par Alcoa pour la fabrication des tubes d'aluminium.

3.3 Formes

Les tubes et profilés creux en aluminium sont présentés dans le commerce dans une variété de formes impressionnante comprenant les sections rondes, ovales, hexagonales, carrées et rectangulaires à coins carrés et à coins arrondis, avec une ou plusieurs ailettes extérieures intégrées, irrégulières pour utilisations spécifiques telles mains courantes, etc.

A titre d'exemple, nous présentons au tableau no. IV-3 la gamme des tubes carrés à coins carrés produits par la société Alcan. Ces tubes sont offerts en trois alliages différents, à savoir : Alcan - 15, Alcan - 50S et Alcan - 65S.

TABLEAU IV-1

Tubes d'aluminium

**Caractéristiques des tubes de 8 pouces
fabriqués par Reynolds Aluminium (Canada)**

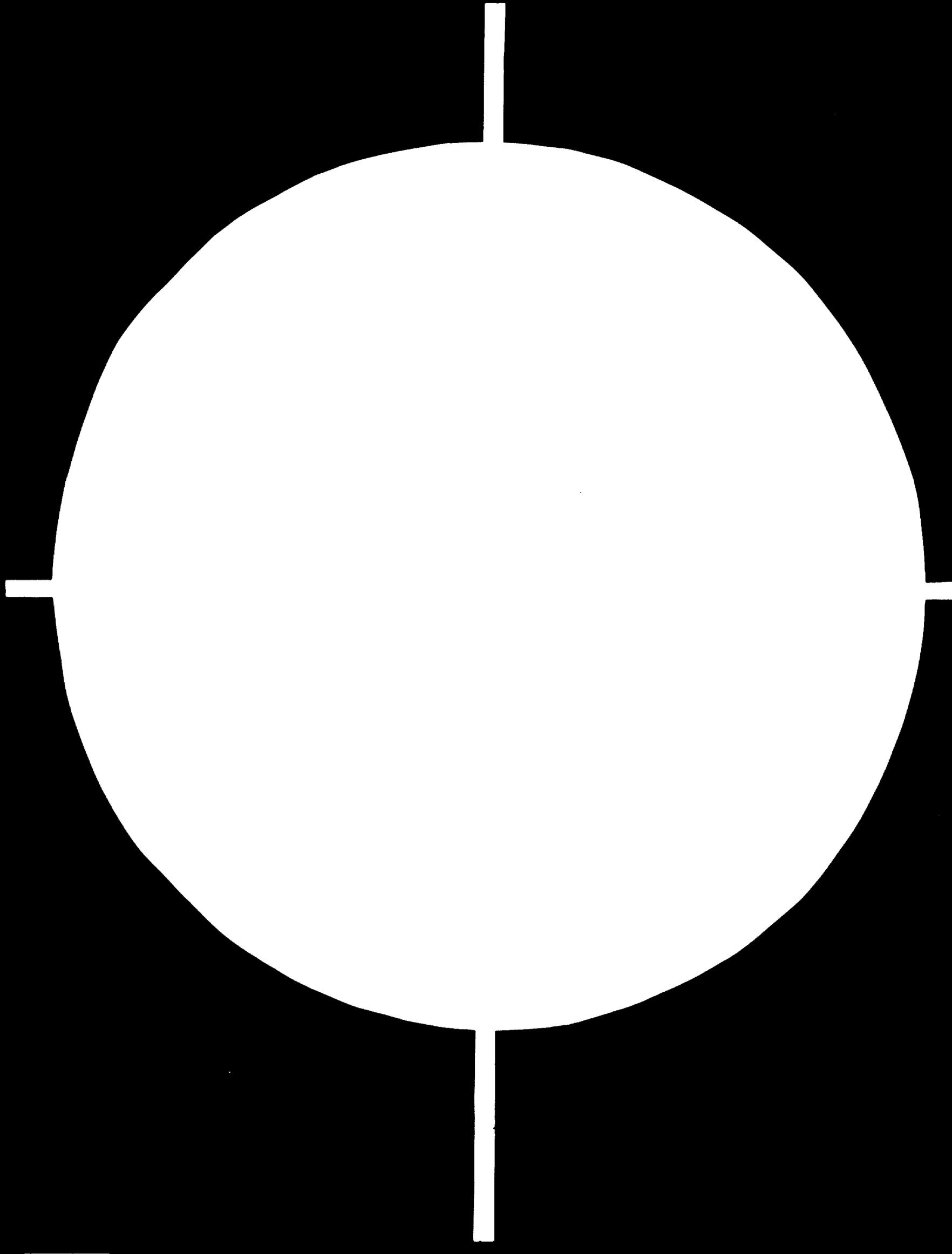
Diamètre nominal	Diamètre extérieur	Diamètre intérieur	Épaisseur de paroi	Poids	Pression de rupture livres/pouce carré	
					Alliages 6063-T6	Alliages 6061-T6
(po.)	(po.)	(po.)	(po.)	(lb/pi)		
8	8,625	8,407	0,109	3,429	765	970
8	8,625	8,329	0,148	4,635	1040	1320
8	8,625	8,125	0,250	7,736	1780	2250
8	8,625	8,071	0,277	8,543	1980	2500
8	8,625	7,980	0,322	9,878	2310	2920
8	8,625	7,813	0,406	12,33	2930	3720
8	8,625	7,625	0,500	15,01	3650	4620
8	8,625	7,439	0,593	17,60	4300	5440
8	8,625	7,189	0,718	20,97	5350	6770
8	8,625	7,001	0,812	23,44	6100	7730
8	8,625	6,813	0,906	25,84	6880	8720

Source : Reynolds Aluminium (Canada), Catalogue de produits.

C-723



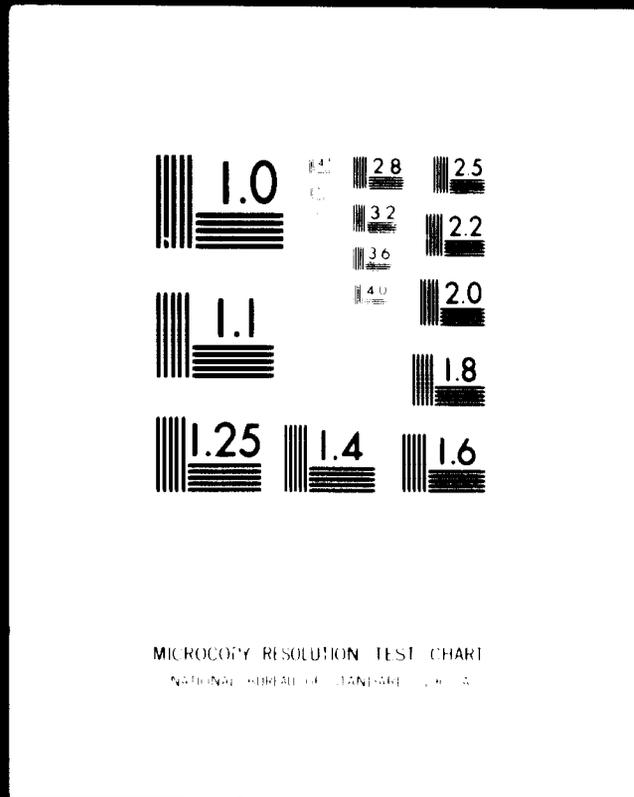
79.01.17



2 OF 4

07660

F



24x
B

TABLEAU IV-2

Tubes d'aluminium

**Composition des alliages utilisés par Alcoa (E.U)
pour la fabrication des tubes d'aluminium**

Désignation de l'alliage	Aluminium %	Silicium %	Cuivre %	Manganèse %	Magnésium %	Chrome %	Zinc %
1060	99,60	-	-	-	-	-	-
1100	99,60	-	-	-	-	-	-
2014	le reste	0,8	4,4	0,8	0,40	-	-
2024	" "	-	4,5	0,6	1,5	-	-
3003	" "	-	-	1,2	-	-	-
5050	" "	-	-	-	1,4	-	-
5052	" "	-	-	-	2,5	0,25	-
5086	" "	-	-	0,10	5,2	0,10	-
5454	" "	-	-	0,8	2,75	0,10	-
5456	" "	-	-	0,8	5,25	0,10	-
6061	" "	0,6	0,25	-	1,0	0,25	-
6062	" "	0,6	0,25	-	1,0	0,06	-
6063	" "	0,40	-	-	0,7	-	-
6262	" "	0,6	0,25	-	1,0	0,09	-
7075	" "	-	1,6	-	2,5	0,30	5,6

Source : Aluminium Company of America (E.U.), Aluminum Handbook,

TABLEAU IV-3

Tubes d'aluminium

Caractéristiques des tubes carrés
produits par la société Alcan (Canada)

Côté extérieur	Epaisseur	Poids	Diamètre du tube rond de poids équivalent
(po.)	(po.)	(lb/pied)	(po.)
1/4	0,035	0,036	0,309
1/4	0,065	0,058	0,301
3/8	0,035	0,057	0,468
3/8	0,065	0,097	0,460
1/2	0,035	0,078	0,627
1/2	0,065	0,136	0,619
5/8	0,035	0,099	0,786
5/8	0,120	0,290	0,763
3/4	0,035	0,120	0,945
3/4	0,065	0,214	0,937
3/4	0,120	0,362	0,922
1	0,065	0,292	1,255
1	0,095	0,413	1,247
1	0,120	0,506	1,240
1 1/4	0,065	0,370	1,573
1 1/4	0,095	0,526	1,566
1 1/4	0,120	0,650	1,558
1 1/2	0,065	0,448	1,891
1 1/2	0,095	0,641	1,884
1 1/2	0,120	0,794	1,876
1 3/4	0,120	0,939	2,195
2	0,065	0,604	2,528
2	0,120	1,082	2,513
2 1/2	0,065	0,760	3,165
2 1/2	0,120	1,370	3,150
3	0,065	0,916	3,802
3	0,120	1,658	3,787

Source : Aluminium Company of Canada, Catalogue de produits.

3.4 Pressions de service

Les tuyaux d'aluminium sont fabriqués pour répondre à une gamme moyennement élevée de pressions de service.

A titre d'exemple, le tableau no. IV-4 indique les pressions de service nominales des tubes produits par étirage par la société Alcan, en alliage Alcan - 15.

3.5 Tubes à doubles passages

Les plus importants producteurs offrent une gamme de tubes à passages doubles ou triples. Il s'agit de tubes comportant un passage principal et un ou deux passages auxiliaires dont la section est relativement petite par rapport à la section du passage principal.

Ces tubes sont généralement utilisés pour le transport des produits qui doivent être chauffés tels, les cires, les goudrons, etc. Le passage auxiliaire est alors utilisé pour y faire circuler de la vapeur ou un liquide chaud.

Les tubes à deux passages auxiliaires permettent la recirculation du liquide chauffant.

Ces tubes sont occasionnellement employés comme échangeurs de chaleurs.

La société Reynolds Aluminium fabrique les tubes à double passage dans une gamme de 7 diamètres différents (de 1" à 8") et deux alliages différents (3003 et 6063).

Une gamme spéciale de raccords et soupapes a été mis au point pour être utilisée avec ces tubes.

4. PROCÉDES DE FABRICATION

Deux types de procédés peuvent être utilisés pour la fabrication des tubes d'aluminium :

- procédé par extrusion
- procédé par soudage à partir d'un feuillard

4.1 Procédé par extrusion

Le procédé de fabrication par extrusion des tubes d'aluminium fait appel aux mêmes types de presses à filer que pour les tubes d'acier sans soudure ⁽¹⁾ et les tubes de cuivre.

(1) Voir chapitre 1, section 4.1.5

TABLEAU IV-4
Tubes d'aluminium

Pressions de service nominales des tubes en alliages
Alcan-15 produits par étrépage par la société Alcan (Canada)
(Pressions en livres au pouce carré)

Epaisseur	Diamètre extérieur en pouces														
	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 1/2	1 5/8	1 3/4	1 7/8	2
0.083	-	-	-	-	735	622	539	475	425	384	350	322	298	277	259
0.065	-	-	877	687	564	479	415	367	328	297	271	250	231	215	201
0.049	1381	882	644	507	417	355	308	273	245	221	203	186	173	161	151
0.035	951	611	449	355	293	250	217	193	173	157	143	132	122	114	107
0.028	745	481	355	281	232	198	173	-	-	-	-	-	-	-	-
0.022	574	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Epaisseur	Diamètre extérieur en pouces														
	2 1/4	2 1/2	2 3/4	3	3 1/4	3 1/2	3 3/4	4	4 1/4	4 1/2	4 3/4	5	5 1/4	5 1/2	5 3/4
0.165	-	-	-	348	320	296	276	258	242	228	216	205	194	186	177
0.134	378	339	306	280	257	239	222	208	195	184	174	165	157	150	143
0.109	305	273	247	226	208	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.083	230	206	187	171	157	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.065	178	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Source: Aluminum Company of Canada, Catalogue de produits.

Toutefois, l'aluminium et ses alliages étant plus mous que l'acier, il n'est pas nécessaire d'employer des presses aussi puissantes et il est possible d'utiliser la méthode de filage sur filière à chambre ou à pont en sus des méthodes sur aiguilles fixes ou accompagnantes avec ou sans course relative.

Selon la méthode de filage sur filière à chambre, un poinçon est maintenu dans l'orifice de la filière par un support relié à l'assemblage même de la filière. Sous l'effet de la pression exercée par le fouloir, le métal s'écoule autour du poinçon et de son support. Immédiatement en face de l'orifice de la filière est placée une chambre de mélange où le métal, séparé par le support du poinçon lors de son passage dans l'orifice, se resoude.

Cette méthode permet d'obtenir des tubes de formes variées avec une précision dimensionnelle accrue. Elle est toutefois restreinte aux alliages aptes à se resouder immédiatement à la température d'extrusion, ce qui n'est pas le cas pour les autres méthodes mentionnées précédemment où tous les types d'alliage peuvent être filés. De plus, les soudures longitudinales, inévitables avec cette méthode, présentent toujours, dans une certaine mesure, des zones de faiblesse qui peuvent affecter la résistance à l'éclatement ainsi que l'aptitude des tubes au façonnage.

Si les propriétés mécaniques et la précision dimensionnelle désirées pour les tubes ne peuvent être rencontrées par l'extrusion seulement, il devient alors nécessaire de recourir à l'étirage à froid.

Pour effectuer cette opération, le tube extrudé est d'abord coupé en longueurs désirées. Une des extrémités de chaque longueur est ensuite emboutie de façon à former un point de prise et est passée à travers la filière pour être saisie, de l'autre côté, par des mâchoires montées sur le chariot mobile de la table d'étirage. Un poinçon est placé dans l'orifice de la filière et le tube, fortement lubrifié, est étiré entre la filière et le poinçon, réduisant ainsi à la fois l'épaisseur de la paroi, et le diamètre extérieur. Parfois un recuit intermédiaire peut être nécessaire afin de permettre une réduction complète ce qui implique alors un dégraissage du tube afin de prévenir le brûlage de l'huile lubrifiante.

4.2 Procédé par cylindrage

Une autre méthode pour fabriquer les tubes d'aluminium consiste à mettre au rond un feuillard d'aluminium laminé à froid et de souder ses rives d'une façon analogue à celles utilisées pour les tubes d'acier soudés, c'est à dire longitudinalement ou en spirale.

Deux types de soudage sont employés soit celui par résistance électrique et celui à l'arc avec protection par gaz inerte.

Depuis quelques années, suite à l'amélioration des techniques de soudage, ce procédé est de plus en plus utilisé aux Etats-Unis pour la fabrication des tubes d'aluminium et la proportion des tubes produits par soudage dans ce pays

est maintenant supérieure à celle produite par extrusion.

5. NORMES

La normalisation des tubes d'aluminium est relativement récente. Les normes les plus couramment utilisées sont les suivantes:

5.1 ISO (organisation Internationale de Normalisation)

No. R-827, R-955

5.2 ANSI (American National Standard Institute)

No. C-745, H-38.3, H-38.5, H-38.6, H-38.7, H-38.9,
H-38.11, H-38.13

5.3 ASTM (American Society for Testing and Materials)

No. B-210, B-221, B-234, B-241, B-313, B-317, B-345,
B-404, B-429, B-483, B-491, B-547

5.4 AFNOR (Association française de normalisation)

No. NF A 65-771, NF A 65-774, NF A 68-701, NF A 68-704,
NFL 15-610, NFL L 15-640, NFL L 15-641, NFL 15-640,
NF R 990-90

5.5 CSA (Canadian Standards Association)

No. HA 7, HA 7.1

5.6 BSI (British Standards Institution)

No. 1471, 1474, 2706, 2997

5.7 DNA (Deutscher Normenausschuss)

No. DIN 1746

6. TRAITEMENTS DE SURFACE

Compte tenu de leur bonne résistance à la corrosion, les tubes d'aluminium sont le plus souvent utilisés sans revêtement protecteur.

Cependant, dans certains cas, soit pour augmenter la résistance à la corrosion, soit pour améliorer l'apparence du tube, on lui fait subir un traitement anodique.

Il s'agit d'un traitement électro-chimique qui permet d'augmenter artificiellement l'épaisseur de la pellicule d'alumine qui adhère normalement à la surface du métal. L'opération consiste à passer un courant dans un électrolyte acide, la pièce d'aluminium servant d'anode. Les acides sulfuriques, chromiques, ovaliques, boriques et phosphoriques sont utilisés comme électrolyte, l'acide sulfurique étant le plus courant. L'oxyde d'aluminium ainsi formé est transparent, sans couleur, chimiquement inerte et très dur. La pellicule d'alumine qui est normalement très mince (environ 0,000.005 mm) peut être ainsi amenée jusqu'à 0,1 mm.

Le traitement anodique est souvent utilisé dans le but d'obtenir un effet décoratif. Le film d'alumine obtenu par ce traitement est poreux et peut être coloré par l'utilisation de teintures organiques et de pigments inorganiques. Le plus utilisé de ces colorants est le sulfide de cobalt qui permet d'obtenir une teinte noire jet dont le contraste avec l'aluminium poli est du plus heureux effet. Les tubes traités de cette façon sont employés surtout pour le mobilier, en serrurerie et pour le parement d'édifice. En règle générale, on cherche à produire un film d'une épaisseur d'environ 0.01 mm lorsqu'il s'agit d'objets qui seront utilisés à l'intérieur et d'environ 0.02 mm lorsque les objets devront résister aux intempéries.

7. ASSEMBLAGE

Les assemblages de tubes d'aluminium sont généralement réalisés de l'une des façons suivantes :

7.1 Assemblage par soudage en bout

Il peut être fait à la main par la technique TIG (Tungsten Inert Gas) ou à la machine par le procédé MIG (Metal Inert Gas) lorsque l'importance de l'installation le justifie. L'assemblage par soudage est employé avec les tubes de 2" ou plus.

7.2 Assemblage par raccords filetés

Les raccords sont en aluminium et ils sont habituellement utilisés avec des tubes de 5" ou moins.

7.3 Assemblage par raccords intermédiaires à montage et démontage mécanique.

Ces raccords en matériaux divers sont généralement utilisés pour l'assemblage des tubes minces n'excédant pas 2" de diamètre.

7.4 Assemblage par brides

Les brides sont en aluminium forgé et elles sont jointes aux tubes par soudage.

7.5 Assemblage par raccords mécaniques rapides

Ces raccords comportent généralement un joint de caoutchouc et le verrouillage est obtenu par un levier qui maintient le joint fortement comprimé. Ce type d'assemblage est employé dans les installations d'irrigation agricole et plus généralement dans les installations requérant de fréquents montages et démontages comme par exemple dans les mines et les carrières.

8. UTILISATION

Les tubes d'aluminium sont appréciés surtout pour leur légèreté et leur résistance à la corrosion.

Ils sont donc fréquemment utilisés dans des installations nécessitant de nombreux montages et démontages. Ainsi, ils sont d'application courante dans les installations d'irrigation, dans les mines et les carrières, sur les chantiers de construction où ils sont employés pour le transport de l'eau et de l'air comprimé.

Leur légèreté les fait également rechercher comme éléments de charpente lorsqu'il s'agit d'articles qui doivent être fréquemment déplacés, tels qu'échafaudages, échelles, abris, temporaires, etc.

A cause de leur légèreté, de leur fini lisse et brillant et des différentes couleurs qu'il est possible d'obtenir par anodisation, ils sont appréciés pour la fabrication de mobilier et de pièces décoratives, en serrurerie, ainsi qu'en quincaillerie et parement de bâtiments.

Les tubes d'aluminium sont fréquemment employés dans la fabrication des radiateurs, condensateurs et échangeurs de chaleur où ils sont recherchés pour leur résistance à la corrosion et leur excellent coefficient de transfert de chaleur.

Leur utilisation comme conduit pour fils électriques est généralisée. A cause de leur excellente conductibilité ils sont aussi occasionnellement utilisés comme barres omnibus.

CHAPITRE V

LES TUBES ET TUYAUX EN PLOMB

1. GENERALITES

Les tuyaux de plomb étaient bien connus des Romains qui les utilisaient pour leurs adductions et leurs évacuations d'eau. Les tuyaux avaient une forme ovale et leurs dimensions étaient normalisées. Ils étaient fabriqués à partir d'une feuille qu'on repliait et dont on joignait les extrémités par martelage ou dou dage au plomb chaud.

Aujourd'hui, les tuyaux de plomb sont fabriqués dans les diamètres de 1/4" à 12" et servent surtout pour les canalisations d'eau, de vapeur et de gaz ainsi que pour les évacuations d'eaux usées particulièrement lorsque celles-ci contiennent des produits corrosifs.

2. PROPRIETES

Le plomb est un métal gris bleuâtre, très mou, brillant quand on le coupe. Protégé par l'oxyde de plomb, il ne s'altère pas à l'air, il résiste bien aux eaux dures, eau de mer, air salin, acides dilués et agents chimiques. Enfoui, il possède une durée de vie très longue.

Métal mou, il est facile à travailler et il s'adapte à n'importe quel tracé sans coude rapporté ni autres raccords. Par contre, le tuyau en plomb ne se supporte pas lui-même, et il plie sous l'effet de son propre poids, ce qui nécessite de coûteuses installations de support.

Son point de fusion est très bas. On le soude aisément avec un matériel réduit. Il constitue cependant un danger en cas d'incendie.

Il est l'objet d'un phénomène curieux et encore mal expliqué en vertu duquel sa contraction par refroidissement n'est pas exactement égale à sa dilatation lorsqu'il est chauffé. Ceci entraîne des défaillances fréquentes aux endroits de fortes variations de température.

C'est le plus dense des matériaux usuels, ce qui lui confère des caractéristiques antivibratiles et d'isophonie très utiles.

C'est le meilleur écran contre les radiations atomiques, les rayons-x et les rayons gammas qu'il absorbe facilement.

Il faut éviter le contact plomb-fer; il se forme alors un couple galvanique et le fer se corrode.

3. GAMME DES PRODUITS

3.1 Dimensions

Le tableau No. V-1 indique la gamme des dimensions dans lesquelles les tuyaux de plomb sont généralement disponibles dans le commerce européen.

Le tableau No. V-2 présente la gamme des dimensions des tuyaux de plomb fabriqués en Amérique du Nord.

3.2 Pressions de service

Les tuyaux de plomb sont généralement destinés aux applications dont la pression de service ne dépasse pas 12 Kg/cm².

4. PROCEDE DE FABRICATION

Les tuyaux de plomb sont généralement filés à chaud dans des presses dont la pression peut atteindre 100 tonnes ou plus. La partie supérieure de la presse comporte un orifice qui détermine le diamètre extérieur de tuyau. La partie inférieure est constituée d'un piston au centre duquel est placé un mandrin qui déterminera le diamètre intérieur du tuyau.

Le plomb chaud est coulé en quantité d'environ 500 kg dans la partie inférieure de la presse où il se solidifie. Le cylindre presse le plomb contre la partie supérieure de la presse et celui-ci est forcé dans l'espace compris entre le mandrin et l'orifice. Il en résulte un tuyau parfaitement lisse et sans soudure.

5. NORMES

La normalisation relative aux tuyaux de plomb n'est pas très importante. Les principales normes utilisées sont les suivantes:

5.1 AFNOR (Association française de normalisation)

No. NF A 55-505, NF A 55-571.

5.2 CSA (Canadian Standards Association)

No. B-67.

5.3 BSI (British Standards Institution)

No. 602, 1085.

5.4 DNA (Deutscher Normenausschuss)

No. DIN 1262.

TABLEAU V - 2

TUYAUX EN PLOMB

Gamme des dimensions disponibles sur le marché nord-américain

Diam. intérieur (po.)	Épaisseur (po.)	Diam. extérieur (po.)	Poids (lb/pi.)	Diam. intérieur (po.)	Épaisseur (po.)	Diam. extérieur (po.)	Poids (lb/pi.)	Diam. intérieur (po.)	Épaisseur (po.)	Diam. extérieur (po.)	Poids (lb/pi.)		
1/4	1/16	3/8	0,30	1-3/4	1/8	2	3,62	5	1/8	5-1/4	9,91		
	1/8	1/2	0,72		3/16	2-1/8	5,62		3/16	5-3/8	15,04		
	3/16	5/8	1,27		1/4	2-1/4	7,73		1/4	5-1/2	20,30		
	1/4	3/4	1,93		5/16	2-3/8	9,97		5/16	5-3/8	25,67		
3/8	1/16	1/2	0,42	2	3/8	2-1/2	12,32	5-1/2	3/8	5-3/4	31,17		
	1/8	5/8	0,97		1/2	2-3/4	17,40		1/2	6	42,53		
	3/16	3/4	1,63		1/8	2-1/4	4,11		1/8	5-3/4	10,87		
	1/4	7/8	2,42		3/16	2-3/8	6,34		3/16	5-7/8	16,49		
1/2	1/8	3/4	1,21	2-1/2	1/4	2-1/2	8,70	6	1/4	6	22,23		
	3/16	7/8	1,99		5/16	2-5/8	11,18		5/16	6-1/8	28,09		
	1/4	1	2,90		3/8	2-3/4	13,77		3/8	6-1/4	34,07		
	5/16	1-1/8	3,93		1/2	3	19,33		1/2	6-1/2	46,39		
5/8	3/8	1-1/4	5,07	3	1/8	2-3/4	5,07	7	1/8	6-1/4	11,84		
	1/8	7/8	1,45		3/16	2-7/8	7,79		3/16	6-3/8	17,94		
	3/16	1	2,36		1/4	3	10,63		1/4	6-1/2	24,16		
	1/4	1-1/8	3,38		5/16	3-1/8	13,59		5/16	6-5/8	30,51		
3/4	5/16	1-1/4	4,53	3-1/2	3/8	3-1/4	16,67	8	3/8	6-3/4	36,97		
	3/8	1-3/8	5,80		1/2	3-1/2	23,20		1/2	7	50,26		
	1/8	1	1,69		4	1/8	3-1/4		6,04	10	1/8	7-1/4	13,77
	3/16	1-1/8	2,72			3/16	3-3/8		9,24		3/16	7-3/8	20,84
1/4	1-1/4	3,87	1/4	3-1/2		12,56	1/4	7-1/2	28,03				
5/16	1-3/8	5,13	5/16	3-5/8		16,01	5/16	7-5/8	35,34				
1	3/8	1-1/2	6,52	4-1/2	3/8	3-3/4	19,57	12	3/8	7-3/4	42,77		
	1/2	1-3/4	9,67		1/2	4	27,06		1/2	8	57,99		
	1/8	1-1/4	2,17		5	1/8	3-3/4		7,01	12	1/8	8-1/4	15,71
	3/16	1-3/8	3,44			3/16	3-7/8		10,69		3/16	8-3/8	23,74
1/4	1-1/2	4,83	1/4	4		14,50	1/4	8-1/2	31,89				
5/16	1-5/8	6,34	5/16	4-1/8		18,42	5/16	8-5/8	40,17				
1-1/4	3/8	1-3/4	7,97	6	3/8	4-1/4	22,47	12	3/8	8-3/4	48,57		
	1/2	2	11,60		1/2	4-1/2	30,93		1/2	9	65,72		
	1/8	1-1/2	2,66		7	1/8	4-1/4		7,97	10	1/8	10-1/4	19,57
	3/16	1-5/8	4,17			3/16	4-3/8		12,14		3/16	10-3/8	29,54
1/4	1-3/4	5,80	1/4	4-1/2		16,43	1/4	10-1/2	39,63				
5/16	1-7/8	7,54	5/16	4-5/8		20,84	5/16	10-5/8	49,84				
1-1/2	3/8	2	9,42	8	3/8	4-3/4	25,37	12	3/8	10-3/4	60,16		
	1/2	2-1/4	13,53		1/2	5	34,79		1/2	11	81,19		
	1/8	1-3/4	3,14		9	1/8	4-3/4		8,94	12	3/16	12-3/8	35,34
	3/16	1-7/8	4,89			3/16	4-7/8		13,59		1/4	12-1/2	47,36
1/4	2	6,77	1/4	5		18,36	5/16	12-5/8	59,50				
5/16	2-1/8	8,76	3/8	5-1/8		23,26	3/8	12-3/4	71,76				
1-3/4	3/8	2-1/4	10,87	10	3/8	5-1/4	28,27	12	3/8	12-3/4	71,76		
	1/2	2-1/2	15,46		1/2	5-1/2	38,64		1/2	13	96,65		

6. TRAITEMENT DE SURFACE

Les tuyaux de plomb sont règle générale employés sans aucun recouvrement extérieur. Etant réfractaires à la plupart des corrosions usuelles, on peut se dispenser de les peindre. De même leur surface interne reste très lisse à l'usage et ne requiert aucun revêtement.

7. ASSEMBLAGE

Les tuyaux de plomb sont généralement terminés avec un bout mâle et un bout femelle.

Les assemblages sont réalisés en engageant le bout mâle dans le bout femelle et en soudant à l'étain.

8. UTILISATIONS

Les tuyaux de plomb sont utilisés comme canalisation pour l'eau, la vapeur, le gaz, l'air comprimé. Ils sont souples et se prêtent bien aux sinuosités de parcours.

On les utilise fréquemment pour la vidange des eaux usées et en particulier les départs d'appareils sanitaires (siphons). Leur paroi intérieure qui reste lisse à l'usage évite les possibilités de bouchage.

On les utilise souvent pour leur résistance à la corrosion, par exemple pour des canalisations d'eau de mer ou des évacuations de laboratoire.

Dans des cas spéciaux on les utilise pour leurs propriétés isophoniques, les conduites en plomb ne transmettant pas le bruit (coup de bélier).

CHAPITRE VI

LES TUBES ET TUYAUX EN PLASTIQUE

1. GENERALITES

C'est en 1865 que les matières plastiques, du moins telles que nous les entendons ici, firent leur apparition avec l'invention par les frères Hyatt du celluloid. Vint ensuite la galalithe vers le début du siècle. Ces deux premiers plastiques dérivent cependant de substances naturelles, la cellulose pour le celluloid et la caséine pour la galalithe. C'est en 1907 que Baekeland réussit la préparation de la bakelite par la polycondensation de deux molécules simples, le phénol et le formol. Il s'agissait de la première matière plastique provenant de corps chimiques purs. Les découvertes qui se multiplièrent rapidement par la suite permirent de mettre au point de nouvelles matières aux propriétés physiques et mécaniques remarquables. Le polyéthylène fut développé au début des années 1930, et le CPV non plastifié au début des années 1950.

L'industrie des matières plastiques est donc très jeune. Elle se développe cependant extrêmement rapidement si bien qu'on prévoit qu'en 1985 son chiffre d'affaires sera égal à celui de l'acier.

Les premiers essais d'utilisation de tuyauterie en matières plastiques pour le transport de l'eau datent de la fin de la deuxième grande guerre alors que les premiers tuyaux en polyéthylène furent utilisés sur une base expérimentale, pour les services d'eau. Quant au CPV, il fallut attendre le milieu des années 1950 pour assister aux premières mises en service.

A compter de ce moment, l'éventail d'application des tubes en plastique augmenta très rapidement en même temps que se multiplièrent les différentes matières plastiques entrant dans leur fabrication. Aujourd'hui on fabrique couramment ces tubes dans une grande variété de matériaux dont les plus importants sont: les chlorures de polyvinyle, les polyéthylènes, les acrylonitrile-butadiène-styrènes, les polyoléfines et les polypropylènes. Chacun de ces produits constitue en fait une grande famille à l'intérieur de laquelle de très très nombreuses variations sont possibles. Déjà en 1967 on estimait qu'il existait aux U.S.A. 1,055 matières plastiques différentes utilisées pour la fabrication des tuyaux. (1)

Les adductions d'eau potable, les évacuations d'eaux usées, et les canalisations pour câbles électriques constituent les utilisations les plus courantes des tuyaux en plastique. On s'en sert cependant de plus en plus pour le transport du gaz naturel et des produits chimiques ainsi que pour l'évacuation des déchets industriels.

(1) "Modern Plastics Encyclopedia 1967", vol. 44, No. 1 A, McGraw-Hill.

2. PROPRIETES

L'élément de base des matières plastiques est une molécule organique qu'on appelle un monomère. Les matières plastiques résultent de l'enchaînement bout à bout d'un grand nombre de monomères pour former des polymères. Un polymère non transformé est une résine. Deux ou plusieurs sortes différentes de monomères peuvent par polymérisation former un copolymère qui, non seulement conserve les caractéristiques des polymères qui le composent, mais possède également des propriétés qui lui sont propres.

Les caractéristiques des matières plastiques sont fonction du type ou des types de monomères utilisés, de la longueur de la chaîne de polymérisation, du mode d'enchaînement et de la présence d'autres substances ajoutées durant la fabrication.

Les matières plastiques se classent en deux catégories principales selon qu'elles sont thermodurcissables ou thermoplastiques.

- Matières thermodurcissables:

Matières transformées chimiquement sous l'effet de la chaleur et qui deviennent dures et conservent définitivement la forme acquise laquelle, par la suite, ne peut pas être altérée par la chaleur.

- Matières thermoplastiques:

Matières qui se ramollissent sous l'effet de la chaleur pour ensuite durcir, sans que la résine subisse une transformation chimique. Ce sont celles généralement utilisées pour la fabrication de tuyaux. Les principales sont les suivantes:

- Acrylonitrile-Butadiène-Styrène (ABS):

Groupe de composés thermoplastiques préparés à partir de polymères ou de mélanges de polymères obtenus des monomères Acrylonitrile, Butadiène et Styrène. En variant la formule on peut obtenir diverses caractéristiques physiques et mécaniques.

- Polyoléfines:

Groupe de matières thermoplastiques obtenues par la polymérisation de certains hydrocarbures. De ce groupe, ceux qui sont utilisés pour la fabrication des tuyaux et des accessoires sont les polyéthylènes et les polypropylènes.

- Polyéthylènes (PE):

Résines obtenues par la polymérisation du gaz éthylène. Selon leur poids spécifique elles sont classées comme suit: type I, basse densité (bd);

type II, moyenne densité (md); type III, haute densité (hd). D'une façon générale, l'ordre numérique du type indique une progression ascendante de la résistance à la traction et une progression descendante de la flexibilité. Ainsi, le type I possède une faible résistance à la traction et est très flexible, tandis que le type III est relativement rigide.

- Polypropylènes (PP):

Résines obtenues par la polymérisation du gaz propylène. Les polypropylènes ressemblent aux polyéthylènes mais possèdent une plus forte résistance à la traction et à la chaleur, ils sont un peu plus résistants aux agents chimiques et sont plus rigides.

- Chlorure de polyvinyle (PVC):

Groupe de matières thermoplastiques obtenues par la polymérisation du chlorure de vinyle. En modifiant la composition des PVC on peut faire varier certaines de leurs caractéristiques comme la résistance mécanique et la résistance chimique.

- Chlorure de polyvinyle chargé (CPV chargé):

Il s'agit d'un chlorure de polyvinyle auquel on a ajouté une substance inerte, comme le carbonate de calcium, afin de réduire son coût. Sa résistance mécanique ainsi que sa résistance chimique sont ainsi diminuées. On l'utilise pour fabriquer des tuyaux de drainage et des conduits pour câbles électriques enterrés.

- Chlorure de polyvinyle chloré (CPVC):

Par cette appellation qui remplace celle maintenant désuète de bichlorure de polyvinyle on désigne la matière thermoplastique obtenue par l'addition de molécules de chlore au polymère de chlorure de polyvinyle. En général on désire ainsi augmenter la résistance à la déformation thermique. Les tuyaux fabriqués de CPVC peuvent être utilisés pour le transport de l'eau chaude. On doit cependant éviter de les placer trop près de sources de chaleur dont la température excéderait 100° C.

Les matières thermoplastiques dans leur ensemble possèdent plusieurs caractéristiques qui les rendent attrayantes pour la fabrication de tuyaux. Elles sont légères, chimiquement inertes, robustes, non-conductrices de l'électricité, imputrescibles, non-poreuses, et de faible conductivité thermique.

Par contre leur résistance à la traction est faible de même que leur module d'élasticité. Leur coefficient de dilatation thermique est élevé et elles sont combustibles.

Les tuyaux en plastiques possèdent une excellente résistance à de nombreux agents chimiques et ils sont insensibles à l'attaque électrolytique. Ils n'encouragent pas la croissance des fungus, des algues et des bactéries et ils demeurent exempts de corrosion. La capacité de débit est donc maintenue durant la vie de la tuyauterie. Ces tuyaux sont faciles de manutention et ils se posent facilement avec des outils ordinaires.

Par contre, les pressions de service que permettent ces tuyaux ne sont pas très élevées. De même, la plage des températures de service est très limitée et on doit toujours éviter de les utiliser près des sources de chaleur. Ils ne peuvent être utilisés pour assurer la mise à la terre. Les tubes de plastique se dilatent environ sept fois plus que ceux en acier; il est donc fréquemment nécessaire de prévoir dans l'agencement de la tuyauterie des dispositions spéciales pour accommoder les dilatations et les contractions.

3. GAMME DES PRODUITS

Les tuyaux en plastique sont fabriqués dans une très grande variété de compositions. Nous indiquons ci-dessous les plus courantes.

3.1 Les tuyaux CPV pression et drainage

Ces tubes sont fabriqués dans une gamme de diamètres qui varie généralement de 5 mm à 500 mm. Les pressions de service de ces tubes dépassent rarement 20 kg/cm². Les mêmes tubes, spécialement ceux des plus grands diamètres sont aussi utilisés pour le drainage. Certains fabricants offrent une gamme spéciale de tuyaux de drainage qui sont généralement plus minces que les tuyaux pression. On doit alors apporter une attention particulière aux pressions d'écrasement lorsque ces tuyaux sont enfouis. Nous présentons au tableau No. VI-1 les caractéristiques des tuyaux PVC fabriqués par Cegedur(France).

3.2 Les conduits en CPV rigide pour installations électriques

Ces conduits sont de plus en plus utilisés en raison de leur résistance à la corrosion, leur légèreté et la facilité de pose. Le tableau No. VI-2 présente les caractéristiques des conduits en PVC rigides fabriqués par Scepter (Canada).

3.3 Les tuyaux en vinyle chloré (CPVC)

Les chlorures de polyvinyle et ses dérivés sont utilisés pour canaliser des substances dont la température n'excèdent pas 60°C. Ils ne peuvent donc pas être utilisés pour les canalisations d'eau chaude. Le bichlorure de polyvinyle, maintenant plus généralement connu sous l'appellation de chlorure de polyvinyle chloré (CPVC) permet de vaincre cette contrainte. En effet, il peut être utilisé avec de bons résultats pour le transport de l'eau à des températures allant jusqu'à 95°C.

Les tuyaux en CPVC sont fabriqués dans des diamètres de 5 mm à 150 mm.

TABLEAU VI-2

Conduits en CPV rigide

Caractéristiques des conduits pour installations
électriques fabriqués par Scepter (Canada)

Diamètre nominal	Diamètre extérieur	Diamètre intérieur	Épaisseur de paroi	Poids	Poids comparatif des conduits en	
					Aluminium	Acier
(po.)	(po.)	(po.)	(po.)	(lb/pi)	(lb/pi)	(lb/pi)
1/2	0,840	0,622	0,109	0,015	0,027	0,079
3/4	1,050	0,824	0,113	0,020	0,036	0,105
1	1,315	1,049	0,133	0,029	0,053	0,153
1 1/4	1,660	1,380	0,140	0,039	0,070	0,201
1 1/2	1,900	1,610	0,145	0,047	0,086	0,249
2	2,375	2,067	0,154	0,063	0,116	0,334
2 1/2	2,875	2,469	0,203	0,101	0,183	0,527
3	3,500	3,068	0,216	0,131	0,239	0,690
3 1/2	4,000	3,548	0,226	0,160	0,288	0,831
4	4,500	4,026	0,237	0,186	0,340	0,982
5	5,563	5,047	0,258	0,257	0,465	1,334
6	6,625	6,065	0,280	0,334	0,613	1,771

Source : Scepter (Canada), Catalogue de produits,

3.4 Les tuyaux en polyéthylène

Deux grandes catégories de polyéthylène sont utilisées pour la fabrication de tubes: le polyéthylène basse densité (PEbd) d'une masse volumétrique de 0,92 et le polyéthylène haute densité (PEhd) d'une masse volumétrique de 0,96. Le PEbd est généralement utilisé pour les tuyaux pression et le PEhd pour les tuyaux sans pression ou basse pression. Lorsque l'emploi du polyéthylène implique une exposition prolongée aux rayons solaires (boyaux d'arrosage ou tuyaux d'irrigation), celui-ci est stabilisé par l'incorporation de 2% de noir de carbone.

Les tuyaux en polyéthylène sont offerts sous forme plastifiée ou rigide dans une grande variété de coloris opaques ou transparents, ainsi que dans une gamme importante de diamètres, épaisseurs et résistance.

A titre d'exemple, nous présentons au tableau No. VI-3 les caractéristiques des tuyaux en polyéthylène fabriqués par Dupont (Canada).

3.5 Les tuyaux perforés en CPV ou PE

Ces tuyaux qui sont perforés d'un grand nombre de petites ouvertures circulaires ou d'étroites fentes transversales sont utilisés pour le drainage agricole, le drainage de fondation et les réseaux d'épandage des fosses septiques. Ils sont rigides et ils sont fabriqués de CPV ou de PE ou ils sont ondulés et très flexibles et ils sont fabriqués de PE. La variété ondulée et flexible est livrée en bobines et se prête particulièrement bien à l'enfouissement entièrement mécanisé. Les tuyaux de plastique perforés sont offerts dans les diamètres de 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 et 12 pouces.

3.6 Autres tuyaux en plastique

Des tubes et tuyaux sont aussi fabriqués dans les matières plastiques suivantes:

- L'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS)

Sa résistance aux agents chimiques est moyenne alors que sa résistance aux chocs est élevée. On peut l'utiliser pour des températures de service allant jusqu'à 85° C. On l'emploie pour les canalisations d'eau et de drainage ainsi que comme conduit électrique enterré. Il est offert dans les diamètres les plus courants de 1/2 po. à 6 po.

- Le polypropylène (PP)

Le plus léger des matériaux thermoplastiques, il possède une grande résistance aux agents chimiques ainsi qu'une bonne résistance aux températures élevées (115° C). On l'utilise pour les évacuations des eaux de laboratoires et des eaux industrielles ainsi que pour les canalisations des produits chimiques industriels.

TABLEAU VI - 3

TUYAUX EN POLYETHYLENE

Caractéristiques des tuyaux fabriqués par Du Pont (Canada)

Diam. exté. nominal (po.)	SÉRIE 45 (1)			SÉRIE 60			SÉRIE 80			SÉRIE 100			SÉRIE 125			SÉRIE 160		
	Diam. inté. moyen (po.)	Épaisseur mini. (po.)	Poids moyen (lb./pi.)	Diam. inté. moyen (po.)	Épaisseur mini. (po.)	Poids moyen (lb./pi.)	Diam. inté. moyen (po.)	Épaisseur mini. (po.)	Poids moyen (lb./pi.)	Diam. inté. moyen (po.)	Épaisseur mini. (po.)	Poids moyen (lb./pi.)	Diam. inté. moyen (po.)	Épaisseur mini. (po.)	Poids moyen (lb./pi.)	Diam. inté. moyen (po.)	Épaisseur mini. (po.)	Poids moyen (lb./pi.)
1	0,845	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2	1,055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1,315	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2	1,900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2,350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3,500	3,256	0,122	3,178	0,161	0,75	3,078	0,211	0,96	3,082	0,259	1,15	2,884	0,319	1,35	2,706	0,330	1,70
4	4,500	4,186	0,157	4,084	0,208	1,23	3,958	0,271	1,53	3,884	0,333	1,90	3,682	0,409	2,28	3,478	0,511	2,78
6	6,625	6,165	0,230	6,017	0,304	2,64	5,827	0,399	3,40	5,643	0,491	4,11	5,421	0,602	4,95	5,121	0,752	6,02
8	8,625	8,023	0,301	7,831	0,397	4,49	7,565	0,520	5,83	7,487	0,569	6,34	7,223	0,701	7,66	6,871	0,877	9,34
10	9,90	9,29	0,336	9,09	0,403	5,31	8,84	0,531	7,05	8,59	0,654	8,34	8,29	0,806	10,1	7,88	1,01	12,3
11	11,06	10,28	0,342	10,16	0,451	6,63	9,87	0,593	8,57	9,60	0,731	10,4	9,26	0,900	12,6	8,80	1,13	15,4
12	12,46	11,69	0,385	11,44	0,508	8,41	11,12	0,668	10,9	10,81	0,823	13,2	10,42	1,02	16,0	9,92	1,27	19,5
14	14,05	13,18	0,433	12,91	0,572	11,9	12,55	0,752	13,8	12,20	0,927	16,7	11,75	1,15	20,3	11,19	1,43	24,9
16	15,82	14,84	0,488	14,53	0,644	13,7	14,13	0,847	17,7	13,72	1,05	21,6	13,24	1,29	26,0	-	-	-
18	17,87	16,77	0,551	16,42	0,726	17,4	15,96	0,955	22,5	15,51	1,18	27,4	14,97	1,45	33,1	-	-	-
20	19,84	18,62	0,611	18,23	0,807	21,4	17,70	1,07	27,9	17,12	1,36	34,2	-	-	-	-	-	-
22	22,23	20,86	0,685	20,42	0,904	26,4	19,85	1,19	36,0	19,29	1,47	42,3	-	-	-	-	-	-
24	25,02	23,48	0,771	22,98	1,12	34,1	22,34	1,34	44,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	28,20	26,46	0,869	25,90	1,15	43,7	25,18	1,51	56,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	31,75	29,79	0,978	29,17	1,29	55,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	35,78	33,56	1,11	32,86	1,46	70,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	39,47	37,03	1,22	35,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SUR COMMANDE SPECIALE SEULEMENT

1) Pression de service : 45 lb pp. ca.
Source: Dupont (Canada) Catalogue de produits.

- Le polyméthacrylate de méthyle (Plexiglas)

Surtout apprécié pour sa transparence et sa facilité de mise en forme. Son principal défaut est son manque de dureté superficielle qui entraîne l'apparition de rayures soit sous l'action des particules en suspension dans le liquide transporté soit à la suite de contacts physiques sur la paroi extérieure du tube.

- Le Teflon

On en fait des tubes de petits diamètres, à paroi mince, d'une bonne résistance à la pression et aux agents chimiques et que l'on utilise surtout dans les échangeurs de chaleur.

- Le nylon

On en produit des profilés cylindriques creux qui sont utilisés pour fabriquer des coussinets qui ne nécessitent aucune lubrification.

4. PROCÉDE DE FABRICATION

La fabrication de tuyaux en matières plastiques est faite selon le procédé classique par extrusion au moyen d'une extrudeuse, machine aussi appelée boudineuse.

Cette machine comporte trois parties distinctes, soit le trémis d'alimentation, ouverture par laquelle la matière plastique granulée est introduite, le corps de la boudineuse formé d'un cylindre dans lequel tourne une vis sans fin en porte-à-faux⁽¹⁾ et la tête en boudineuse⁽²⁾ qui sert de support à la filière, pièce interchangeable dont le rôle est de donner la forme voulue au produit à fabriquer.

(1) Il existe de nombreux modèles de vis dont: la vis 10 diamètres, filet double, pas variable, noyau conique; la vis 12 diamètres, filet double, pas variable, noyau droit; la vis 15 diamètres, filet simple, pas constant, noyau conique. De même une machine peut avoir deux vis disposées parallèlement avec filets encastrés ou tangents.

(2) Il existe deux types principaux de têtes de boudineuses: la tête droite et la tête d'équerre. La tête droite est placée dans l'axe de la vis et prolonge le cylindre. Son profil est dessiné pour ramener progressivement sa section à celle de l'ouverture de la filière. La tête d'équerre est placée à 90° par rapport à la vis. Elle permet le recouvrement d'un premier tube par un plastique d'une autre nature.

Les granulés, versés dans la trémie d'alimentation, sont happés par la première partie de la vis et entraînés vers la partie centrale où, sous l'influence d'un chauffage extérieur et de la chaleur produite par le frottement interne, ils se ramollissent et passent à l'état visqueux. La matière ainsi plastifiée est ensuite entraînée vers la troisième partie de la vis (appelée zone de compression) pour parvenir à la tête de la boudineuse où elle est forcée dans la filière.

Les principaux facteurs à considérer durant la fabrication sont la vitesse de sortie du tuyau et la température de la matière utilisée.

5. NORMES

Bien que d'adoption relativement récente, la normalisation des tuyaux en plastique est très importantes. Nous présentons ci-dessous une liste des normes les plus couramment utilisées.

5.1 ISO (Organisation Internationale des normalisations)

No. R-161, R-264, R-265, R-330, R-1164, R-1165, R-1166, R-1167, R-1330.

5.2 ANSI (American National Standards Institute)

No. B-72.1, B-72.2, B-72.3.

5.3 ASTM (American Society for Testing and Materials)

No.	D-1503,	D-1527,	D-1598,	D-1599,	D-1785	D-1939,	D-2104,	D-2105,
	D-2122,	D-2143,	D-2152,	D-2153,	D-2235,	D-2239,	D-2241,	D-2282,
	D-2310,	D-2412,	D-2444,	D-2446,	D-2447,	D-2513,	D-2517,	D-2560,
	D-2656,	D-2661,	D-2662,	D-2665,	D-2666,	D-2672,	D-2680,	D-2729,
	D-2737,	D-2740,	D-2750,	D-2751,	D-2836,	D-2837,	D-2846,	D-2852,
	D-2924,	D-2925,	D-2949.					

5.4 AFNOR (Association française de normalisation)

No. NF D 36-101, NF D 36-102, NF T 54-002, NF T 54-003, NF T 54-020, NF T 54-028, NF T 54-030, NF T 54-031, NF T 54-037.

5.5 CSA (Canadian Standard Association)

No. B-137.1, B-137.2.1, B-137.3, B-181.1, B-181.2, B-182.1, C-22.2: 136.

5.6 BSI (British Standard Institutions)

No. 1972, 1973, 3284, 3505, 3506.

5.7 DNA (Deutscher Normenausschuss)

No. 8061, 8062, 8072, 16928, 16929, 16933, 16940, 19531.

6. TRAITEMENT DE SURFACE

Les tuyaux de plastiques, qui possèdent une excellente résistance à la corrosion, qui sont imputrescibles et dont la surface intérieure toujours très lisse ne favorise pas la tuberculisation, sont invariablement employés sans aucun revêtement intérieur ou extérieur.

7. ASSEMBLAGE

Les tuyaux en plastiques se prêtent à une grande variété de techniques d'assemblage dont les principales sont les suivantes:

7.1 Emboîtement collé au solvant

On l'utilise avec des tuyaux dont un bout est tulipé et l'autre uni. L'adhésif ou solvant est appliqué à l'aide d'un pinceau à l'entrée de l'élément femelle et sur l'élément mâle. Les deux éléments sont emboîtés. Le solvant dissout ou ramollit suffisamment les surfaces pour produire un joint homogène une fois que celui-ci s'est évaporé. Il s'agit alors d'une véritable soudure à froid. Cette technique est régulièrement employée pour l'assemblage des tuyaux en CPV.

7.2 Fusion thermique

Aucun solvant n'a encore été mis au point qui pourrait dissoudre certaines matières thermoplastiques comme le polyéthylène à la température ambiante.

On utilise donc dans ces cas la fusion thermique qui peut être de deux types: la fusion bout à bout et la fusion avec emboîtement.

La fusion bout à bout est réalisée en chauffant les extrémités des tuyaux devant être joints au moyen de plaques chauffantes contre lesquelles on les appuie. Les extrémités sont ensuite pressées rapidement l'une contre l'autre et après refroidissement on obtient ainsi un joint homogène.

Dans le procédé de fusion avec emboîtement, le bout mâle d'un tuyau et le bout femelle d'une autre sont chauffés puis insérés rapidement l'un dans l'autre. Après refroidissement on obtient un joint homogène.

7.3 Emboîtement avec joint de caoutchouc

Le bout mâle d'un tuyau est inséré dans le bout tulipé de l'autre tuyau. L'étanchéité est assurée par un anneau de caoutchouc à section circulaire ou à double

lèvres qui est comprimé entre la surface extérieure du bout mâle et l'intérieur de la tulipe du tuyau jointif. Ce joint est élastique et il permet de légers déplacements et mésalignements des tuyaux.

7.4 Soudure

La soudure se fait avec un chalumeau à air chaud et des baguettes d'apport de la même matière thermoplastique que celle des tuyaux à joindre. Les parties à souder sont chanfreinées et maintenues ajustées l'une contre l'autre. La baguette de soudure est appuyée sur le chanfrein à combler. Le jet d'air chaud est envoyé sur le joint à souder. La fusion simultanée des surfaces à souder et de la baguette assure une soudure résistante et étanche.

7.5 Raccords filetés

Lorsque l'épaisseur de la paroi le permet, les tuyaux en plastiques peuvent être filetés et assemblés au moyen de raccords filetés en matières plastiques ou en métal.

7.6 Joints mécaniques

Les joints mécaniques sont employés lorsqu'on désire joindre des tuyaux de matières plastiques à des tuyaux d'autres matières, plus particulièrement des tuyaux métalliques. Pour les tuyaux de petits diamètres (moins de 50 mm) il existe une variété de raccords à compression. Pour les diamètres plus grands, le joint à bride est généralement préféré. Ce joint est habituellement constitué d'une bride métallique et d'un embout à collet en plastique que l'on fixe au tuyau par thermo-fusion.

8. UTILISATIONS

Les tuyaux en matières plastiques connaissent de très nombreuses applications dans le bâtiment où on s'en sert pour les distributions d'eau chaude et d'eau froide, les drains, les renvois, les évents, les évacuations d'eaux sanitaires, de cuisine et pluviales, les gouttières, les conduites intérieures d'eaux pluviales, les canalisations électriques.

Sous forme de conduites enterrées, les tuyaux de plastique servent pour les adductions et les distributions d'eau, les évacuations d'eaux usées et plus particulièrement les égouts recevant des effluents corrosifs, l'irrigation et le drainage, les canalisations de gaz et les canalisations électriques.

Dans l'industrie, les tuyaux en plastiques sont fréquemment utilisés pour le transport des liquides corrosifs. Dans le même ordre d'idée, on les utilise pour l'évacuation des eaux de laboratoire.

Le doublage des réseaux d'égouts vétustes de même que le doublage des réseaux de gaz vétustes constituent une des applications les plus intéressantes des tuyaux en plastiques. Le polyéthylène est généralement utilisé à cette fin à cause de sa grande flexibilité.

CHAPITRE VII

LES TUYAUX EN BETON

1. GENERALITES

Le béton est un agglomérat artificiel obtenu par le mélange de pierres concassées ou de gravillons, de sable et de ciment avec une certaine quantité d'eau qui assure le durcissement du ciment par hydratation.

Ce matériau était déjà employé dans l'antiquité. On l'obtenait en utilisant comme ciment un mélange de chaux éteinte et de pouzzolane. La première conduite de béton dont l'histoire nous révèle l'existence est celle construite sous le règne de Jules César en l'an 80 de notre ère pour l'alimentation en eau de la Colonia Agrippinia (Cologne) en Allemagne. Partant des Monts Eiffel, cette conduite d'adduction fut faite à la main par l'emploi de coffrages en bois dans lesquels le béton était tassé. Le ciment naturel était alors employé avec des agrégats locaux. Cette conduite demeura en service jusqu'en 1928, soit une période de fonctionnement de 1848 ans.

De nos jours, l'appellation béton est généralement réservée au matériau dont le liant hydraulique est le ciment Portland. Après la mise au point de ce ciment en 1824 les utilisations du béton se multiplièrent. En 1842, à Mohawk dans l'état de New York furent posés les premiers tuyaux d'égout en béton.

En 1849 on peut constater en France de modestes applications du béton armé, béton dans lequel sont enrobés des armatures métalliques destinées à résister aux efforts de traction et de flexion auxquels le béton ordinaire résiste mal. Plusieurs entrepreneurs exécutaient ainsi de menus travaux tels que cloisons minces, plafonnages, etc, au moyen d'une armature métallique noyée soit dans le plâtre soit dans du mortier de ciment. Dans une série de mémoires publiées en 1861, François Coignet proposait d'augmenter considérablement la résistance des tuyaux de béton en introduisant dans la pâte du béton même et pendant sa fabrication une toile métallique au travers des mailles de laquelle le béton pénétrerait; cette toile métallique repliée sur elle-même, pour avoir forme de tube, donnerait certainement une prodigieuse résistance".

On dût cependant attendre un certain temps avant que l'utilisation du béton armé soit acceptée pour la fabrication des conduites sous pression. En 1890, la Compagnie Générale des Eaux pour l'Etranger réalisa en béton armé la construction de la conduite de Venise sur une longueur de 6.500 mètres. En 1893, la même société construisit les siphons de Blandan en Algérie, longs de plusieurs kilomètres, et fonctionnant à des pressions de 8 à 24 mètres.

La même année, en 1893, Aimé Bonna inventa le tuyau en acier soudé avec double revêtement de béton armé. Il réalisa ainsi la conduite de refoulement de

l'usine de Colombe exploitée par la ville de Paris. Cette conduite d'un diamètre de 1,80 m, d'une longueur de 1.500 m et soumise à une pression de 3,5 kg/cm² est toujours en parfait état de fonctionnement. Ce système connut rapidement de nombreuses applications dans le monde entier.

Le principe du béton précontraint * avait été exposé pour la première fois en 1888 par C.E.W. Doehring. Son application est cependant entravée par de nombreuses difficultés et ce n'est qu'en 1925 que l'autrichien F.V. Emperger réussit à fabriquer les premiers tuyaux en béton précontraint. Ce n'est toutefois que trois ans plus tard que l'ingénieur français E. Freyssinet, réalisant que la réussite est subordonnée à l'emploi de matériaux de haute qualité et à l'utilisation de tensions plus élevées, développa le tuyau monolithique. A compter de cette date, les applications du précontraint se multiplient. En 1936 Freyssinet mit au point un procédé commercial pour la fabrication de tuyaux en béton précontraint.

Déjà en 1937, l'usine d'Oued Fodda en Algérie fabriquait des tuyaux selon cette technique. La contrainte radiale est obtenue en utilisant des moules déformables par l'expansion desquels les spires d'acier sont mises à la tension désirée qui est maintenue jusqu'au durcissement du béton. Ce procédé ne se généralise cependant pas en raison de nombreuses difficultés techniques.

Vers la même époque, d'autres constructeurs obtinrent un tuyau précontraint en enroulant sous tension un fil d'acier autour d'un fût primaire en béton préalablement fabriqué et en recouvrant les spires d'un revêtement protecteur de béton. L'emploi de ce procédé ne présentait pas de difficultés majeures et il se répandit rapidement.

Entretemps, l'entreprise suédoise AB Tryckror perfectionna les techniques de Freyssinet et réussit en 1948 à résoudre complètement les problèmes et à mettre au point un procédé (Sentab) qui permet d'obtenir en une seule opération un tuyau homogène en béton précontraint radialement et longitudinalement.

Aujourd'hui, les tuyaux en béton continuent d'être fabriqués suivant toutes les façons décrites ci-haut, à savoir, en béton non armé, en béton armé, en béton précontraint et avec une âme tôle.

Ils sont produits dans une très grande variété de diamètre (de 150 mm à 3000 mm et plus) et peuvent selon les types répondre à peu près toutes les conditions de pressions de service généralement rencontrées.

Ces tuyaux sont surtout utilisés pour les conduites d'adduction d'eau et les canalisations pour l'évacuation d'eaux usées.

* Béton armé dans lequel l'introduction artificielle de contraintes intérieures permanentes compense les contraintes extérieures résultant des charges extérieures auxquelles le béton est soumis en service.

2. PROPRIETES

Le béton est artificiellement obtenu par le mélange de pierres concassées ou de gravillons, de sable et de ciment avec une certaine quantité d'eau.

C'est un matériau qui se moule facilement et qui est à toute fin pratique imperméable au passage de l'eau, d'où son utilisation pour la fabrication de tuyaux.

C'est un matériau de très longue vie et il n'est pas exagéré dans certains cas de prévoir des durées de cent ans pour des canalisations en tuyaux de béton.

Il résiste généralement assez bien à la corrosion. Il se désagrège cependant en présence de chlorure de calcium de même qu'il est attaqué par les sulfates de sodium et de magnésium présents dans certains sols.

Les tuyaux en béton possèdent une bonne résistance à la tuberculisation et on peut dire qu'effectivement leur coefficient d'écoulement s'améliore avec l'âge.

Même s'ils sont robustes et si leur mise en place ne requiert pas de précautions très spéciales, leur manutention est quand même difficile en raison de leur poids élevé.

Les tuyaux sont particulièrement aptes à résoudre les problèmes particuliers car ils peuvent toujours être fabriqués sur commande aux dimensions, aux formes et aux résistances désirées.

3. GAMME DES PRODUITS

Les tuyaux de béton se présentent en quatre grandes familles :

- les tuyaux sans armature
- les tuyaux avec armature
- les tuyaux précontraints
- les tuyaux avec âme tôle

3.1 Les tuyaux sans armature.

Ces tuyaux ont été les premiers fabriqués et ils continuent à l'être de nos jours. Souvent ils sont l'objet d'une production plus ou moins artisanale et leur niveau de qualité laisse alors fréquemment à désirer. Ils sont également produits dans de grandes usines mécanisées et selon des normes rigides de qualité. Toujours destinés aux canalisations sans pression, ils sont principalement utilisés pour les évacuations d'eaux usées. Ils sont surtout réalisés dans des petits diamètres qui excèdent rarement 24" (600mm). De même, la longueur de ces tuyaux dépasse rarement 6' (2 m).

TABLEAU VII-1
Tuyaux en béton non armé
 Caractéristiques des tuyaux fabriqués par
 Concrete Pipe Company (Canada)

Diamètre intérieur	Diamètre extérieur	Épaisseur de la paroi	Longueur	Poids
(po.)	(po.)	(po.)	(pi. et po.)	(lb/pi)
6	7 3/4	7/8	3'9"	25
8	10 1/4	1 1/8	3'9"	43
9	11 1/4	1 1/8	3'9"	51
10	12 1/2	1 1/4	3'9"	55
12	16	2	6'0"	94
15	19 1/2	2 1/4	6'0"	128
18	23	2 1/2	6'0"	170

Source : Concrete Pipe Company (Canada), Catalogue de produits.

Le tableau no. VII-1 présente les caractéristiques des tuyaux sans armature fabriqués par Concrete Pipe Company (Canada).

3.2 Les tuyaux en béton armé

Ces tuyaux contiennent, enrobés dans l'épaisseur de béton de leur paroi, une, deux ou trois cages d'armature constituées de spires circonférentielles et de génératrices longitudinales. Ils sont généralement produits soit par centrifugation soit par vibration. La méthode par vibration permet de les obtenir dans une gamme très étendue de diamètres de même que dans toutes les formes désirées. La forme la plus courante est évidemment la forme circulaire, quoique, pour les collecteurs de grandes dimensions la forme ovoïde soit encore quelquefois utilisée en raison d'une certaine faculté d'auto-curage que lui prête certains utilisateurs.

Les tuyaux en béton armé sont offerts dans des diamètres variant de 6 (150 mm) à 120" (3000 mm) et des longueurs de 3' (1 m) à 16' (5 m). Dans la catégorie assainissement ils viennent en plusieurs séries ou classes dépendant des pressions d'écrasement auxquelles ils sont appelés à résister. Dans la catégorie pression ils sont faits sur commande et calculés en fonction des efforts de service.

Le tableau no. VII-2 présente les caractéristiques des tuyaux en béton armé fabriqués par la Société des tuyaux Bonna (France).

3.3 Les tuyaux en béton précontraint

Les tuyaux en béton précontraint, exclusivement destinés aux canalisations sous pression, appartiennent essentiellement à deux grandes catégories, à savoir : ceux produits par centrifugation et ceux produits statiquement dans des moules déformables. Dans les deux cas il s'agit de tuyaux de béton comportant des spires radiales, qui permettent une précontrainte circonférentielle donnant au tuyau ses propriétés de résistance à la pression, et des génératrices longitudinales également tendues offrant une résistance aux flexions qui se produisent durant les opérations de fabrication et plus tard, par suite des tassements normaux de terrain survenant après la pose.

Dans le cas des tuyaux obtenus par centrifugation, les spires sont constituées d'un fil d'acier à haute résistance enroulé hélicoïdalement sous forte tension autour d'un tube de béton précédemment obtenu par moulage centrifuge, et précontraint longitudinalement par des génératrices tendues en acier à haute résistance. Après leur enroulement les spires sont recouvertes d'un revêtement protecteur en béton vibré de haute qualité.

Signalons que pour les tuyaux de grands diamètres, il est possible d'obtenir un tuyau précontraint assez semblable en frettant sous tension un tube de béton précontraint longitudinalement et obtenu par moulage sous vibration à haute fréquence.

Quant au système des moules déformables, une cage de spires est placée dans un moule terminé par les pièces d'about entre lesquelles sont tendues les génératrices. Le béton est mis en place sous vibration à haute fréquence entre un moule constitué de plusieurs sections réunies entre elles par des boulons à ressort et un mandrin recouvert d'une enveloppe de caoutchouc. De l'eau est introduit sous pression entre le mandrin et le caoutchouc et celui-ci refoule l'ensemble, béton frais, spires et moule extensible. Après durcissement du béton, la pression d'eau est relâchée et les spires tendues compriment le béton. On obtient ainsi un tube monolithique d'une très grande homogénéité, sans discontinuité dans la qualité du béton d'enrobage et où les armatures circonférentielles et longitudinales sont parfaitement enrobées dans une seule masse de béton réalisée en une seule opération.

TABLEAU VII-2

Tuyaux en béton armé

Caractéristiques des tuyaux fabriqués par la Société des tuyaux Bonna (France)

Diamètre nominal (mm)	Type	Longueur utile (m)	Série 60 A		Série 90 A		Série 135 A	
			Poids (kg/m)	Charge de rupture (daN/m)*	Poids (kg/m)	Charge de rupture (daN/m)*	Poids (kg/m)	Charge de rupture (daN/m)*
300	Rocla	3,00	105	3.800	105	3.800	105	4.100
400	"	3,00	155	3.800	155	3.800	160	5.400
500	"	3,00	200	4.000	220	4.500	235	6.800
600	"	2,95	310	4.300	315	5.400	335	8.100
700	"	2,95	410	4.600	415	6.300	440	9.500
800	"	2,95	525	4.900	530	7.200	570	10.800
900	"	2,94	665	5.400	670	8.100	725	12.200
1000	"	2,93	810	6.000	815	9.000	900	13.500
1100	"	2,93	945	6.600	950	9.900	1.060	14.850
1200	"	2,93	1.140	7.200	1.150	10.800	1.290	16.200
1400	"	2,92	1.520	8.400	1.530	12.600	1.740	18.900
1500	"	2,92	1.740	9.000	1.750	13.500	1.980	20.250
1600	"	2,92	1.970	9.600	1.980	14.400	2.220	21.600
1600	MVR	4,90	2.130	9.600	2.140	14.400	2.150	21.600
1800	"	4,00	3.690	10.800	2.700	16.200	2.710	24.500
2000	"	3,30	3.220	12.000	3.240	18.000	3.280	27.000
2200	"	2,75	3.880	13.200	3.900	19.800	3.960	29.700
2200	"	4,60	3.770	13.200	3.790	19.800	3.850	29.700
2500	"	2,35	4.910	15.000	4.940	22.500	5.000	33.800
2500	"	3,60	4.800	15.000	4.830	22.500	4.920	33.800
2800	"	2,85	6.050	16.800	6.090	25.200	6.180	37.800
3000	"	2,45	7.050	18.000	7.080	27.000	7.180	40.500

* daN : decanewton = 1,02 kilogramme - poids
Source : Société des tuyaux Bonna (France), Catalogue de produits.

Les tuyaux de béton précontraints sont généralement destinés aux grandes adductions d'eau et autres applications de même nature. Généralement ils sont calculés pour répondre aux conditions particulières d'applications dans chacun des cas. On les fait parfois pour résister à des pressions de service considérables, 28 bars ou plus. Ils sont généralement produits dans des diamètres de 500 mm à 2000 mm et ils sont offerts en longueurs de 2 à 6 m.

Le tableau no. VII-3 présente les caractéristiques des tuyaux précontraints fabriqués par la Société Nationale des Matériaux de Construction (Algérie) suivant le procédé Sentab à moule déformable.

3.4 Les tuyaux en béton à tôle médiane

Les tuyaux en béton à tôle médiane, toujours destinés aux ouvrages sous pression, appartiennent essentiellement à deux grandes catégories, à savoir : ceux avec béton armé et ceux avec béton précontraint.

Les tuyaux à tôle médiane et béton armé sont constitués d'un tube médian en tôle d'acier soudé terminé par les pièces de joint, d'un revêtement intérieur en béton centrifugé (ou moulé sous vibration à haute fréquence pour les plus grands diamètres) et d'un revêtement extérieur en béton armé et vibré.

Les tuyaux à tôle médiane et béton précontraint sont formés d'un tube médian en tôle d'acier soudé terminé par les pièces de joint, d'un revêtement intérieur en béton centrifugé (ou moulé sous vibration pour les grands diamètres), d'une frette formée d'un fil d'acier à haute résistance enroulé hélicoïdalement sous forte tension autour du tube d'acier et d'un revêtement extérieur en béton vibré de haute qualité.

Dans chaque cas et pour chaque application ces tubes sont calculés en fonction des efforts de service auxquels ils seront soumis. L'épaisseur du tube d'acier et la section de la frette sont déterminés en fonction des efforts d'extension dûs à la pression intérieure, des efforts d'ovalisation dûs à l'effet des charges et des efforts de flexion, de dilatation, etc., dûs à des conditions spéciales.

Ces tuyaux sont ainsi prévus pour des pressions de service qui peuvent à l'occasion être très élevées, 30 bars ou plus.

Les diamètres de ces tuyaux varient généralement de 250 mm à 3000 mm et leur longueur est généralement d'environ 2,50 m pour les plus grands diamètres et d'environ 6,00 m pour les plus petits.

Le tableau no. VII-4 présente les caractéristiques des tuyaux précontraints à âme tôle fabriqués par Canon Ltée (Canada)

TABLEAU VII-3

Tuyaux en béton précontraint

Caractéristiques des tuyaux fabriqués selon le procédé Sentab par la Société Nationale des Matériaux de Construction (Algérie)

Diamètre intérieur (mm)	Epaisseur de la paroi (mm)	Longueur		Poids	
		totale (m)	utile (m)	du tuyau (kg)	par mètre linéaire (kg)
600	65	6	5,81	2.300	395
800	65	6	5,71	3.000	525
900	70	6	5,71	3.680	644
1.000	75	6	5,71	4.350	761
1.200	85	6	5,71	5.950	1.042
1.400	95	6	5,51	7.850	1.424

Source : Division Production Béton. Société Nationale des Matériaux de Construction (Algérie)

4. PROCÉDES DE FABRICATION

Le marché des tuyaux en béton est très important et il est à l'origine de machines et de procédés de fabrication très divers. La plupart de ces procédés connaissent en outre plusieurs variantes qui ont été développées par les nombreux fabricants d'équipement. Pour situer la question, signalons immédiatement que ces procédés peuvent être regroupés en trois groupes principaux, à savoir :

- Les machines à sabot tournant utilisées pour les diamètres inférieurs à 0,60 m;

TABLEAU VII-4

**Tuyaux en béton précontraint
avec âme tôle**

**Caractéristiques des tuyaux fabriqués
par Carron Ltée (Canada)**

Diamètre intérieur	Type	Diamètre de la tôle médiane	Épaisseur de la paroi	Longueur utile	Poids par pied
(po.)		(po.)	(po.)	(po.)	(lb.)
16	Lined	18,00	1,87	16 & 20	125
18	"	20,25	2,00	16 & 20	150
20	"	22,50	2,12	16 & 20	175
24	"	27,00	2,37	16 & 20	230
30	"	33,75	2,75	16 & 20	325
36	"	40,50	3,12	16 & 20	435
42	"	47,25	3,50	16	565
48	"	54,00	3,87	16	710
24	embedded	26,50	3,12	16	300
30	"	32,50	3,12	16	370
36	"	38,50	3,12	16	435
42	"	44,50	3,50	16	565
48	"	50,75	3,87	16	710
54	"	56,87	4,87	16	1.000
60	"	63,00	5,32	16	1.210
66	"	69,25	5,87	16	1.450
72	"	75,50	6,32	16	1.720

Source : Carron Ltée (Canada), Catalogue de produits.

- Les machines à centrifugation qui fournissent des produits étanches, de grande longueur, dans une gamme étendue de diamètres et pouvant être armés ou précontraints
- Les machines utilisant le moulage sous vibration qui permettent de réaliser des produits de toutes formes, de très grands diamètres, de grande longueur, résistants, étanches et pouvant être armés ou précontraints.

4.1 Fabrication des tuyaux non armés

4.1.1 Fabrication artisanale

Ces tuyaux en béton non armés étant souvent destinés à de petits ouvrages d'assainissement ou à de petites installations de drainages, ils sont fréquemment fabriqués par de très petites entreprises et suivant des méthodes plus ou moins artisanales.

La plus simple de ces méthodes, et celle qui donne aussi les moins bons résultats, consiste tout simplement à utiliser un moule en bois ou en acier composé d'un mandrin central fixe et d'une coquille extérieure en deux pièces assemblées par crochets. Une rondelle inférieure placée au bas du moule permet de former l'emboîtement du tuyau. On remplit l'espace compris entre le mandrin et la coquille extérieure du moule avec du béton frais obtenu par malaxage à la main ou à la machine. Après la prise du béton, on ouvre la coquille extérieure et on retire le tuyau. Ce procédé entièrement manuel ne permet que des cadences de production très réduites. N'autorisant pas le démoulage immédiat, il nécessite l'utilisation de nombreux moules. Enfin il donne un produit de très médiocre qualité du fait de l'impossibilité d'obtenir un compactage élevé du béton. Par contre, il n'exige que des investissements tout à fait minimum et à cause de ce fait il continue à être utilisé dans certains cas.

4.1.2 Fabrication sur table vibrante

Ce procédé est utilisé pour la fabrication de tuyaux armés ou non. L'installation décrite ci-après permet la fabrication par remplissage sous vibration et démoulage immédiat. Le matériel comprend :

- Un poste de fabrication de béton, de préférence équipé d'un malaxeur à axe vertical et cuve horizontale et déversant son béton dans une trémie fixe ou mobile destinée à alimenter le moule;
- Une table vibrante à plateau circulaire équipée d'un ensemble vibrant développant une force unidirectionnelle réglable;
- Des moules conçus pour que le démoulage immédiat s'opère par élévation verticale du noyau et de l'enveloppe;
- Un système de transport du moule plein au poste de démoulage;

- Un poste de démoulage comprenant un portique léger ou un pont roulant équipé d'un palan.

Le béton, malaxé et déversé dans la trémie, est amené au-dessus du moule muni d'une rondelle inférieure, qui permettra de former l'emboîtement du tuyau, et d'un entonnoir de remplissage amovible. Le remplissage se fait sous vibration. En fin d'opération, l'emboîtement supérieur est obtenu par l'enforcement manuel sous vibration d'une couronne à laquelle on communique un mouvement de rotation. Le moule plein est transporté à l'aire de démoulage où, après déverrouillage de la rondelle inférieure, le mandrin et ensuite la coquille extérieure sont soulevés à l'aide d'un palan. Le tuyau est ensuite soit étuvé à la vapeur, soit mûri par aspersion d'eau.

4.1.3 Fabrication avec vibrateurs bridés sur les moules

Ce procédé peut également être utilisé pour la fabrication de tuyaux armés ou non. Il est semblable dans la plupart de ses éléments au procédé décrit précédemment à l'exception de la vibration qui est obtenue au moyen d'un certain nombre de vibrateurs fixés sur la coquille extérieure des moules.

4.2 Fabrication des tuyaux en béton armé

4.2.1 Fabrication sur table vibrante

Le procédé est essentiellement le même que celui décrit à 4.1.2 avec cette nuance qu'avant le remplissage du moule avec le béton frais, on introduit dans le moule une, deux, ou trois cages d'armature. Celles-ci, constituées de spires circonférentielles et de génératrices longitudinales sont placées concentriquement dans l'espace entre le mandrin et la coquille.

4.2.2 Fabrication avec vibrateurs bridés sur les moules

Ce procédé est essentiellement le même que celui décrit à 4.1.3 à cette exception qu'une ou des cages d'armature sont introduites dans le moule avant le coulage du béton frais.

4.2.3 Fabrication par procédé Vihy

Ce procédé repose sur l'utilisation d'une machine qui comprend :

- Une coquille en deux pièces, avec évasement en tête s'il s'agit de tuyaux à emboîtement. Cette coquille, de même que son anneau de base, reposent sur une couronne de centrage fixée au plancher ;
- un mandrin intérieur cylindrique, comportant dans son arc un vibreur mécanique. Ce mandrin est monté élastiquement en bout de piston d'un vérin vertical qui peut s'effacer dans une fosse;

- Un vérin hydraulique compresseur portant une forme convenable pour réaliser le manchon ou l'emboîtement par pression supérieure.

Le mode opératoire consiste à alimenter le moule sous vibration. En fin de remplissage, l'emboîtement est réalisé par compression sous vibration. Le mandrin est descendu. Le piston compresseur est dégagé. La coquille extérieure comprenant le tuyau est transportée sur le parc de démoulage. La coquille est ouverte et le démoulage est effectué immédiatement.

4.2.4 Fabrication par procédé RIMAS

La machine comprend :

- Une caquille extérieure disposée dans une fosse et équipée de vibrateurs mécaniques;
- Un mandrin intérieur cylindrique dans lequel est logé un vérin à double effet;
- Un anneau de base porté par le mandrin;
- Une couronne supérieure amovible, clavetable en tête du mandrin central, et destinée à l'empreinte de l'emboîtement.

Le moule est gami de béton sous vibration. En fin de remplissage, la couronne de tête est clavetée sur la coquille extérieure. Le mandrin, qui est alors relevé en entraînant l'anneau de base, comprime le béton sous vibration. Le tuyau fixe est éjecté du moule par l'élévation du mandrin qui pousse l'anneau de base. Le tuyau est saisi par son embase et transporté au parc de séchage.

4.2.5 Fabrication par les procédés SIOME et TURBOVIBR

Ces procédés utilisent des machines dont la conception s'apparente à celles décrites à 4.2.3 et 4.2.4

4.2.6 Fabrication par procédé HYDROTILE et McCracken

Dans ces deux procédés, le tuyau est formé dans une coquille extérieure en deux pièces dans laquelle on verse le béton par le dessus. Un mandrin intérieur rotatif comportant sur son pourtour un certain nombre de rouleaux compresseurs tasse le béton frais contre la coquille. Le mandrin est retiré vers le haut au moyen d'un vérin et la caquille avec le tuyau sont transportés à l'aire du mûrissage où le démoulage a lieu immédiatement.

4.2.7 Fabrication par centrifugation

La cage d'armature est placée dans un moule cylindrique équipé de galets crénelés et pouvant tourner à vitesse réduite jusqu'à l'obtention de l'épaisseur désirée. Lorsque celle-ci est atteinte, on accélère la vitesse de rotation du moule. L'effet de rotation crée une force centrifuge qui assure le compactage du béton d'une façon uniforme. Après centrifugation le tuyau est généralement étuvé à la vapeur jusqu'à l'obtention de la résistance nécessaire au démoulage.

4.3 Fabrication des tuyaux en béton précontraint

4.3.1 Fabrication par centrifugation

Cette méthode s'apparente à celle décrite à 4.2.7 pour les tuyaux en béton armé. Les génératrices longitudinales sont d'abord placées dans le moule cylindrique et mises à la tension désirée. Le béton est déposé dans le moule qui tourne à vitesse réduite. Lorsque l'épaisseur de béton est atteinte la vitesse de rotation du moule est accélérée. La force centrifuge ainsi que l'effet de vibration créé par le crénelage des galets assurent le compactage du béton. Après étuvage, le tuyau appelé primaire est démoulé et placé à l'air libre pour compléter son durcissement. Lorsque la résistance désirée du tuyau primaire est atteinte, celui-ci est fretté par enroulement à pas réguliers sous tension continue et contrôlée, d'un fil d'acier de précontrainte. Un revêtement extérieur est ensuite effectué au moyen d'une machine avec vibration à haute fréquence qui dépose une couche de béton compacte à faible teneur en eau sur le tuyau animé d'un faible mouvement de rotation.

4.3.2 Fabrication par vibration

Un tuyau primaire est d'abord obtenu par des procédés analogues à ceux décrits à 4.2.1 et 4.2.2 à cette différence près que des génératrices tendues longitudinalement remplacent les cages d'armature. Ce tuyau primaire est ensuite fretté et revêtu de la façon décrite à 4.3.1.

4.3.3 Fabrication par moule déformable

Du béton frais est introduit dans un espace annulaire compris entre un mandrin vertical et un moule extérieur en caoutchouc qui peut se gonfler sous une pression d'eau intérieure. Le moule extérieur est formé de deux ou quatre sections reliées par des boulons à ressorts qui lui permettent une certaine expansion sous une pression intérieure. Entre les pièces d'about du moule sont tendues des génératrices en acier à haute résistance. Ce moule contient aussi la cage d'armature circulaire formée de spires de fil d'acier à haute résistance.

Le remplissage de béton se fait avec vibration du moule extérieur. Le remplissage terminé, de l'eau sous pression est introduite entre le mandrin et la jupe de caoutchouc. La jupe augmente alors de diamètre, entraînant dans son mouvement

béton, spires, génératrices et moule extérieur, ce qui réalise la mise en tension des spires. La pression d'eau est maintenue pendant la durée de l'étuvage. Après celui-ci, la pression d'eau est relâchée et on procède au démoulage.

4.4 Fabrication des tuyaux en béton à tôle médiane

4.4.1 Fabrication des tuyaux à âme tôle et armature

Les tôles servant à fabriquer le tube médian sont cisillées d'équene de façon à donner, après cintrage, des viroles cylindriques. Ces viroles sont soudées longitudinalement, puis elles sont assemblées par soudure circulaires. Des bagues de joint sont soudées aux extrémités du tube médian. L'armature du revêtement extérieur est formée de génératrices et de spires soudées électriquement.

Cet ensemble tube médian et armature est mis dans un moule dont les bouts comportent les pièces permettant de réaliser l'emboîtement. Le moule encerclé de deux colliers de roulement est posé sur un châssis de centrifugation formé essentiellement par des galets pouvant tourner à vitesse variable.

Le béton est amené à l'intérieur du tube par un transporteur à courroie en porte-à-faux. Le béton forme dans le moule tournant à vitesse réduite un revêtement de l'épaisseur désirée. La force centrifuge obtenue ensuite en faisant tourner le moule à grande vitesse comprime le béton en essorant l'eau en excès. Ce tuyau centrifugé est étuvé puis un revêtement extérieur est moulé en position verticale sous une vibration énergique.

4.4.2 Fabrication des tuyaux à âme tôle avec précontrainte

La fabrication s'effectue essentiellement de la façon décrite à 4.4.1 avec cette nuance que l'armature est remplacée par des spires en fil d'acier à haute résistance qui sont enroulées à tension contrôlée autour de la virole médiane.

5. NORMES

Dans beaucoup de pays les tuyaux de béton n'ont pas fait l'objet d'une normalisation au niveau national. C'est notamment le cas en France. On utilise alors les spécifications des fabricants ou des associations de fabricants.

Par ailleurs aux Etats Unis l'effort de normalisation a été important et dans bien des pays, notamment au Canada et en Amérique latine on utilise régulièrement les normes américaines.

Les normes les plus généralement utilisées pour la fabrication des tuyaux de béton sont les suivantes:

5.1 ASTM (American Society for Testing and Materials)

No. C-14, C-76, C-118, C-361, C-412, C-444, C-497,
C-5-5, C-506, C-507, C-654, C-655

5.2 AWWA (American Water Works Association)

No. C-300, C-301, C-302, C-303

5.3 B.S.I. (British Standards Institution)

No. 556, 1194, 4101

5.4 DIN (Deutscher Normenausschuss)

No. 4032

6. **TRAITEMENT DE SURFACE**

Le béton est un matériau éminemment résistant qui, lorsqu'il est employé judicieusement, résiste normalement très bien à toutes les corrosions habituelles. Les tuyaux en béton sont donc fréquemment utilisés sans aucun revêtement intérieur ou extérieur. Toutefois pour les conduites d'égoût où les conditions de corrosion sont particulièrement sévères, on applique parfois des revêtements intérieurs en époxy ou constitués de feuilles de grès vitrifiées ou de CPV. Les caoutchoucs synthétiques ainsi que les matériaux bitumineux posés à chaud sont également efficaces dans certains cas.

7. **ASSEMBLAGES**

Dans la plupart des cas les tuyaux de béton sont terminés à un bout par une tulipe formant emboîtement et à l'autre bout par une partie droite sur laquelle se place, lors de la pose, une garniture de joint constitué par un caoutchouc de section circulaire. L'étanchéité est réalisée par l'anneau de caoutchouc qui, lors de la mise à joint, roule sur l'extrémité mâle pour être finalement comprimé entre celle-ci et la tulipe du tuyau jointif.

Les tuyaux à tôle médiane, dont les pièces de bout sont en métal, se prêtent à toute une variété de joints. Après ce joint de caoutchouc décrit ci-dessus, le plus fréquemment utilisé est le joint soudé. On réalise alors un slip-joint où, après l'emboîtement des pièces métalliques de bouts, on soude celles-ci à l'arc et on protège la soudure en coulant par dessus celle-ci un mortier de rejointement à l'intérieur d'un coffrage perdu en toile de jute. La soudure se fait habituellement à l'extérieur pour les tuyaux de petits diamètres alors que l'on procède souvent de l'intérieur avec les tuyaux de dimensions plus importantes.

Les tuyaux à âme tôle se prêtent également à l'utilisation des joints à bride pour le raccord de vannes ou autres pièces de conduite métalliques, des joints Gibault pour absorber des dilatations ou retraits accompagnés d'un léger déplacement angulaire, ainsi que des joints à onde lorsqu'on peut craindre un tassement local.

8. UTILISATIONS

Les tuyaux en béton de la catégorie sans pression sont surtout utilisés pour les évacuations d'eaux usées. On les retrouve aussi comme ponceaux, comme revêtement intérieur de puits peu profonds et dans les réseaux de drainage.

Les tuyaux de la catégorie pression sont le plus souvent utilisés pour le transport de l'eau soit dans les grandes conduites d'amenée, les réseaux de distribution urbains ou les canalisations industrielles.

CHAPITRE VIII

LES TUYAUX EN AMIANTE-CIMENT

1. GENERALITES

L'amiante était connu des Romains. Ils l'appelaient "amiantus" et l'utilisaient pour fabriquer des linceuls crématoires ainsi que des mèches de lampes. Au treizième siècle, dans ses récits de voyages, Marco Polo signalait les propriétés ignifuges des tissus faits d'amiante.

L'amiante-ciment est un matériau composé d'amiante et de ciment homogénéisés et mélangés en présence d'eau. Son utilisation remonte à la deuxième moitié du dix-neuvième siècle. C'est en 1900 que l'autrichien Ludwig Hatschek mettait au point son procédé pour la fabrication de bardeaux de toiture en amiante-ciment. Ce même procédé fut adopté, plus tard, pour la fabrication en amiante-ciment.

L'Italie fut le berceau de l'industrie des tuyaux d'amiante-ciment. Eternit Pietra Artificiale de Gênes obtint, en 1913, un premier brevet en commençant, en 1915, la fabrication de tuyaux d'amiante-ciment.

L'utilisation de ces tuyaux se répandit rapidement dans le monde, si bien qu'aujourd'hui la plupart des pays industrialisés et en voie d'industrialisation possèdent leur industrie de tuyaux en amiante-ciment.

Ces tuyaux sont généralement fabriqués dans les diamètres de 2 1/2" (60 mm) à 42" (1,000 mm). Suivant la qualité des matières premières utilisées (particulièrement l'amiante), de la composition du mélange (rapport amiante, ciment et eau), et de l'épaisseur de la paroi, les tubes d'amiante-ciment se divisent essentiellement en deux catégories principales: les tuyaux à pression et les tuyaux sans pression.

Ces tuyaux sont appréciés pour leur résistance à la corrosion et pour leur paroi intérieure très lisse. Ils sont surtout utilisés pour les distributions d'eau dans les villes, les évacuations d'eaux-vannes et également comme conduits électriques.

2. PROPRIETES

L'amiante est le seul minéral naturel qui se présente sous forme de fibres. Il est composé de silicium, d'oxygène, d'eau et de magnésium (parfois aussi de sodium et de fer). Ces fibres très flexibles, d'une grande résistance à la traction, peuvent être subdivisées très finement sans que leur longueur en soit affectée.

L'amiante-ciment est obtenu en mélangeant, en présence d'eau, du ciment Portland (70 à 75%) et des fibres d'amiante qu'on choisit de longueurs appropriées

afin d'obtenir les propriétés voulues à moindres frais. Le matériau obtenu, qui procède du même principe que celui du béton armé, combine la résistance du ciment à la compression et la résistance des fibres d'amiante à la traction.

Les tuyaux d'amiante-ciment sont appréciés pour leur surface intérieure unie, leur résistance à la corrosion, leur immunité aux courants électriques de dispersion, leur faible poids et leur facilité de mise en place.

3. GAMME DES PRODUITS

3.1 Les tuyaux pression

Les tuyaux pression en amiante-ciment sont fabriqués pour répondre à des pressions de service ne dépassant généralement pas 14 bars. Ils sont disponibles dans les diamètres de 3 à 42 pouces.

Le tableau VIII-1 présente, à titre d'exemple, les caractéristiques des trois catégories de tuyaux pression fabriqués par la société Johns-Manville (Canada).

Les tuyaux pression sont le plus généralement disponibles en longueurs de 3 ou 4 mètres.

3.2 Les tuyaux sans pression

Les tuyaux sans pression en amiante-ciment sont fabriqués dans les diamètres de 2 1/2 à 42 pouces.

Ils sont fabriqués en plusieurs catégories d'épaisseurs de paroi pour répondre à différentes conditions de pression d'écrasement dépendant des conditions particulières d'enfouissement. Les catégories les plus résistantes peuvent, généralement, être soumises à des pressions d'écrasement de l'ordre de 5,000 lb/pied (7,440 kg/m).

Le tableau VIII-2 présente les caractéristiques des cinq catégories de tuyaux sans pression fabriqués par la société Johns-Manville (Canada).

Les tuyaux sans pression sont généralement disponibles en longueurs standards de 13 pieds ou 4 mètres.

4. PROCÉDES DE FABRICATION

Les divers procédés de fabrication de tuyaux en amiante-ciment diffèrent principalement au stade de la mise en forme du tuyau et à celui de son durcissement.

Dans tous les cas, il est d'abord nécessaire de préparer le mélange, ou pâte d'alimentation. Cette pâte est constituée de ciment Portland, de fibre d'amiante, de silice pulvérisée et d'eau. Des fibres d'amiante de différentes longueurs sont

TABLEAU VIII-

Tuyaux en amiante-ciment

Caractéristiques des tuyaux-pression
fabriqués par Johns-Manville (Canada)

Diamètre nominal	Catégorie 100 Pression de service : 7 bars			Catégorie 150 Pression de service : 10,5 bars			Catégorie 200 Pression de service : 14 bars		
	Diam. int.	Diam. ext.	Poids	Diam. int.	Diam. ext.	Poids	Diam. int.	Diam. ext.	Poids
(po.)	(po.)	(po.)	(lb/pi.)	(po.)	(po.)	(lb/pi.)	(po.)	(po.)	(lb/pi.)
4	3,95	4,92	6,0	3,95	5,07	7,2	3,95	5,33	8,7
6	6,00	7,19	11,2	5,85	7,17	12,4	5,70	7,32	14,5
8	8,00	9,39	17,1	7,85	9,37	19,0	7,60	9,50	22,5
10	9,85	11,37	22,4	10,00	11,92	30,3	9,63	11,92	34,9
12	11,70	13,49	31,5	12,00	14,18	41,6	11,56	14,18	48,8
14	13,59	15,51	39,7	14,00	16,48	56,0	13,59	16,59	65,7
16	15,50	17,65	50,7	16,00	18,72	69,5	15,50	18,90	85,0
18	18,00	20,44	66,7	18,00	21,30	92,4	18,00	22,54	131,5
20	20,00	22,68	81,5	20,00	23,64	112,9	20,00	25,02	167,7
24	24,00	27,12	114,0	24,00	28,32	161,0	24,00	29,98	232,7
30	30,00	33,80	159,5	30,00	35,42	238,4	30,00	37,48	323,0
36	36,00	40,46	225,7	36,00	42,46	347,3	36,00	44,94	464,1

Source : Johns-Manville (Canada), Catalogue de produits.

TABLEAU VIII-2

Tuyaux en amiante-ciment

Caractéristique des tuyaux sans pression
fabriqués par John-Manville (Canada)

Diamètre nominal (po.)	Poids en livres/pied				
	Catégorie 1500*	Catégorie 2400	Catégorie 3300	Catégorie 4000	Catégorie 5000
6	8,5	9,5	11,1	-	-
8	12,6	13,3	15,6	-	-
10	17,6	18,9	22,0	24,3	27,6
12	22,8	24,3	28,8	31,5	35,8
14	27,5	30,3	35,8	39,3	44,3
16	32,1	37,0	43,1	47,6	53,7
18	-	43,6	50,9	56,5	63,3
20	-	50,7	59,2	65,4	73,6
24	-	66,4	77,2	85,3	95,8
30	-	-	106,8	118,8	132,7
36	-	-	-	155,0	173,8

* Résistance à l'écrasement : 1500 lb/pi.

Source : Johns-Manville (Canada), Catalogue de produits.

utilisées. Les fibres les plus longues présentent les meilleures caractéristiques mécaniques, cependant leur prix est plus élevé. On s'efforce donc d'obtenir le mélange qui donnera les résultats recherchés au meilleur compte. Les fibres, qui sont d'abord ouvertes dans un broyeur à meules de granit, sont ensuite mélangées au ciment et à l'eau dans les proportions d'environ 70 à 75% de ciment 10 à 15% d'amiante et 10 à 15% d'eau.

La mise en forme du tuyau est le plus souvent réalisée sur des équipements dérivés du procédé Hatschek.

Les principales étapes de fabrication sont les suivantes:

- La pâte fortement diluée, obtenue par le mélange de ciment, d'amiante et d'eau, selon les proportions voulues, est versée uniformément dans un réservoir où tourne un cylindre recouvert d'un treillis métallique très fin. L'eau contenue dans la boue passe au travers du treillis, déposant à la surface de celui-ci les particules solides de ciment et d'amiante qu'elle contient, de telle façon qu'en tournant le cylindre se recouvre d'une fine couche de mélange. Le cylindre est entraîné par le feutre de la machine, lequel est fortement pressé contre la surface externe supérieure de ce cylindre. Ce contact provoque l'adhérence au feutre de la couche primaire du mélange.
- Une fois cette adhérence obtenue, le feutre circule au-dessus d'un système d'aspiration qui enlève le surplus d'eau, ne laissant que la quantité d'eau nécessaire à la prise du ciment.
- Le feutre circule ensuite au-dessus d'un mandrin contre lequel il est fortement pressé. La couche primaire est ainsi transférée au mandrin. La couche sur le mandrin s'épaissit avec chaque tour de celui-ci et on peut ainsi former, sur le mandrin, un tuyau de l'épaisseur désirée.
- Le tuyau est ensuite calandré et séparé hydrauliquement du mandrin. Il est prêt pour le mûrissage.

Quelquefois, surtout dans le cas des tuyaux sans pression, on fait appel à un procédé plus simple ne faisant pas usage de feutre. La machine est constituée essentiellement d'un faux mandrin perforé en acier et de deux rouleaux égalisateurs. La pâte est étendue manuellement sur le faux mandrin perforé, à l'intérieur duquel on crée une aspiration qui a pour effet de provoquer l'adhérence de la boue sur le faux mandrin. La circulation d'air qu'elle entraîne assure, en même temps, le séchage de la pâte. Simultanément, les deux cylindres égalisateurs répartissent uniformément la pâte sur le faux mandrin en lui donnant la forme désirée. Lorsque la formation du tuyau est terminée, le mandrin est enlevé de la machine et est placé sur un dispositif d'extraction hydraulique qui sépare le mandrin du tuyau. Celui-ci est alors prêt pour le mûrissage.

Le mûrissage, qui assure le durcissement du tuyau, peut être effectué à l'eau ou à la vapeur.

Dans le système de durcissement à l'eau, le tuyau est maintenu sous des jets d'eau ou, mieux encore, complètement immergé pendant une quinzaine de jours. Il est alors prêt à être utilisé après 28 jours. Le système de durcissement à la vapeur consiste à durcir le tuyau en autoclave. Il permet, non seulement d'obtenir des tuyaux plus solides, prêts à être expédiés dans les 48 heures qui suivent la production, mais aussi de remplacer une partie du ciment par de la silice broyée, d'où la possibilité de réduction des coûts des matières premières. Le traitement à l'autoclave contribue à la stabilité chimique du produit en réduisant la teneur en chaux libre qui est un élément susceptible d'être éliminé par lessivage et d'être attaqué par les sulfates et les acides de certains sols.

Après durcissement, les tuyaux sont coupés et usinés et, dans le cas des tuyaux à pression, testés hydrauliquement.

5. NORMES

Les normes les plus couramment utilisées pour la fabrication des tuyaux d'amiante-ciment sont les suivantes:

5.1 ISO (Organisation internationale de normalisation)

No. R-160, R-391, R-881.

5.2 ASTM (American Society for Testing and Materials)

No. C-296, C-428, C-500, C-508, C-541, C-644, C-663, C-668.

5.3 AFNOR (Association française de normalisation)

No. NF P 16-301, NF P 16-302, NF P 16-304, NF P 16-403, NF P 16-418, NF P 41-302, NF P 41-401.

5.4 CSA (Canadian Standards Association)

No. C.22.2, No. 135.

5.5 BSI (British Standards Institution)

No. 486, 567, 569, 582, 835.

5.6 DNA (Deutscher Normenausschuss)

No. 19800.

6. TRAITEMENT DE SURFACE

Les tuyaux en amiante-ciment sont, presque inévitablement, utilisés sans aucun revêtement intérieur ou extérieur.

Cependant, avec certains acides faibles et avec d'autres liquides corrosifs, on utilise des revêtements intérieurs de résines thermodurcissables résistants aux acides et aux alcalis.

Les tuyaux en amiante-ciment sont souvent peints à l'extérieur lorsqu'ils sont utilisés à l'intérieur des bâtiments.

7. RACCORDS

Les raccords des tuyaux en amiante-ciment sont, le plus souvent, effectués au moyen de manchons et autres pièces de raccords en amiante-ciment. Les tuyaux sont insérés dans l'emboîtement des pièces et un joint en caoutchouc assure l'étanchéité.

Les manchons sont fabriqués à partir de tuyaux en amiante-ciment qui sont coupés de la longueur désirée et dont les bouts sont usinés. Les autres pièces de raccords, coudes, té, etc., sont obtenues soit par moulage à partir de feuilles humides produites dans une machine à plaques, soit par injection dans des presses spéciales capables de produire jusqu'à 50 unités à l'heure.

Les raccords en fonte sont aussi utilisés avec les tuyaux en amiante-ciment. Il est intéressant de noter que les tuyaux en amiante-ciment peuvent être raccordés avec toutes les catégories de tuyaux métalliques sans aucun danger de corrosion galvanique.

8. UTILISATIONS

Les tuyaux en amiante-ciment sont utilisés principalement pour les réseaux urbains de distribution d'eau ainsi que pour les réseaux d'évacuation des eaux usées.

Dans le bâtiment, les tuyaux et les sections tubulaires en amiante-ciment sont utilisés pour le drainage, pour les événements et les cheminées, pour les systèmes vidu-ordures, pour les canalisations de ventilation et pour les gouttières.

Ces tuyaux sont aussi utilisés comme conduits électriques souterrains ou à l'intérieur des bâtiments.

En version perforée, ils servent pour le drainage agricole et également pour le drainage des fondations.

CHAPITRE IX

TUYAUX EN GRES VITRIFIE

1. GENERALITES

Le grès vitrifié employé en tuyauterie est un matériau connu depuis fort longtemps. Les Romains en faisaient déjà usage avant l'ère chrétienne. Les fouilles entreprises par les autorités turques sur le site de l'ancienne cité d'Ephèse révèlent que cette ancienne ville romaine était pourvue d'un excellent système d'adduction d'eau de même que d'un réseau d'évacuation réalisés en grès vitrifié. La résistance à la corrosion, à la putréfaction et la dégradation de ces tuyaux était telle que ceux-ci sont encore aujourd'hui en excellent état de conservation au point que certaines parties des réseaux pourraient encore être utilisées.

Même aujourd'hui, les tuyaux en grès vitrifiés, grâce à leur résistance à la corrosion et à l'usure, continuent d'être utilisés pour les canalisations d'eaux usées.

2. PROPRIETES

Le grès vitrifié est obtenu par la cuisson d'argile plastique. Les tuyaux faits de ce matériau possèdent donc comme première et très importante qualité de pouvoir être fabriqués d'une matière première abondamment disponible en de très nombreux endroits.

Ces tuyaux, lisses à l'intérieur et très résistants à l'usure par frottement, sont indiqués pour les canalisations d'évacuation d'eaux usées de faibles pentes. Bien que très résistants à la compression et à la traction, ils sont cependant fragiles aux chocs et ce n'est que très exceptionnellement qu'ils sont utilisés pour des conduites sous pression.

Ces tuyaux possèdent une excellente résistance à la plupart des produits chimiques, exception faite de l'acide fluorhydrique. Ils sont tout désignés pour les évacuations de produits corrosifs. De même, leur emploi, même dans les sols les plus agressifs ne présente pas de problème particulier.

3. GAMME DES PRODUITS

Les tuyaux de grès sont fabriqués dans les diamètres de 100 mm à 900 mm. Règle générale dans les diamètres de 100 mm à 300 mm ils sont offerts en longueur de 1,50 m. alors que pour les plus grands diamètres il est maintenant courant de les fabriquer en longueur de 2 m.

Ces tuyaux sont offerts en plusieurs qualités. En France on les classe généralement en deux grandes catégories; la qualité administrative vendue avec clauses de garantie et la qualité commerciale. Aux U.S.A. on les vend sous trois désignations différentes à savoir: "single-strength" non conforme à la norme ASTM, "double-strength" conforme à la norme ASTM C-13 et disponibles dans des diamètres allant jusqu'à 36" (900mm), "extra-strength" fabriqué pour répondre à des conditions de pression d'écrasement particulièrement élevées. Au Canada, ces tuyaux sont offerts dans les catégories "Résistance régulière" et "Grande résistance".

A titre d'exemple, le Tableau No. IX-1 présente les caractéristiques d'une catégorie de tuyaux de grès fabriqués par National Sewer Pipe Ltd., (Canada).

TABLEAU IX-1

Tuyaux en grès vitrifié

**Caractéristiques des tuyaux de catégorie "Régulière"
fabriqués par National Sewer Pipe Ltd (Canada)**

Diamètre nominal	Épaisseur du fût	Poids	Longueur standard	Résistance à l'écrasement
(po.)	(po.)	(lb/pi)	(pi.)	(lb/pi)
4	0,578	10	4	1000
5	0,625	12	4	1050
6	0,719	14	4	1100
8	0,812	22	4	1300
9	1,000	29	4	1350
10	1,047	32	4	1400
12	1,219	49	5	1500
15	1,500	70	5	1750
18	1,734	97	5	2000
21	2,000	141	5	2200
24	2,312	180	5	2400
27	3,344	225	5	2750

Source : National Sewer Pipe Ltd. (Canada), Catalogue de produits

Les tuyaux de grès sont aussi fabriqués perforés pour les installations de drainage. Règle générale, les perforations sont réparties sur une moitié seulement de la surface de sorte que ces tuyaux peuvent être placés avec les ouvertures vers le bas afin de minimiser les infiltrations de particules solides qui pourraient éventuellement provoquer des bouchages.

4. PROCÉDES DE FABRICATION

Les tuyaux de grès sont obtenus de la cuisson à 1200 °C d'une argile plastique composée de 62 à 72% de silice, de 21 à 35% d'alumine et de 3% de fondants.

Les argiles, après extraction, sont mises en stock dans des silos séparés selon leurs compositions. Ceci permet subséquemment de les mélanger de façon à obtenir un matériau homogène ayant exactement la composition désirée.

Le mélange est d'abord broyé puis malaxé avec de l'eau dans un malaxeur-dégageur qui le transformera en une pâte fine et dense. Cette pâte est introduite dans l'extrudeuse. Cette machine qui peut être verticale ou horizontale est formée d'un cylindre dans lequel tourne une vis sans fin qui sert à pousser la pâte au travers la filière qui déterminera la forme et les dimensions du tuyau. Les bouts du tuyau sont usinés et celui-ci placé dans une chambre de séchage.

Vient ensuite la cuisson qui peut être effectuée essentiellement de deux façons, c'est-à-dire, dans des fours à chambre simple ou dans des fours-tunnels.

Dans les fours à chambre simple, qui sont de conception ancienne, la manutention des tuyaux est faite à la main. Ceux-ci sont généralement entrés et retirés du four ou moyen de petits chariots sur pneumatiques. Règle générale, lorsqu'on utilise ces fours, la glaçure caractéristique du grès est obtenue par la volatilisation du sel marin introduit dans le four en fin de cuisson et qui réagit à la surface de l'argile en donnant une mince couche de silico-aluminate alcalin vitrifié.

Dans les four-tunnels de conception plus moderne, les tuyaux sont déplacés sur des wagonnets circulant sur rails. Une chambre de préchauffage précède généralement le four-tunnel de façon à graduer l'élévation de température. Règle générale, lorsqu'on utilise ces fours, on a recours à un vernissage céramique pour obtenir la glaçure recherchée. Ce vernis peut être appliqué uniquement à la surface interne du tuyau mais généralement il recouvre toutes les surfaces du tuyau. Son application est obtenue soit en immergeant les tuyaux dans l'engobe soit en pulvérisant l'engobe à la surface du tuyau. L'engobe est composé d'argile délayé dans l'eau auquel on peut ajouter des oxydes colorants qui permettent de différencier les différentes catégories de tuyaux.

5. NORMES

Les normes les plus couramment utilisées pour la fabrication des tuyaux en grès sont les suivantes :

5.1 ANSI (American National Standards Institute)

No. A-106.1, A-106-3, A106-5

5.2 ASTM (American Society for Testing and Materials)

No. C-4, C-13, C-200, C-211, C-301, C-498

5.3 CSA (Canadian Standards Association)

No. A-60.1, A-60.2

5.4 BSI (British Standards Institution)

No. 65, 540, 1143, 1196

5.5 DNA (Deutscher Normenausschuss)

No. 1230, 4250

6. TRAITEMENTS DE SURFACE

Leur excellente résistance aux produits chimiques et leur immunité à peu près parfaite à la corrosion, leur grande résistance à l'usure font que ces tuyaux sont, à toutes fins pratiques, toujours utilisés sans revêtement intérieur ou extérieur.

Il n'y a que dans les cas très exceptionnels où ces tuyaux pourraient être accidentellement soumis à des chocs mécaniques ou hydrauliques que ceux-ci sont revêtus extérieurement d'une gaine de béton qui peut être armée ou non suivant les conditions. Cette méthode est aussi utilisée lorsque le tuyau est placé dans un sol très instable et dans certains cas lorsqu'il est appelé à fonctionner sous pression.

7. ASSEMBLAGE

Les tuyaux de grès sont presque toujours fabriqués avec un bout uni et un bout avec emboîtement. Le bout avec emboîtement comporte une rainure où est inséré un joint de caoutchouc qui assurera l'étanchéité.

Les joints coulés à chaud sont aussi utilisés avec les tuyaux à emboîtement particulièrement lorsque la conduite est appelée à transporter des liquides corrosifs. Il est alors important de choisir le matériau de joint de façon à ce que celui-ci exhibe, si possible, envers le produit transporté une immunité au moins égale à celle du

tuyau. La variété des produits transportés étant très grande, la variété des matériaux utilisés pour les joints coulés est aussi très importante. Le composé connu dans le commerce sous le nom de Tegul-Vitrobond est fréquemment utilisé à cette fin.

L'étanchéité des tuyaux avec emboîtement est aussi obtenue en utilisant des mastics le plus souvent à base d'époxy. On recherche généralement un mastic qui ne durcira pas de façon à conserver au joint une certaine flexibilité.

Récemment, de nouveaux joints ont été développés qui permettent d'assembler rapidement et efficacement les tuyaux de grès utilisés dans les canalisations d'évacuation. Un de ces joints, utilisés avec les tuyaux à bouts unis est constitué d'un large manchon de caoutchouc épais recouvert d'une bande protectrice de plastique plus rigide et encerclé de deux anneaux en inox ou en fonte serrables au moyen de boulons. Les tuyaux sont placés bout à bout et le caoutchouc qui assure l'étanchéité recouvre le joint et une égale partie de chacun des tuyaux. La bande de plastique et les anneaux métalliques enserrant le caoutchouc et les tuyaux et empêchent la séparation de ceux-ci.

Dans la catégorie des nouveaux joints pour conduite d'évacuation, il est intéressant de mentionner celui désigné dans le commerce sous le nom de Flex-Lox. Ce joint qui est aussi utilisé avec des tuyaux à bouts unis est complètement monté à l'usine et il peut être assemblé sur chantier sans aucun outil ou produit spécial. Un anneau de polyuréthane de dimensions très précises est d'abord moulé à chacune des extrémités du tuyau. Un manchon composé d'une pièce de plastique ABS moulée par injection à des dimensions précises et ceinturée d'une bande d'acier inoxydable de type 301 est glissée en place à un des bouts de chaque tuyau. La partie de ce manchon qui excède l'extrémité du tuyau constitue un emboîtement dans lequel le bout du tuyau suivant peut être inséré. La forme et les dimensions précises de l'anneau de polyuréthane et de la pièce d'ABS assure le bon mariage des deux et l'étanchéité du joint. La bande en acier inoxydable confère la résistance aux efforts de cisaillement.

8. UTILISATIONS

Les tuyaux en grès sont surtout utilisés pour les évacuations d'eaux usées.

Leur résistance aux produits chimiques les désigne pour les évacuation des eaux vannes de laboratoire, d'usines de produits chimiques et d'usine de pâtes et papiers.

Leur surface interne très lisse qui leur confère un excellent coefficient d'écoulement permet de les utiliser dans les réseaux à faibles pentes.

Les tuyaux perforés sont utilisés pour le drainage agricole et le drainage de fondations de même que les réseaux d'épandages associés aux fosses septiques.

CHAPITRE X

LES TUBES ET TUYAUX EN CAOUTCHOUC

1. GENERALITES

Le caoutchouc est un matériau connu depuis plusieurs centaines d'années, mais ce n'est qu'au début des années 1800 que les premières méthodes de transformation efficaces et économiques firent leur apparition. Les premiers tuyaux en caoutchouc naturel furent fabriqués à la main il y a environ 115 ans. Depuis l'avènement du caoutchouc synthétique (1930) et de ses nombreux dérivés, et la mise au point de techniques de fabrication mécaniques tant pour la fabrication des tubes que pour la pose des renforcements, ont permis d'offrir une gamme de produits flexibles particulièrement bien adaptés aux diverses conditions d'usage, de sorte que de nos jours le tuyau en caoutchouc est largement utilisé dans une foule d'applications où l'emploi des tubes et tuyaux rigides s'avère, soit impossible, soit peu pratique.

Le tuyau en caoutchouc, tel qu'on le connaît aujourd'hui, est généralement constitué de trois éléments: le conduit intérieur, l'armature et le revêtement extérieur.

- Le conduit extérieur: celui-ci, qui est entièrement en caoutchouc, a comme fonction primaire de contenir les fluides transportés. Le type de caoutchouc utilisé et l'épaisseur dépend des conditions de service auquel est soumis le boyau et doivent être compatibles avec le type de raccordement utilisé.
- L'armature: l'armature, carcasse ou renforcement, est constitué de tissus de cordes ou d'éléments métalliques dont le but est de permettre une meilleure robustesse et de résister à la pression interne ou à des forces extérieures, ou une combinaison des deux. Le type d'armature choisi dépend des méthodes de fabrication et des conditions de service.
- Le fourreau (revêtement extérieur): celui-ci constitue l'élément le plus à l'extérieur. Il est généralement en caoutchouc quoique pour certains types de tuyaux, le matériau d'armature constitue en même temps le revêtement. Sa fonction première est de protéger l'armature contre les dommages extérieurs.

2. PROPRIETES

Les matériaux utilisés dans la fabrication de boyaux sont le caoutchouc, divers "compounds", des fils et toiles en matières textiles ainsi que certains métaux sous forme de fils ou de tubage flexible enroulé.

2.1 Les caoutchoucs ou élastomères

Les caoutchoucs sont mélangés aux divers produits chimiques afin d'obtenir le renforcement et les propriétés physiques nécessaires pour rencontrer les conditions de service.

De nos jours, il existe un grand choix de polymères de base qui peuvent être utilisés directement ou qui peuvent être mélangés ensemble de sorte qu'il n'y a pratiquement pas de limite au nombre de combinaisons de matériaux ayant des propriétés différentes.

Les cinq types de polymères les plus couramment utilisés, avec leurs principales caractéristiques sont donnés ci-après :

- Néoprène (chloroprène):

Excellente résistance aux intempéries. Combustion lente, bonne résistance à l'huile. Bonnes propriétés physiques.

- Caoutchouc naturel

Excellente propriétés physiques, incluant la résistance à l'abrasion. Ne résiste pas à l'huile.

- Butyl (Isobutylène-isoprène):

Excellente résistance aux intempéries. Faible perméabilité à l'air. Bonnes propriétés physiques.

- Buna (Nitrile-Butadiène):

Excellente résistance à l'huile, résistance modérée aux aromatiques. Bonnes propriétés physiques.

- SBR (Styrène-Butadiène):

Bonnes propriétés physiques, incluant la résistance à l'abrasion. Ne résiste pas à l'huile.

Il existe toutefois plusieurs autres matériaux d'usage courant employés pour les boyaux. Ceux-ci sont généralement employés pour des applications spécialisées. Parmi les principaux, mentionnons les suivants :

- Thiokol (polysulfure organique):
Excellente résistance aux solvants et aux intempéries. Autres propriétés faibles.
- Silicone (Diméthyle de polysiloxane):
Excellente résistance à haute et basse température. Faibles propriétés physiques à température normale.
- Hypalon (Polyéthylène chlorosulphiné):
Excellente résistance à l'azote, aux intempéries et aux acides. Bonne résistance à la chaleur et à l'abrasion. Résistance à l'huile satisfaisante.
- Polyacrylique (Polyacrylate):
Excellente résistance à l'huile et à l'air à haute température. Mauvaise résistance à l'eau et mauvais coefficient d'écoulement à froid.
- Teflon (résine de tétrafluoro-éthylène):
Excellentes propriétés à hautes températures, résistance aux produits chimiques et propriétés physiques.
- Polyisoprène:
Mêmes propriétés que le caoutchouc naturel.
- Viton (Fluorure d'hexafluoro-propylène vinylidène):
Excellente résistance à haute température, particulièrement pour l'huile et l'air.
- Polybutadiène:
Excellentes propriétés à basse température.

2.2 Les fils textiles

Les fils textiles sont employés couramment comme armature pour fournir la robustesse ou la résistance à l'affaissement désiré. Les types de fils utilisés doivent avoir de bonnes propriétés de vieillissement, une résistance dynamique à la fatigue et doivent faciliter l'adhésion.

Les fibres les plus couramment employées sont :

- Les fibres de coton (cellulose naturelle)
- Les fibres de viscose de rayonne (cellulose régénérée)
- Les fibres de cellulose modifiée (cellulose régénérée modifiée)
- Les fibres de verre
- Les fibres de nylon (polyamide)
- Les fibres de polyester
- Les fibres d'amionte.

2.3 Les toiles

Leur utilisation est identique à celle des fils textiles. Toutefois la façon de les introduire dans le boyau diffère de celle des fils étant donné que les toiles ont déjà été tissées.

Les caractéristiques des toiles dépendent du tissage, du matériel utilisé comme fils et du type de tissage.

2.4 Les fils métalliques

Les fils métalliques sont d'abord employés dans les types de boyau où les fibres textiles ne peuvent satisfaire aux contraintes de conception des boyaux ou aux conditions de service auxquels sont soumis les boyaux. Le choix du fil est un compromis destiné à obtenir un produit ayant une durée de vie maximum où la meilleure durée de vie par unité de coût.

Les principaux types de fils employés sont les suivants :

2.4.1 Fils d'acier

Ceux-ci représentent la majeure partie des fils utilisés en raison de leur haute résistance, de leur coût relativement faible et de leur grande disponibilité. Les formes les plus utilisées sont :

- Fils minces
- Fils plats tressés
- Fils câblés
- Fils ronds (les plus couramment utilisés)

- Fils rectangulaires
- Fils semi-ronds

Les fils d'acier sont généralement recouverts soit de cuivre, soit de zinc (galvanisation) soit d'étain.

2.4.2 Fils en alliages

Pour les conditions de service nécessitant une résistance exceptionnelle à la corrosion, à haute et basse température, on emploie fréquemment des fils en acier inoxydable.

2.4.3 Fils en aluminium

Ces fils sont utilisés principalement pour les applications où la légèreté est essentielle.

2.4.4 Fils statiques

Ces fils sont employés lorsqu'il est nécessaire d'empêcher l'électricité statique de s'accumuler et de se décharger sous forme d'étincelle. Ils sont utilisés surtout dans les boyaux servant au transport de produits pétroliers. La liste de matériaux employés comprend le cuivre, l'acier, l'acier inoxydable, le monel, l'aluminium et le cuivre recouvert d'étain.

3. GAMME DE PRODUITS

Suite à une diversification de plus en plus grande de la demande, on a assisté depuis un certain nombre d'années au développement d'un nombre relativement imposant de types de tubes, chaque type permettant de répondre à des besoins particuliers. La majeure partie de ces types de tubes sont flexibles et entrent dans la catégorie des boyaux alors qu'une faible partie consiste en tubes rigides. En faisant varier la composition chimique et en contrôlant les températures, un grand nombre de propriétés pré-déterminées adaptées aux contraintes à satisfaire peut être obtenu. Si on ajoute à cet éventail de propriétés les diverses combinaisons de conduit intérieur, carcasse et revêtement possibles, on obtient une gamme de produits réalisables très importants.

Les boyaux en caoutchouc sont généralement disponibles selon 6 types:

- Enveloppés de toiles
- Enveloppés de fils textiles
- A guipage de fils métalliques

- A renfort métallique et surface intérieure rugueuse
- A renfort métallique et surface intérieure lisse
- A tonades de cordes

Concernant les diamètres, la gamme varie généralement selon les usages auxquels le boyau est destiné et selon les fabricants. Elle s'étend de 3/16 pouce pour les boyaux de soudage à 30 pouces pour les boyaux utilisés pour le dragage par aspiration.

Le tableau X-1 présente à titre indicatif, les principaux types, le nombre de variantes pour chaque type et la gamme des diamètres des boyaux fabriqués par Uniroyal (Canada).

Au tableau X-2, nous présentons le diamètre intérieur, le nombre de guipages, la résistance à la pression et le poids d'une des 2 variantes de boyaux d'eau fabriqués par Uniroyal (Canada).

Concernant les pressions de service, les boyaux sont fabriqués pour répondre à toute une gamme de pression dont la limite supérieure peut atteindre 450 bars et parfois plus dans certains cas pour les types de boyaux utilisés dans les systèmes hydrauliques de levage.

4. PROCÉDES DE FABRICATION

Les boyaux en caoutchouc peuvent être fabriqués de diverses façons : d'une part, selon les caractéristiques recherchées pour chacune des parties du boyau - tube, armature et revêtement - et d'autre part selon les équipements utilisés.

Afin de tenir compte de la relation étroite entre le type de boyau et la méthode de fabrication, nous décrivons ci-après les méthodes les plus couramment utilisées selon le type de boyau fabriqué.

4.1 Boyaux non renforcés

Les boyaux non renforcés sont fabriqués selon le procédé d'extrusion continu identique à celui employé pour les plastiques. Après extrusion, les boyaux ou tubes sont enroulés sur des plateaux circulaires et vulcanisés. Dans certains cas spéciaux, le tube peut être extrudé et vulcanisé en continu.

Si l'on désire un tube parfaitement rond, celui-ci est extrudé en longueurs appropriées de 4 à 16 mètres et est ensuite gonflé sur des mandrins de diamètre désiré. Les mandrins sont ensuite suspendus par leurs extrémités et placés en autoclave pour la vulcanisation.

TABLEAU X-1

Les tubes en caoutchouc

Principaux types, variantes pour chaque type et diamètres intérieurs minimum et maximum des boyaux fabriqués par Uniroyal (Canada)

Principaux types de boyaux	Variantes	Diamètres intérieurs	
		Min. (po.)	Max. (po.)
Boyaux d'air	7	0,20	4,0
Boyaux d'eau	8	0,20	10,0
Boyaux d'arrosage	4	0,50	0,75
Boyaux d'eau-aspiration	3	1,25	15,0
Boyaux d'incendie	8	9,75	3,0
Boyaux de vapeur	8	1,50	2,50
Boyaux pour distribution d'huile et essence	13	0,75	10,0
Boyaux pétro-maritime	4	2,0	12,0
Boyaux pour appareils de forage de puits d'huile	6	2,0	3,5 ⁽¹⁾
Boyaux pour mise en place du béton	1	4,0	24,0
Boyaux à propane et butane	1	0,25	3,0
Boyaux flottants pour transbordement d'huile	1	2	7,0
Boyaux de coffrage pour dalles de béton	1	1,25	8,0
Boyaux pour pulvérisation	2	0,25	0,60
Boyaux de soudage	2	0,20	0,75
Boyaux pour projection de sable	2	0,75	3,00
Boyaux pour aspiration de sable de dragage	2	6,0	30,0
Boyaux de chouffrette d'auto	1	0,50	1,0

(1) 6 à 10 pouces pour les boyaux d'aspiration pour service entre la fosse et la pompe à boue de forage.

Source: Uniroyal (Canada), Catalogue de produits

TABLEAU X-2

Les tubes en caoutchouc

Diamètres intérieur et extérieur, guipages, pression et poids des boyaux "Rockproof" (1) fabriqués par Uniroyal (Canada)

Diamètre intérieur (po)	Guipages	Diamètre extérieur (po)	Pression (lb/po ²)	Poids (lb/pi)
1/2	2	15/16	375	0,31
3/4	2	1 1/4	300	0,49
1	2	1 1/2	300	0,62
1	3	1 5/8	375	0,77
1 1/4	2	1 26/32	200	0,81
1 1/4	3	1 7/8	250	0,93
1 1/2	2	2 1/16	150	0,94
1 1/2	3	2 1/8	250	1,07

(1) Boyaux pour service dur de canalisation d'eau sous haute pression dans l'industrie minière.

Source : Uniroyal (Canada), Catalogue de produits

4.2 Boyaux à plis enveloppés mécaniquement

Le boyau enveloppé consiste d'une toile de renforcement enroulé autour d'un tube en caoutchouc et recouvert d'un caoutchouc protecteur.

Les étapes du procédé de fabrication sont les suivantes :

- Un tube en caoutchouc sans soudure est fabriqué au diamètre et épaisseur désirés par extrusion continue. Ce procédé d'extrusion est identique à celui utilisé pour les plastiques.
- Le tube ainsi obtenu est alors monté sur un mandrin soit en l'étirant sur le mandrin, soit en poussant le mandrin dans le tube en élargissant temporairement ce dernier à l'aide d'air comprimé.
- Parallèlement, le tissu de renforcement, reçu sous forme de rouleau, est imprégné d'un composé de caoutchouc à faible plasticité au moyen d'une calandre à trois cylindres, opération connue dans le milieu sous le terme "frictionnement".
- Les extrémités des tissus frictionnés sont ensuite rapiécées ensemble pour former la longueur nécessaire au nombre de plis désiré.
- Le fourreau est préparé en faisant sur une calandre une feuille mince de un à plusieurs plis d'épaisseur requise.
- Le tissu "frictionné" est alors enroulé sur le tube intérieur de caoutchouc au moyen d'une machine appropriée. Celle-ci consiste en trois longs rouleaux d'acier, deux étant dans une position parallèle fixe dans le même plan horizontal, le troisième étant installé sur des bras mobiles. Un ou deux des rouleaux sont motorisés.

Le tube, supporté par le mandrin, est alors déposé dans l'espace creux entre les deux cylindres inférieurs. Le tissu est fixé au tube, le cylindre mobile est descendu sur le mandrin et l'entraîne dans un mouvement rotatif, en exerçant la pression nécessaire à la formation d'une carcasse compacte.
- L'opération est répétée une seconde fois pour l'application du revêtement sur la carcasse du boyau.
- Le boyau à plis enveloppés devant être gardé sous pression durant la vulcanisation, la pression nécessaire est obtenue au moyen de bandelettes de nylon ou de coton.
- Le boyau est ensuite placé en autoclave pour la vulcanisation sous conditions contrôlées de température, pression et temps.
- Finalement, après refroidissement les bandelettes sont enlevées du boyau vulcanisé et le mandrin est retiré soit hydrauliquement, soit par air comprimé.

Ce procédé est utilisé généralement pour la fabrication de boyaux de 16 mètres de long avec des diamètres compris entre 3/16 et 3 pouces.

4.3 Boyaux fabriqués manuellement

Ces boyaux, qui sont généralement de deux types - renforcés sans fil et renforcés avec fils - sont fabriqués manuellement sur un mandrin d'acier motorisé installé sur une série de cages à deux cylindres.

Le boyau renforcé sans fil est fait des mêmes composantes que celui fabriqué à la machine. Le boyau est fabriqué manuellement lorsque le diamètre désiré est trop grand, lorsque les sections continues désirées sont trop longues ou lorsque des extrémités spéciales sont nécessaires.

Le tube ou conduit intérieur pour les diamètres jusqu'à 4 pouces est habituellement extrudé et monté sur mandrin comme dans le cas de la fabrication à la machine. Pour les diamètres supérieurs à 4 pouces, le tube est obtenu par enroulage et soudure par recouvrement d'une feuille calandree. La toile frictionnée est appliquée à la main sur le tube et enroulé progressivement par rotation du mandrin.

Pour le boyau renforcé avec fils, les fils, plats ou ronds, sont placés par enroulement à mi-chemin environ dans les plis de tissu.

4.4 Boyaux guipés ou spiralés

Ces boyaux sont fabriqués en guipant des cordes de fibres ou des fils sur le tube. Les couches de cordes sont disposées dans des directions opposées pour chaque pli dans le cas des boyaux tressés. Quant au boyau à couches spirallées, il a des plis alternés.

4.4.1 Boyaux guipés et spiralés verticalement

Le boyau guipé verticalement tire son nom du fait que les supports de bobines de la machine à guiper sont disposés verticalement et que le tube émerge verticalement de la machine. Le nombre de supports peuvent être généralement de 16, 20, 24, 36, 48 et 64 dépendant de l'importance de la machine.

Le boyau spiralé verticalement est en fait une expression terminologique pour désigner les boyaux fabriqués en grande longueurs continues, même si sur certaines machines le tube circule horizontalement.

Le boyau spiralé est fabriqué en posant des couches de fibres ou de fils sur un tube avec des plis alternés. Le procédé pour fabriquer des boyaux guipés ou spiralés verticalement varie selon les techniques de manutention du tube et selon la méthode de vulcanisation, les opérations de guipage ou de spiralage demeurant les mêmes.

Les méthodes peuvent être définies comme suit :

- Manutention :
 - avec tube extrudé non supporté
 - avec tube extrudé supporté par un mandrin flexible (en caoutchouc ou en plastique)
- Vulcanisation :
 - avec chemise en plomb
 - avec moule en acier (très peu utilisé)
 - sans moule avec eau et vapeur (très peu utilisé)

4.4.1.1 Méthode de manutention avec tube non supporté

Selon cette méthode, le tube est extrudé en grandes longueurs continues et est enroulé sur un tambour. Celui-ci est ensuite installé sur une machine à guiper ou sur un bobinoir à spiraler. Après que le renforcement eut été appliqué, le boyau est placé dans une extrudeuse à caoutchouc qui applique un fourreau en caoutchouc sans soudure.

4.4.1.2 Méthode de manutention avec mandrin flexible

Cette méthode est identique à la précédente sauf que le tube est extrudé sur un mandrin flexible.

4.4.1.3 Méthode de vulcanisation avec chemise en plomb

Cette méthode emploie une chemise au coffrage en plomb sur le boyau et qui sert de moule durant la vulcanisation. La chemise est obtenue en faisant passer le boyau dans une presse ou une extrudeuse à plomb. La surface intérieure de la chemise peut être lisse ou corruguée dépendant du fini de surface de boyau désiré.

Si le tube n'est pas supporté par un mandrin, on applique une pression à l'intérieur du tube, laquelle pousse les trois éléments-tube, renforcement et fourreau-contre la chemise en plomb. Le tout est alors placé dans un four d'étuvage. Après la vulcanisation, la chemise est enlevée et le plomb est réutilisé.

Si le tube est supporté par un mandrin flexible, les éléments du boyau sont comprimés entre la chemise et le mandrin intérieur lors de l'application de la chemise. Le mandrin remplace alors la pression intérieure employée lors que le tube est non supporté.

Le reste des opérations est identique au cas précédent, le mandrin flexible étant expulsé par pression hydraulique.

4.5 Boyaux tricotés verticalement

Les boyaux tricotés verticalement sont fabriqués par tricotage de fibres textiles sur le tube. Divers types de tricots peuvent être effectués. Ce type de boyou est fabriqué selon la méthode avec tube non supporté décrite à la sous-section précédente.

Pour les boyaux tricotés de forme courbée tels des boyaux de radiateurs pour véhicules-moteurs, le boyou est coupé à la longueur voulue, placé sur un mandrin en métal ayant le diamètre et la forme désirés et finalement placé dans un appareil d'étuvage.

4.6 Boyaux en matières thermoplastiques fabriqués verticalement

Les boyaux dont le tube et le fourreau sont constitués de matières thermoplastiques sont fabriqués selon la méthode avec tube non supporté et le renforcement peut être appliqué ou moyen de tricoteuses, de machines à guiper ou à spiraler.

Il n'est toutefois pas nécessaire de vulcaniser puisque le tube et le fourreau sont en matières thermoplastiques.

4.7 Boyaux guipés ou spiralés horizontalement

Ces boyaux sont fabriqués avec des machines disposées de façon à permettre le guipage ou le spiralage dans un plan horizontal. Cette disposition est plus avantageuse lorsque des mandrins rigides en acier sont utilisés pour former la partie creuse du boyou. De plus le tricotage ou spiralage horizontal permet d'obtenir des caractéristiques suivantes qu'il est difficile d'obtenir avec les techniques verticales :

- Contrôle serré du diamètre intérieur
- Contrôle serré de l'angle de guipage, qui à son tour contrôle le changement de longueur du boyou lorsqu'il est mis en pression
- Obtention de résistances à l'éclatement plus élevées

4.8 Boyaux enveloppés à longues sections sans mandrin

Ce type de boyou est fabriqué habituellement dans les diamètres inférieurs à 7/16 de pouce et est ordinairement limité à un maximum de 5 plis de toile légère. N'étant pas fabriqué sur un mandrin solide, il peut être produit en longues sections continues. La méthode consiste à extruder un tube de section longue de façon identique à celle employée pour le boyou guipé verticalement. Le tube est ensuite enroulé sur des plateaux. Il est alors gonflé avec une faible pression d'air, celle-ci jouant en quelque sorte le rôle de mandrin.

La toile est alors appliquée sur le tube (obliquement à angle aigu) et ce dernier est tourné sur toute sa longueur par des courroies spéciales disposées à un angle prédéterminé.

Le revêtement extérieur est ensuite appliqué par une extrudeuse avant d'être vulcanisé.

4.9 Méthode par le vide

Selon cette méthode, le tube obtenu par extrusion est placé sur un mandrin épousant la forme finale désirée pour le tube vulcanisé. Les mandrins sont pourvus de trous de telle sorte que, lorsqu'ils sont placés dans l'appareil à vulcaniser, le vide se fasse à l'intérieur. La pression de la vapeur dans l'appareil exerce alors une force différentielle qui force le tube à prendre la forme du mandrin tout en fournissant la température nécessaire à la vulcanisation.

4.10 Autres méthodes

Parmi les autres méthodes mentionnons la fabrication sur métier à tisser "Chemack" horizontal ou vertical et la fabrication par moulage dans un moule fermé hermétiquement avec mise en forme du tube contre les parois du moule par introduction d'un fluide sous pression (air, vapeur, ou autre) à l'intérieur du tube.

5. NORMES

Les normes utilisées pour les boyaux en caoutchouc sont les suivantes :

5.1 ISO (Organisation internationale de normalisation)

No. R. 1307, R 1402

5.2 ASTM (American Society for Testing and Materials)

No. D-296, D-380, D-571, D-622, D-1050, D-1680, D-2769

5.3 AFNOR (Association française de normalisation)

No. NFT 47-110, NFT 47-111, NFT 47-112, NFT 47-113, NFT 47-114
NFT 47-130, NFT 47-201

5.4 BSI (British Standard Institution)

No. 1155, 1882, 2775

5.5 DIN (Deutscher Normenausschuss)

No. 4815, 8541, 73379, 73411, 74310

6. TRAITEMENTS DE SURFACE

Compte tenu de la nature de caoutchouc, et des méthodes de fabrication utilisées, aucun traitement de surface n'est nécessaire après la vulcanisation.

7. ASSEMBLAGE

Les accouplements de boyaux en caoutchouc sont généralement classifiés en deux catégories.

- Les accouplements réattachables
- Les accouplements non réattachables

7.1 Les accouplements réattachables

On définit ainsi les accouplements qui peuvent être installés facilement sur chantier et qui peuvent être détachés et réattachés si nécessaire. Ils sont employés surtout pour les boyaux d'application générale comme le transport d'air, d'eau, de gaz, d'huile, etc. à basse pression.

Les types les plus couramment utilisés sont décrits ci-après :

7.1.1 Les accouplements à tige courte

Ces accouplements sont utilisés pour des applications à basse pression ne dépassant pas 3,5 bars pour des diamètres supérieurs à 2 pouces.

La tige corruguée est fixée au boyau au moyen d'une bague ou serre-joint à fil ou à boulon.

7.1.2 Accouplements à tige longue

Ceux-ci sont employés pour les usages à moyenne pression ne dépassant pas 7 bars pour des diamètres de boyau supérieur à 4".

La tige corruguée est assez longue pour permettre l'emploi de deux serre-joints à chaque extrémité.

Pour les applications à haute pression, les serre-joints sont attachés à la tige de telle façon qu'il est impossible que la tige soit expulsée du boyau aussi longtemps que le serre-joint demeure intact.

7.1.3 Accouplements de type à compression

Le diamètre extérieur de l'anneau de serrage utilisé avec ce type d'accouplement est conique, l'extrémité la plus grande étant du côté de la tige. Le collet à compression fileté qui entoure le boyau possède une conicité intérieure correspondante. Lors que le collet est serré, l'anneau est comprimé, ses dentelures étant pressées contre la surface extérieure du boyau. Ce type d'accouplement est généralement utilisé pour les boyaux de camions et de wagons-citernes.

7.1.4 Autres types d'accouplements réattachables

Parmi les autres types, mentionnons les accouplements à tige filetée avec manchon à compression, et ceux avec tige simplement poussée à l'intérieur du boyau, sans serre-joint et finalement ceux utilisés avec les boyaux à incendie, qui sont de type à anneau à expansion.

7.2 Accouplements non réattachables

Ces accouplements sont généralement de trois types :

- Accouplements emboutis sur l'extérieur du boyau
- Accouplements à expansion interne
- Accouplements intégrés

7.2.1 Accouplements emboutis

Ces accouplements sont installés avec des outils spéciaux pour emboutir la section femelle et comprimer le boyau. Ils sont utilisés avec les boyaux à haute pression dans certaines applications spéciales.

7.2.2 Accouplements à expansion interne

Ce type d'accouplement est employé avec les boyaux de camions et wagons-citernes et est fabriqué de telle sorte que la pression interne presse ses extrémités contre le paroi interne des boyaux.

7.2.3 Accouplements intégrés

Les boyaux de grands diamètres et les tuyaux bridés sont habituellement raccordés au moyen de manchons fabriqués à partir de tuyaux standard en acier. L'extrémité du manchon extérieur au boyau est filetée de sorte que le manchon peut être vissé aux brides. La portion interne du manchon possède une extrémité arrondie et est soit lisse, soit munie de rainures. Un, deux ou trois serres-joints peuvent être utilisés. Pour certains boyaux, le manchon est intégré au boyau de façon à former un seul ensemble vulcanisé, ce qui rend presque impossible une expulsion du manchon hors du boyau.

8. UTILISATIONS

Les boyaux sont utilisés dans l'industrie pour le transport de pratiquement tous les matériaux qui s'écoulent dans des conditions normales de température. De nos jours, les boyaux servent à l'écoulement des matières classés en cinq grandes catégories : air, eau, vapeur, huiles et produits contre l'incendie. Le tableau X-1 présente une liste des principaux types de boyau pour différents usages.

CHAPITRE XI

LES TUBES DE VERRE

1. GENERALITES

Le verre est connu depuis la haute antiquité, mais pendant longtemps il ne fut utilisé que sous la forme de récipients ou de vitraux.

Ces trente dernières années ont vu son utilisation se développer considérablement dans l'industrie, parallèlement à l'évolution de la technique verrière.

Le développement de l'utilisation du verre dans l'industrie est conjointe à l'apparition des borosilicates, dont les caractéristiques présentent des possibilités très supérieures à celles des verres connus antérieurement. A l'heure actuelle, il existe différents types de verre utilisés pour la fabrication de tubes, dont un des plus connus est sans doute le "Pyrex". Ils sont surtout utilisés dans les installations de laboratoire et dans certains procédés de transformation de produits chimiques.

2. PROPRIETES

Le verre généralement utilisé pour la fabrication des tubes est un borosilicate ne renfermant ni plomb, ni arsenic, ni zinc, et dont la composition chimique est approximativement la suivante: 80% de silice, 13% d'anhydride borique, 2,25% d'alumine, 0,05% d'oxyde ferrique, 3,5% de soude et 1,15% de potasse.

Le verre borosilicate est un verre neutre à haute résistance hydrolitique, un verre dur à point de ramollissement élevé et un verre peu dilatable ayant une bonne résistance aux chocs thermiques (400° à 500°C). De plus sa résistance à la dévitrification résultant de sa composition chimique en fait un verre facile à travailler au chalumeau sans risques de noircissement, coloration ou cristallisation. Il offre également une stabilité élevée en présence de tous les acides et alcalis de PH 8 et moins, sauf pour les acides hydrofluoriques et phosphoriques. Finalement, il est transparent. Par contre il résiste mal à la pression et aux chocs.

3. GAMME DE PRODUITS

Les tubes de verre sont fabriqués dans les diamètres nominaux compris entre 12 et 1000 mm quoique la plupart des fabricants se limitent à une gamme variant de 12 à 600 mm.

Le tableau XI-1 présente à titre d'exemple les caractéristiques des tubes en verre fabriqués par "L'Équipement Industriel en verre spéciaux" (France).

TABLEAU XI - 1

Tubes de verre

Caractéristiques des tubes de verre "Pyrex" fabriqués par "L'Équipement industriel en verres spéciaux (France)".

Diamètre nominal (mm)	Pression de service (Kg/cm ²)	Choc thermique maxima (°C)	Poids (Densité 2,23) (Kg/m)
12	4,5	100	0,420
25	4,5	100	0,875
40	3,5	100	1,400
50	3,5	100	1,880
75	3,5	100	2,980
100	2,5	100	5,500
150	1,4	100	9,000
225	1,0	100	12,000
300	1,0	75	14,000
400	0,8	75	21,000
500	0,6	75	31,000
600	0,4	75	38,000
1,000	1,0	80	150,000

Sources : "L'Équipement industriel en verres spéciaux (France), Catalogue de produits

4. PROCEDE DE FABRICATION

Le procédé de fabrication des tubes de verre commence avec la fusion des divers éléments de composition mentionnés à la section 2. La fusion, ou fonte, est suivie de l'affinage destiné à éliminer les bulles, et de la braise, destinée à ramener le verre à la température de façonnage qui se fait pendant que le verre est plastique.

Fonte, affinage et braise ont lieu successivement dans des pots ou creusets (fabrication discontinue); dans la fabrication continue, on utilise des fours à bassin. La recuisson supprime les tensions qui auraient pu naître au cours du refroidissement et qui rendraient les tubes exagérément fragiles.

Le tube proprement dit est obtenu par soufflage et étirage simultanés. Le verre en fusion s'écoule, de la cuve sur un mandrin rotatif à l'intérieur duquel on souffle de l'air. La forme creuse ainsi obtenue est entraînée sur des galets dans un tunnel retardant le refroidissement, à la sortie duquel, il est étiré par une étireuse à courroies. Le tube de verre chaud est ensuite coupé par choc thermique à l'aide d'un toucheur à bras rotatif en métal refroidi dont la vitesse de rotation détermine la longueur du tube. Celui-ci est ensuite soumis au gerbage.

5. NORMES

Les normes les plus couramment utilisées sont les suivantes :

5.1 ASTM (American Society for Testing and Materials)

No. C-599, C-600, C-601

5.2 AFNOR (Association française de normalisation)

No. NF B 35-033

5.3 BSI (British Standard Institution)

No. 2598

6. TRAITEMENTS DE SURFACE

Le verre, de part sa nature, ne nécessite aucun traitement de surface.

7. ASSEMBLAGE

Les tubes en verre sont assemblés entre eux généralement au moyen de joints à compression ou de brides à compression boulonnées.

Les joints à compression sont habituellement constitués d'une coquille en acier inoxydable, d'un épais collet en caoutchouc à l'intérieur et d'une bague d'étanchéité en "Teflon". Lorsque l'écrou (un seul) est serré, le collet en caoutchouc presse la bague de "Teflon" contre les extrémités des tubes à raccorder, chaque extrémité est légèrement évasée et formée en bourrelet.

Dans le cas des brides boulonnées, les extrémités des tubes sont de forme conique avec des bagues d'étanchéité auto-ajustable tenues en place par les boulons de la bride. Le nombre de boulons varie de 3 à 6 selon le diamètre. Lorsque le tube de verre est raccordé à un tube métallique, le raccordement est fait par perçage d'une bride vierge aux dimensions circulaires des boulons de la bride à compression, en insérant un joint et en procédant, pour le reste, comme dans le cas précédent.

Pour les diamètres importants, le tube de verre est également fabriqué avec les abouts mâle et femelle (joint à emboîtement).

8. UTILISATIONS

Le tube de verre est surtout utilisé dans les installations de laboratoire, soit pour l'expérimentation, soit pour l'évacuation des produits chimiques, en raison de sa bonne résistance à la corrosion.

Sa transparence le fait également rechercher dans les usines de transformation où l'inspection visuelle des fluides transportés est nécessaire. C'est le cas entre autres pour le transport du lait et de certains autres produits alimentaires.

CHAPITRE XII

LES TUBES ET TUYAUX EN BOIS

1. GENERALITES

Historiquement, l'emploi de tuyaux en bois date de l'Ancienne Egypte où ils servaient au transport de l'eau. Un tuyau en bois datant de 1 500 à 2 000 ans a été trouvé dans le désert de Lybie dans un état de conservation remarquable. Plus près de nous, plusieurs systèmes d'aqueduc tant en Angleterre qu'aux Etats-Unis, ont été construits aux 17^e et 18^e siècles avec des tuyaux constitués de troncs creux. De nos jours les tuyaux (on devrait plutôt parler de conduites) en bois sont constitués de lattes assemblées et ceinturées de bandes d'acier.

2. PROPRIETES

Le type de bois généralement utilisé est le sapin Douglas. Ses principaux avantages sont sa disponibilité en de grandes dimensions et en grandes longueurs, sa robustesse, sa résilience, sa durabilité et sa grande résistance à l'eau. De plus, c'est l'un des peu nombreux types de bois durables qui peuvent subir un traitement de préservation adéquat et de longue durée.

Le tuyau en bois résiste bien à la corrosion et à l'abrasion, ne se dilate pas, possède un très bon coefficient d'écoulement. D'assemblage aisé, il est facilement transportable dans les endroits difficiles d'accès où il peut être assemblé sur place.

Les conduites en bois ne sont toutefois jamais enterrées.

3. GAMME DE PRODUITS

Les tuyaux en bois peuvent être fabriqués dans des diamètres compris entre 2 et 288 pouces. L'épaisseur varie selon le diamètre et aussi les pressions à supporter. Ainsi pour des diamètres de 2, 6, 12 et 18 pouces, les épaisseurs sont respectivement de 1 1/2, 2 5/8, 3 5/8, et 4 5/8 pouces. Quant à la longueur des lattes, elle varie avec l'épaisseur nominale et est par conséquent en relation directe avec la résistance du tuyau. Plus longue est la latte, plus le tuyau devient un tube continu. Ainsi pour des épaisseurs respectives de latte de 2 à 4 pouces, la longueur minimum est environ de 3,5 et 4,5 mètres. La pression maximum pouvant être satisfaite par un tuyau en bois varie inversement avec le diamètre du tuyau et est limité uniquement par le minimum d'intervalle entre les bandes qu'il est physiquement possible de réaliser. Ainsi un tuyau de 2 pieds de diamètre peut résister à une colonne d'eau de 130 mètres environ alors qu'un tuyau de 18 pieds (5,5 mètres) résistera à une colonne d'environ 50 mètres.

4. PROCEDE DE FABRICATION

Tel que mentionné précédemment, la conduite en bois est fabriquée sur chantier et repose sur des socles en béton ou en bois qui la stabilisent. Avant d'être assemblées, les lattes sont coupées aux dimensions nécessaires et imprégnées d'une substance de protection, habituellement de l'huile créosotée. Afin d'obtenir une imprégnation uniforme, les lattes sont légèrement incisées.

La première étape d'assemblage consiste à réaliser le demi-cercle inférieur de la conduite par sections assez longues. Ensuite on utilise des formes spéciales qui reposent sur la section inférieure pour compléter l'assemblage de la section supérieure.

Lors de l'assemblage, les lattes sont emboîtées les unes dans les autres grâce à des rainures et des languettes. L'assemblage d'une section terminée, deux ou trois bandes d'acier sont installées et serrées en place pour permettre à la section de conduite de conserver sa forme ronde. Les formes sont ensuite enlevées, et on procède à l'installation complète des bandes d'acier.

5. NORMES

Il n'existe, à notre connaissance, aucune norme officielle concernant les conduites en bois, les seules spécifications étant celles des fabricants.

6. TRAITEMENTS DE SURFACE

Tel que mentionné précédemment, les lattes sont imprégnées à chaud de créosote. Ce traitement doit être conforme, entre autres, aux spécifications de l'"American Wood Preservers Association".

7. ASSEMBLAGE

La conduite en bois ne nécessite aucun accouplement particulier, étant assemblée à partir de lattes avec languettes et rainures. Pour les raccordements à des pièces d'équipement ou à des canalisations fabriqués de matériaux différents, on utilise des brides boulonnées.

8. UTILISATIONS

Le bois est utilisé surtout pour les grosses conduites servant à l'alimentation de turbines, ou l'alimentation en eau des réseaux urbains. On l'emploie aussi pour l'évacuation des déchets industriels et le transport de certains liquides corrosifs. Dans l'industrie minière il a été employé pour le transport des résidus en raison de sa bonne résistance à l'abrasion.

CHAPITRE XIII

LES TUBES ET LES TUYAUX EN MATERIAUX DIVERS

1. GENERALITES

Outre les matériaux employés pour la fabrication des tubes et tuyaux décrits dans les chapitres précédents, lesquels satisfont à la presque totalité du marché des produits tubulaires, un certain nombre d'autres matériaux sont utilisés. Les principaux sont le nickel et ses alliages (Monel, Inconel, Hastelloy), le titane, le tantalum, le zirconium, la porcelaine et la céramique. Ces matériaux sont surtout employés pour le transport de produits fortement corrosifs dans les industries chimiques et pétrochimiques où souvent les conditions de service s'avèrent particulièrement difficiles pour les matériaux usuels tels que l'acier, le cuivre ou l'aluminium.

A part ces matériaux, il faut également mentionner les tubes en carton qui sont principalement utilisés comme fourreaux dans les petits diamètres, et, dans les diamètres plus grands, comme coffrage lors du coulage du béton.

Une brève description de ces matériaux et les tubes fabriqués à partir de ces matériaux est donnée ci-après.

2. LES TUBES ET LES TUYAUX EN NICKEL ET ALLIAGES DE NICKEL

Le nickel et ses alliages possèdent une bonne résistance à plusieurs milieux réducteurs et contenant des chlorures, lesquels attaquent l'acier inoxydable. La résistance du nickel aux milieux réducteurs est accrue par la présence de cuivre et de molybdène. Si on ajoute du chrome au nickel (Inconel), l'alliage ainsi obtenu permet de résister à une grande variété de milieux oxydants ou réducteurs. Si on ajoute du molybdène, (Hastelloy C) on obtient une résistance encore plus forte aux milieux réducteurs ou oxydants de même qu'une très bonne résistance à la corrosion par cavitation causée par les chlorures.

La résistance à la corrosion par cavitation des alliages de nickel est généralement supérieure à celle de l'acier inoxydable, mais par contre ils sont davantage sujets à la corrosion intergranulaire.

Le tableau XIII - 1 ci-dessous indique la composition chimique du nickel et de ses principaux alliages.

Les tubes de nickel et de Monel sont fabriqués sans soudure selon des techniques identiques à celles employées pour l'acier et sont fournis en quatre trempes: tel qu'étiré, stabilisé à basse température, stabilisé à haute température et recuit

TABLEAU XIII - I

Tubes en nickel et alliages de nickel

Composition chimique du nickel et de ses principaux alliages

Matériau	Ni	Cu	Cr	Fe	Mn	Si	C	Mo	Autres
Nickel	99,4	0,1	-	0,15	0,2	0,05	0,1	-	-
Nickel (coulé)	97,0	0,3	-	0,25	0,5	1,5	0,5	-	-
Monel	67,0	30,0	-	1,4	1,0	0,1	0,15	-	-
Inconel	79,5	0,2	13,0	6,5	0,25	0,25	0,08	-	-
Hastelloy B	62,0	-	-	6,0	-	-	-	30,0	0,7 Co
Hastelloy C	58,0	-	14,0	6,0	-	-	-	17,0	5,0 W
Hastelloy D	85,0	3,0	-	-	-	10,0	-	-	1,5 Al

doux. L'Inconel a trois trempes disponibles: tel qu'étiré, normalisé et doux.

Les tubes étirés à froid sont généralement fabriqués dans des diamètres extérieurs compris entre 1/2 et jusqu'à 4 pouces pour l'Inconel, 4 1/2 pouces pour le Monel et 8 pouces pour le nickel. L'assemblage peut se faire par raccord fileté ou à bride, ou par soudure bout à bout selon la méthode à l'arc ou oxyacétylénique.

En ce qui concerne les tubes en alliages "Hastelloy", ils sont fabriqués par moulage dans le cas des tubes épais et par soudage de plaques mises en rond pour les tubes de faible épaisseur (soudage oxyacétylénique ou à l'arc sous protection de gaz inerte).

Les tubes sont généralement fabriqués dans les diamètres nominaux de 1/8 à 4 pouces pour les tubes épais et dans les diamètres extérieurs de 1/2 à 4 1/2 pouces pour les tubes minces.

3. LES TUBES ET TUYAUX EN TITANIUM

Depuis son introduction sur le marché dans les années 1950, le titanium est reconnu pour sa résistance à la corrosion.

Comme les aciers inoxydables, il dépend, pour sa résistance à la corrosion, d'une pellicule oxydée. Il se comporte donc mieux en milieu oxydant, tel l'acide nitrique chaud. Il est généralement fabriqué dans les diamètres compris entre 1/8 et 24 pouces de diamètre extérieur et selon diverses épaisseurs.

4. LES TUBES ET LES TUYAUX EN TANTALUM

Le tantalum est le plus utilisé des métaux réfractaires dans les industries chimiques.

La plupart de ses applications impliquent des solutions acides qui ne peuvent être transportées dans des tuyauteries en acier ou en alliages de nickel. On l'emploie fréquemment aussi comme revêtement intérieur pour tuyaux en acier au carbone.

5. LES TUBES ET LES TUYAUX EN ZIRCONIUM

Le zirconium et ses alliages sont surtout utilisés dans le domaine nucléaire où il est nécessaire d'avoir une bonne résistance à l'eau et à la vapeur à haute température, ainsi que de bonnes propriétés mécaniques. Il dépend lui aussi d'une mince pellicule d'oxyde pour sa résistance. On l'emploie également comme revêtement intérieur pour tuyaux en acier au carbone.

6. LES TUYAUX EN PORCELAINE

La porcelaine chimique est un composé d'argile plastique, de kaolin, de quartz, de feldspath et autres minéraux choisis pour leurs propriétés spéciales. Sa surface est vitrifiée au moyen de certains fondants.

Les tuyaux en porcelaine peuvent opérer à des températures de l'ordre de 300°C, mais ne peuvent subir de chocs thermiques excédant 32°C sans se briser.

Ils sont disponibles dans des diamètres intérieurs de 1/2 à 10 pouces et dans des longueurs maxima de 60 pouces. Les tuyaux sont assemblés au moyen de brides cimentées à la porcelaine.

7. LES TUYAUX EN CERAMIQUE

Ce matériau résiste à tous les acides sauf l'acide hydrofluorique et la caustique chaude fortement concentrée. Par contre, il résiste mal aux températures élevées et aux chocs thermiques. On l'emploie surtout pour l'évacuation de déchets industriels.

Les tuyaux en céramique habituellement fabriqués sont de deux types: à joint par emboîtement, et à joint par bride conique cimentée et leur diamètre est généralement compris entre 1 et 8 pouces. Quant à leur longueur, elle varie de 24 à 60 pouces.

Pour les applications sujettes à des contraintes mécaniques, ces tuyaux sont souvent protégés par une enveloppe métallique.

8. LES TUBES EN CARTON

Les tubes en carton sont employés à une foule d'usages allant du tube-support pour rouleaux de papier de machines comptables ou de chalumeau à boire, jusqu'au tube de 42 pouces de diamètre, de 0,400 pouces d'épaisseur et de 10 mètres de longueur servant de forme pour le coulage de colonnes rondes en béton. Ils servent également à la production de boîtes rondes, piles électriques, corps de cartouches, pour l'emballage postal, etc. Sous forme conique ou cylindrique, ils sont employés en grande quantité pour le bobinage du fil dans l'industrie textile.

Ces tubes sont fabriqués par enroulement transversal parallèle ou par enroulement en spirale. L'intérieur peut être lissé ou poli, et l'extérieur feutré. Le tube peut aussi être perforé et fileté.

PARTIE II
LES USAGES

CHAPITRE XIV INDUSTRIE DU BATIMENT

1. DEFINITION

L'industrie du bâtiment offre un vaste champ d'action pour l'utilisation des tubes et tuyaux. Ceux-ci sont souvent étroitement associés à la construction et à l'aménagement des différents bâtiments : maisons, bâtiments de ferme, édifices publics, industriels et commerciaux.

2. USAGES

Les usages dont il est question dans ce chapitre sont limités exclusivement à ceux qui sont directement reliés soit aux services généraux que l'on retrouve normalement dans les bâtiments : eau potable, évacuation, chauffage, ventilation, soit à la construction comme telle : éléments de structure, pieux de fondation, etc.

Ainsi, dans les bâtiments industriels ou autres de nature similaire, on exclut tous les usages de tubes et tuyaux qui concernent directement le processus de fabrication. Sont également exclus les usages où le tube est employé comme élément constitutif d'un appareil ou pièce d'équipement quelconque, même si ces derniers peuvent être d'application dans le bâtiment (e.g. appareils de chauffage). ⁽¹⁾

Les usages de tubes et tuyaux que l'on retrouve dans le secteur du bâtiment et dont il sera question dans le présent chapitre sont les suivants :

- Canalisations : eau froide
 eau chaude
 chauffage
 gaz
 évacuation des eaux usées
 évacuation des eaux pluviales
 protection contre l'incendie
 drainage de fondations
 ventilation
 conduits électriques
- Structures : éléments de charpente
 pieux de fondation
 supports
 tubes d'ornementation

(1) Ces différents usages font l'objet de deux chapitres de ce rapport :
chapitre XX : Tuyauteries industrielles
chapitre XXI : Equipements industriels et pièces diverses

Au niveau des canalisations, nous traitons exclusivement de celles installées à l'intérieur des bâtiments (sauf le drainage), les raccordements entre les bâtiments et les réseaux publics (eau, gaz, égouts) étant assimilés à ces derniers sont traités au chapitre portant sur les services publics.

Comparativement aux autres usages considérés ailleurs dans ce rapport, les usages associés au secteur du bâtiment constituent probablement la catégorie qui est soumise au plus grand nombre de règlements; ceux-ci concernent non seulement les matériaux devant être employés mais également tous les éléments des divers réseaux, tant au point de vue de leur fabrication qu'au point de vue aménagement, pose etc.

Cette réglementation varie d'un pays à l'autre et même d'une région ou d'une ville à l'autre. Elle se traduit soit par des normes nationales (ex. AFNOR) soit par des codes de plomberie ou autres spécifications de même nature.

En raison de la nature précise et souvent rigoureuse de ces règles, il s'ensuit que les contraintes d'utilisation de même que le choix des matériaux sont fonction de ces règles et ainsi peuvent varier d'un endroit à un autre. Dans le cours du texte, nous mentionnerons s'il y a lieu certaines normes d'utilisation.

2.1 Distribution d'eau froide et d'eau chaude

Les réseaux de distribution d'eau froide et d'eau chaude à l'intérieur des bâtiments constituent la partie d'une installation de plomberie qui sert à fournir une quantité d'eau adéquate et à température voulue à tous les appareils d'utilisation et ce en tous les points d'un bâtiment.

Un réseau typique, que ce soit d'eau froide ou d'eau chaude, peut être divisé en un certain nombre de composantes, qui sont généralement les suivantes :

- Conduite principale - Tuyauterie d'allure horizontale partant du compteur général (ou de l'arrivée ou branchement au réseau public), généralement placée au plafond du sous-sol et sur laquelle sont raccordées les prises partielles d'alimentation des divers services.
- Colonne montante ⁽¹⁾ - Tuyauterie d'allure verticale partant soit de la ceinture principale, soit d'une nourrice et sur laquelle sont raccordés les branchements distribuant l'eau aux étages.
- Conduite d'étage ou d'appartement - Tuyauterie d'allure horizontale partant d'une colonne montante située généralement soit au niveau du sol, soit du plafond des pièces d'un appartement ou d'un étage et permettant l'alimentation en eau des appareils de cet appartement ou de cet étage.

(1) Si le système de distribution est de type "en parapluie", la conduite principale est reportée à l'étage le plus élevé du bâtiment. Les colonnes alimentant les différents étages prennent alors le nom de colonnes descendantes.

- Branchement d'appareil - Tuyauterie partant d'une conduite d'étage ou d'une colonne montante et amenant l'eau directement aux appareils d'utilisation.
- Conduite d'alimentation - Est ainsi défini tout tuyau transportant l'eau de l'appareil de mesure ou d'arrêt général jusqu'à un appareil d'utilisation.

A ces canalisations ou tuyauteries il faut évidemment ajouter les divers dispositifs qui assurent la bonne marche du réseau: robinet d'arrêt général, nourrices, robinets de vidanges, dispositifs antibélier, et également les raccords, tés, coudes etc.

Dans le cas de la distribution d'eau chaude, notons que la tuyauterie doit être installée de façon à ce qu'il y ait une circulation continue de l'eau afin de maintenir sa température, ce qui nécessite une conduite de retour.

2.1.1 Contraintes et normes d'utilisation

Les contraintes générales associées à la distribution d'eau froide ou d'eau chaude sont telles que le réseau particulier d'un bâtiment doit permettre une alimentation normale des divers appareils sans pollution de l'eau, sans interruption, à une température convenable et à une pression aussi constante que possible. L'installation doit avant tout être salubre mais aussi commode, robuste, silencieuse, esthétique et économique. Bien qu'important, il est évident que le seul choix des matériaux ne suffit pas à rencontrer toutes ces conditions. Il faut lui ajouter le choix du schéma, du tracé, des appareils ainsi que le soin apporté à leur mise en oeuvre.

En ce qui concerne les tuyauteries proprement dites, les principales contraintes à tenir compte dans le choix des matériaux sont la corrosion, la dilatation, la résistance à la pression, (service, 3 à 7 bars, et coups de bélier), la résistance à la chaleur et aux chocs thermiques ainsi que la robustesse. interviennent également la disponibilité dans les diamètres ainsi que les coûts d'achat et d'installation.

Parmi ces contraintes la corrosion est certes une des plus fréquentes et des plus importantes car elle engendre presque inévitablement des fuites. Elle provient habituellement :

- de la nature des eaux dont le Ph est inférieur à 7 qui ont pour effet d'amener la formation de trous minuscules (corrosion alvéolaire) sous l'action de l'acide carbonique dissous.
- des courants d'électrolyse produits par des appareils tels que machines à laver chauffe-eau électriques, etc.
- de transport d'acides que l'on effectue dans les installations industrielles et les laboratoires. (1)

(1) Voir chapitre XX "Tuyauterie industrielle"

- de détérioration par couple galvanique qui naît du contact de deux métaux hétérogènes
- d'attaques de matériaux qui corrodent les métaux. Par exemple le fer, le cuivre, le zinc sont attaqués par le plâtre humide, par les oxychlorures de certains sels, les parquets magnésiens, les sulfures de mâchefers; le plomb est attaqué par le ciment, par le bois de chêne ou de châtaignier; l'aluminium par le milieu humide.

Tel que mentionné précédemment il existe de nombreuses réglementations portant sur ces usages et groupées fréquemment dans des "Codes de plomberie", lesquels codes font souvent appel, pour la spécification des matériaux, à des normes dites nationales orientées davantage vers le produit que vers l'usage et dont le champ d'application déborde le domaine du bâtiment. On retrouvera l'énumération de ces normes pour chaque matériau à la partie I du présent rapport. En ce qui concerne les normes d'utilisation comme telles se rapportant aux réseaux de distribution d'eau froide ou chaude mentionnons les suivantes :

AFNOR : No. P41-101, P41-201 à P41-204

BSI : No. CP-310, CP-342

DIN : No. 1988

2.1.2 Choix des matériaux

L'acier, noir ou galvanisé, le cuivre, le CPV et le CPVC sont les matériaux les plus fréquemment utilisés pour les canalisations d'eau froide ou chaude.

Le cuivre est souvent préféré en raison de sa meilleure résistance à la corrosion et de la longévité particulièrement pour les canalisations d'eau chaude où la corrosion est plus élevée en raison de l'oxygénation accrue. Bien qu'il soit quand même attaqué par la corrosion, il l'est à un degré moindre que l'acier galvanisé, ce qui le rend plus économique à long terme que ce dernier.

L'acier noir ou galvanisé, est d'un coût initial moins élevé que le cuivre, mais s'avère moins résistant. En effet il arrive fréquemment que les canalisations d'eau chaude en acier galvanisé ou noir se percent lorsqu'elles sont soumises durant une longue période à une température constante de 180°F. De plus elles s'entartrent assez rapidement, ce qui augmente le coût d'entretien.

Le plomb était autrefois un matériau d'usage courant pour la distribution d'eau chaude et froide. Aujourd'hui cependant, il a presque complètement disparu de ce champ d'application par suite surtout du phénomène suivant, à savoir que la contraction du tuyau de plomb n'est pas exactement identique à son expansion pour une variation de température donnée. Ceci engendre un fendillement du tuyau à son point le plus chaud, provoquant ainsi une défaillance du système.

En raison de ce mauvais comportement son emploi pour les systèmes d'eau chaude a été délaissé et par extension pour les systèmes d'eau froide également, l'emploi de deux matériaux différents étant peu pratiques.

Depuis quelques années, on assiste à une substitution des matières plastiques aux matériaux métalliques pour ce genre d'usage. Le chlorure de polyvinyle fut la première de ces matières à être employée en plomberie pour la distribution d'eau froide, ainsi que pour l'évacuation des eaux usées et la ventilation. Son choix était favorisé par une très bonne résistance à la corrosion et une surface intérieure très lisse du tuyau, ce qui diminue de beaucoup les pertes par friction. Son usage était toutefois limité à la distribution d'eau froide en raison de son mauvais comportement à la chaleur, ce qui l'exclut des réseaux de distribution d'eau chaude et froide, puisque, comme dans le cas du plomb, il n'y avait aucune utilité à installer une canalisation d'eau faite de deux matériaux : du cuivre pour l'eau chaude et de CPV pour l'eau froide.

Après recherches, on développa une résine de vinyle chimiquement modifiée connue d'abord sous le nom de bichlorure de polyvinyle, puis changé pour chlorure de polyvinyle chloré (CPVC) sur les recommandations de l'ASTM. Cette modification de composition permet maintenant d'employer le CPVC et pour l'eau chaude et pour l'eau froide, ce qui a pour effet de rendre l'emploi de matières plastiques beaucoup plus intéressant.

Parmi ses principaux avantages, mentionnons un coût initial inférieur, sa réaction nulle à la corrosion galvanique, sa surface intérieure lisse, sa résistance à l'entartrage et son faible coefficient de transfert de chaleur.

Il existe quand même une certaine prudence quant à son utilisation en raison de sa mauvaise résistance aux chocs et également de son coefficient d'expansion thermique qui est assez élevé, ce qui peut affecter la rigidité du système et provoquer son déplacement dans la structure du bâtiment et, à plus ou moins long terme, amener une rupture.

2.2 Evacuation des eaux usées (1)

Les eaux usées sont celles qui, ayant servi à un usage quelconque, sont à envoyer en dehors de l'habitation ou bâtiment. Cette définition implique les eaux d'égoûts provenant des W-C, les eaux ménagères et les eaux pluviales. Comme dans le cas des réseaux de distribution d'eau chaude ou d'eau froide, les réseaux d'évacuation des eaux usées comprennent plusieurs composantes qui sont généralement :

- Tuyau de chute - Canalisation verticale servant à l'évacuation des W-C (Ø 90 - 100 mm)

(1) Pour les systèmes d'évacuation des eaux usées industrielles, le lecteur voudra bien se référer au chapitre XX "Tuyauteries industrielles".

- Tuyaux de descente d'eaux ménagères - Canalisations verticales servant à l'évacuation des urinoirs, lavabos, bidets, éviers, cuiviers, etc, (\varnothing 50 - 100 mm)
- Tuyau de descente pluviale - Canalisation verticale servant à évacuer les eaux de pluie (\varnothing 60 - 250 mm)
- Collecteur d'appareils - Canalisation d'allure horizontale recueillant les eaux usées et raccordant les différents appareils sanitaires aux tuyaux de chute.
- Collecteur principal - Canalisation d'allure horizontale collectant les différentes chutes et tuyaux de descente d'un bâtiment pour les conduire à l'égout public (\varnothing 160 - 300 mm)
- Ventilation - Partie de tuyauterie prolongeant les tuyaux d'évacuation verticaux en les mettant en communication libre avec l'atmosphère au dessus des locaux habités (\varnothing 50 - 100 mm)
- Ventilation secondaire - Tuyau amenant l'air nécessaire pendant les évacuations et empêchant l'aspiration de la garde d'eau des siphons ⁽¹⁾

Mentionnons ici le développement récent d'un système d'évacuation pour immeubles à étage multiples connu sous le nom de "Sovent". Le principe consiste en une seule colonne de chute pourvue d'un mélangeur spécial situé à chaque étage ainsi que d'un système d'élimination de l'air se trouvant au pied de la colonne. Cette disposition permet d'évacuer au moins le même volume qu'un système conventionnel de même diamètre mais sans la nécessité d'avoir une colonne de ventilation comme c'est le cas dans les installations habituelles. Une réduction appréciable du coût a pu ainsi être réalisée dans de semblables installations ⁽²⁾. Il a été utilisé dans plusieurs immeubles en Europe et en Afrique.

2.2.1 Contraintes et normes d'utilisation

Les canalisations d'évacuation des eaux doivent assurer une évacuation rapide et sans stagnation (sauf les siphons évidemment) des eaux usées chargées de déchets provenant des appareils sanitaires et des eaux de pluie recueillies. Leur parois intérieures doivent donc être lisses pour éviter l'arrêt des déchets et poussières. Les tuyaux doivent de plus être étanches à l'eau et à l'air de façon permanente et durable, ce qui nécessite des joints en conséquence.

D'une façon générale, les mêmes contraintes que pour les réseaux d'eau chaude ou froide s'appliquent ici, sauf pour la résistance à la pression intérieure qui, dans le cas présent, est pratiquement inexistante.

-
- (1) Ce tuyau est employé lorsque descentes et chute sont réunies en une chute unique ce qui oblige à établir une ventilation spéciale pour tous les siphons des appareils autres que les W-C.
 - (2) Le système "Sovent" a été inventé et breveté par M. Fritz Sommer, professeur à l'école des métiers de Berne, en Suisse

La hauteur et les dimensions de l'édifice, ainsi que la conception du système de plomberie sont également des facteurs à considérer.

Finalement on tiendra compte parfois de la facilité de pré-fabrication et de pré-assemblage, qualités qui ont leur importance pour la rapidité de pose et les coûts d'installation.

2.2.2 Choix des matériaux

L'acier, le fer, la fonte, le cuivre, le plomb, l'amiante-ciment, le CPV et l'ABS sont les matériaux les plus généralement choisis pour les tuyauteries d'évacuation et d'évent. L'éventail des matériaux considérés peut toutefois être restreint selon les différentes fonctions des tuyauteries à l'intérieur du système.

La fonte est surtout employée pour les collecteurs principaux ainsi que pour les tuyaux de descente en raison de sa bonne résistance à la corrosion, de sa facilité de pose et de l'étanchéité de ses joints, et aussi pour son coût relativement bas. On l'emploie parfois comme collecteurs d'appareils, mais son usage tend à y être limité en raison de son poids.

L'amiante-ciment peut être employée pour l'ensemble du système quoique son usage soit plutôt restreint aux collecteurs principaux (type assainissement) et parfois aux gouttières et à la ventilation secondaire (type bâtiment). Ses principaux avantages sont sa bonne résistance à la corrosion (ne rouille pas, insensible à la tuberculisation et à la corrosion galvanique et électrochimique), ses parois lisses et une bonne robustesse. De plus il favorise moins la condensation que les tuyaux métalliques, et offre une bonne étanchéité des joints.

Le cuivre est un matériau souvent employé en raison de son poids réduit, sa robustesse, sa compacité, sa bonne adaptation à la pré-fabrication et au pré-assemblage ses parois intérieures lisses, sa bonne résistance à la corrosion, un bon coefficient de frottement à l'écoulement ainsi qu'une haute étanchéité et une bonne résistance des joints. A cela il faut ajouter la facilité et la rapidité de pose. Malgré tous ces nombreux avantages le cuivre demeure un matériau dispendieux, ce qui dans plusieurs cas lui fait préférer d'autres matériaux moins onéreux, entre autres les matières plastiques (ABS et CPV).

Toutefois dans les immeubles à plusieurs étages, il demeure quand même avantageux en raison de sa meilleure robustesse et de sa rigidité plus grande que les plastiques.

L'usage de canalisations en acier pour l'évacuation des eaux usées est peu commun dû surtout à leur tenue passable sous l'agressivité de l'alternance des eaux de vidange et de l'air qui les remplissent successivement. Lorsqu'il est employé, on doit généralement recouvrir l'acier d'une peinture bitumeuse dont l'adhérence toutefois ne reste pas toujours bonne après vieillissement. On peut cependant l'employer avec avantage en raison de son coût peu élevé pour les conduites de ventilation

secondaire où les conditions corrosives sont beaucoup moins fortes (air seulement). Les tubes habituellement employés pour cet usage sont soit des tubes de tarif 1 et 2 (NF E 29-027) soit des tubes minces non filetables (NF E 29-028).

L'évacuation des eaux usées demeure la seule partie des installations de plomberie où le plomb est encore employé de façon notable. Toutefois son usage tend à diminuer constamment au profit du cuivre et des plastiques. En Amérique du Nord, son emploi en tuyauterie de bâtiment a presque entièrement disparu.

Nouvelles venues sur le marché des canalisations pour systèmes d'évacuation, les matières plastiques acquièrent chaque année une part de plus en plus importante du marché. Les résines de chlorure de polyvinyle (CPV) et d'acrylonitrile - butadiène - styrène (ABS) sont celles qui, de loin, sont les plus utilisées comme tuyauteries d'évacuation, et de fait sont en concurrence directe l'une avec l'autre⁽¹⁾. Le coût très avantageux, leurs bonnes caractéristiques d'écoulement, l'absence de corrosion et leur légèreté sont parmi les principaux avantages de ces matériaux. Ils offrent toutefois une résistance modérée aux températures (ABS 180°F CPV 160°F). Le polyéthylène est rarement utilisé pour l'évacuation des eaux usées domestiques en raison surtout de son coût plus élevé.

L'accroissement de leur emploi a cependant été largement freiné par leur exclusion des codes de plomberie et de bâtiment. En Amérique du Nord par exemple, l'opposition farouche des fabricants de tuyaux en fonte ainsi que des unions de plombiers⁽²⁾ a eu pour effet de ralentir et parfois d'empêcher l'acceptation du CPV et de l'ABS par les différents règlements. Un autre facteur fut le manque de standardisation des quelques 54 types d'ABS et des 150 versions environ de CPV, ce qui a souvent pour effet d'amener sur le marché des produits de moins bonne qualité. Finalement, leur coefficient d'expansion thermique élevé et son impact sur la rigidité de l'ensemble du système d'évacuation dans les grands édifices ont également joué contre leur emploi. Dans plusieurs codes, l'emploi des plastiques est limité à des hauteurs équivalent à trois étages pour les tuyaux de chute. A ce problème d'expansion, il faut ajouter celui de l'abrasion qui peut devenir important lorsque la hauteur de chute est grande.

Cependant d'une façon générale on peut affirmer que dans le futur, ces matériaux seront de plus en plus utilisés, surtout si, comme il est prévu, le coût des résines diminue, et leur composition chimique s'améliore.

2.3 Distribution des gaz

La distribution de gaz est effectuée par un réseau de canalisations comprenant plusieurs parties de nature similaire à celles pour l'eau, c'est-à-dire des conduites générales,

(1) En 1970, aux Etats-Unis, les ventes d'ABS furent de 46 000 tonnes environ comparé à 32,000 tonnes pour le CPV.

(2) Par crainte de manque de travail étant donné la rapidité de pose des tuyaux et raccords en plastiques, plusieurs associations ont prétendu que les raccords en matières plastiques étaient peu résistants.

des canalisations d'alimentation de colonnes montantes, des colonnes montantes ainsi que des conduites d'étages. Un tel système est généralement rencontré lorsque l'alimentation est assurée à partir d'un réseau public de distribution. Dans les autres cas où l'alimentation est assurée par des bouteilles, le système de canalisation de distribution est généralement plus simple et de dimensions moins importantes.

En plus des canalisations mentionnées précédemment qui sont habituellement rigides il faut ajouter les tuyaux souples qui servent à relier les appareils d'utilisation aux tuyauteries fixes ou aux bouteilles.

Quatre sortes de gaz peuvent ou sont généralement distribués par canalisations :

- Les gaz manufacturés, dits encore gaz de ville. Ils sont produits dans des fours; le type est le gaz de houille.
- Le gaz naturel. Celui-ci est extrait du sol et contient une forte proportion de méthane et de soufre.
- L'air propané, qui est un mélange d'air et de propane.
- Le propane pur, dit propane commercial.

Les deux premiers sont plus légers que l'air alors que les deux derniers sont plus lourds.

Les diamètres habituellement rencontrés pour les canalisations à l'intérieur des bâtiments varient de 13 à 200 mm selon l'ampleur du réseau, des débits à assurer et des pertes de charges admissibles.

2.3.1 Contraintes et normes d'utilisation

Les canalisations doivent assurer une alimentation suffisante, en débit et en pression des appareils d'utilisation tout en étant assujetties à des conditions de sécurité très sévères, le plus souvent dictées par réglementation. Ainsi la résistance à la corrosion ainsi qu'aux actions mécaniques, physiques, chimiques ou électrolytiques, et une étanchéité absolue constituent les principales contraintes auxquelles sont soumises les tuyaux utilisés et les joints. La résistance à la pression, quoique non négligeable est ici d'importance secondaire en raison du niveau relativement bas de la pression de service dans les bâtiments (régime de basse pression : jusqu'à 0,05 bar). Quoique l'emploi de pressions supérieures (0,05 jusqu'à 4 bars) dans les réseaux de distribution se développe de plus en plus, la diminution de pression est accomplie au moyen de détendeurs de pression installés sur tous les branchements d'édifices. Dans le cas des tuyaux souples de raccordement, les matériaux employés doivent être adaptés à la nature du gaz utilisé et aux diamètres des embouts de raccordement.

Parmi les normes d'utilisation mentionnons les suivantes :

AFNOR	P 45 202
BSI	CP 331
ASA	Z 21.30 et Z 83.1

2.3.2 Choix de matériaux

Les canalisations de distribution de gaz dans le bâtiment sont habituellement en acier noir ou en cuivre.

Ce dernier s'avère généralement préférable en raison de sa bonne résistance à la corrosion, de l'étanchéité de ses joint, et de sa flexibilité.

L'acier noir, quant à lui, est moins coûteux que le cuivre, ce qui favorise son emploi.

Les matières plastiques ne sont pas utilisées en raison du degré élevé d'insécurité qui y est associé concernant surtout la résistance aux chocs et à la chaleur.

Pour les tuyaux souples de raccordement, on fait appel au caoutchouc synthétique ou aux tuyaux métalliques flexibles.

2.4 Drainage de fondation

Un des facteurs contribuant à la salubrité d'un bâtiment est un sous-sol sec. Pour ce faire on doit éviter que les eaux de surface ou souterraines s'infiltrent au travers des murs de fondations ou des planchers de soubassement. Ceci est obtenu par l'installation d'un réseau de drainage de surface et aussi enterré. Le réseau de surface est généralement constitué de tuiles alors que le réseau enterré est fait de tuyaux. Ces tuyaux peuvent être disposés tout autour de l'édifice à une certaine profondeur suivant les conditions du sol (profondeur de la nappe d'eau et de l'importance des fondations).

2.4.1 Contraintes d'utilisation et choix des matériaux

Pour une discussion de ces sujets, le lecteur voudra bien se référer à la sous-section 1.2 Drainage, du chapitre XVI portant sur l'agriculture.

2.5 Chauffage

Il existe différents systèmes de chauffage, à eau, à vapeur, à gaz, électrique, air chaud, etc.

Les systèmes auxquels nous nous intéressons ici sont ceux fonctionnant par circulation d'eau ou de vapeur puisqu'ils sont les seuls à utiliser des canalisations. Dans le cas du chauffage à eau chaude, le système peut être soit indépendant, soit

relié à la distribution d'eau chaude pour usage domestique, ce qui dans un tel cas diminue évidemment les longueurs de canalisation.

Les systèmes de chauffage par eau peuvent être subdivisés en deux grandes catégories.

- Chauffage à circulation d'eau par gravité (ou basse pression).

Dans ce genre de système, la circulation de l'eau se fait premièrement par gravité, circulation thermique produite par une force motrice dépendant de la différence de la densité de l'eau entre les tuyaux d'amenée et de retour, et aussi par une circulation activée mécaniquement (pompe centrifuge).

L'eau peut être distribuée par une tuyauterie montante et descendante dont les maîtres tuyaux d'amenée et de retour sont au sous-sol; ou par une tuyauterie descendante dont les maîtres tuyaux aériens sont placés au haut de l'édifice et les colonnes de retour raccordées aux maîtres tuyaux de retour au sous-sol. Ces tuyauteries sont complétées d'un réservoir de dilatation, dont la fonction est de pourvoir à la variation du volume d'eau dans le système et de maintenir une pression suffisante, et de canalisations de distribution auxquelles sont raccordées les radiateurs.

- Chauffage à circulation d'eau forcée

Dans ce système la circulation d'eau est activée par une pompe, ce qui lui confère une grande flexibilité et permet d'utiliser des tuyaux de plus petites dimensions.

Deux variantes de ce système sont d'application courante: le chauffage hydronique, et le chauffage par radiation.

- Chauffage hydronique

Le chauffage hydronique est le nom donné à un procédé relativement récent utilisant le principe de chauffage par chaleur humide. Il est basé sur une recirculation forcée de l'eau chaude dans des convecteurs-plinthes. C'est un procédé simple, efficace, économique et moderne dont l'installation peut être réalisée avec facilité et rapidité.

- Chauffage par radiation

Le panneau de chauffage par radiation utilise également le principe de la chaleur humide. De l'eau tiède circule à travers des serpents encastrés dans les planchers de béton, dans le plâtre des murs ou des plafonds.

2.5.1 Contraintes d'utilisation

Les contraintes associées aux canalisations de chauffage sont sensiblement identiques à celles rencontrées avec la distribution d'eau chaude. Dans le cas de chauffage par radiation, les matériaux devront être flexibles et faciles à plier en raison de la nature de l'installation.

2.5.2 Choix des matériaux

Le cuivre et l'acier noir sont les matériaux les plus couramment employés. Le cuivre, est plus coûteux et demande une meilleure isolation que l'acier noir en raison de son coefficient de transfert de chaleur plus élevé. Il est cependant moins sujet à la corrosion et offre une meilleure facilité d'écoulement.

2.6 Protection contre l'incend.

Dans le plupart des édifices publics et commerciaux, entrepôts, édifice à logements multiples, etc. l'installation d'un système de canalisations pour la protection contre l'incendie est d'importance vitale et souvent obligatoire par réglementation.

Il existe deux types de systèmes dont l'application dépend généralement de la catégorie d'édifice.

Le premier, utilisé surtout dans les édifices en hauteur pour usages de bureau ou pour logement, comprend une canalisation principale généralement installée au sous-sol qui alimente une ou plusieurs colonnes montantes (ϕ variant de $2\frac{1}{2}$ " à 6") sur lesquelles sont raccordés, à chaque étage, les boyaux d'incendie. (ϕ $2\frac{1}{2}$ ").

Le deuxième type, que l'on retrouve surtout dans les entrepôts, magasins, édifices du culte, etc., est un système automatique à asperseurs. Ce système comprend en plus de la conduite principale et des colonnes montantes, des conduites transversales sur chacun des étages pour l'alimentation des canalisations de branchements sur lesquelles sont branchés les asperseurs.

2.6.1 Contraintes d'utilisation

L'installation ainsi que les contraintes d'utilisation sont sensiblement les mêmes pour ces canalisations que pour celles de distribution d'eau froide, quoiqu'une attention particulière doit être portée à la sécurité de fonctionnement. Ceci nécessite de la part des matériaux une bonne résistance au vieillissement, en particulier pour les boyaux, (moisissure) et à l'abrasion de sorte que même après une longue période de non-utilisation, les canalisations soient en parfait état de fonctionner.

2.6.2 Choix des matériaux

Pour les canalisations rigides, l'acier noir, est habituellement employé en raison

de sa bonne résistance, de sa robustesse et aussi de son coût peu élevé.

Le cuivre peut également être considéré. Son emploi peut offrir certains avantages. Ainsi la température élevée parfois atteinte par la combustion rapide de certains matériaux peut occasionner une dilatation et un affaissement rapide de la charpente métallique à laquelle est fixé le système. Dans un tel cas, une installation en cuivre avec joints brasés suivra le mouvement de fléchissement de la charpente et pourra continuer à fonctionner. Parmi d'autres avantages du cuivre, mentionnons l'absence presque complète d'obstructions pouvant survenir par suite de la turbulence ou de l'oxydation possibles dans des canalisations en acier. Il résiste également aux changements qui interviennent dans la structure des bâtiments.

Son usage n'est toutefois par courant et fortement limité par son coût élevé.

Quant aux boyaux d'incendie (généralement installés sur des dévidoirs), ils sont habituellement en fils de lin tissés, revêtus intérieurement de latex pour en améliorer la conservation. Il en existe également en toile de lin sans revêtement. Les deux types reçoivent généralement un traitement anti-moisissure.

2.7 Conduits électriques

Les conduits électriques ont comme fonction de protéger les fils ou câbles électriques contre les chocs extérieurs, les acides et les vapeurs corrosives et autres conditions similaires. De plus, ils permettent de pousser ou de tirer les fils pour remplacement ou inspection. Ils peuvent être flexibles ou rigides selon l'usage.

Ils sont surtout employés dans les immeubles à logements multiples, les édifices publics et commerciaux ainsi que dans nombreuses usines et installations industrielles où l'humidité et la présence de vapeurs corrosives sont fréquentes: pâtes et papier, pétrochimie, brasseries, salaisons etc. Dans les maisons unifamiliales, ils sont utilisés uniquement pour l'entrée des fils dans le bâtiment.

2.7.1 Contraintes et normes d'utilisation

Les conduits doivent donc être résistants à la corrosion, à la chaleur, aux conditions climatiques, et être ininflammables. De plus, ils doivent avoir une surface intérieure lisse et sans aspérités, de façon à offrir une faible friction.

Parmi les autres facteurs à considérer, on note le poids, la facilité de façonnage, de filetage et de pose, la robustesse ainsi que le coût.

Parmi les normes relatives aux conduits, mentionnons les suivantes :

BSI :	31, 731, 2706, 3973, 4108
ASA :	C80-1, C80-2, C80-3, C80-4, C80-5
CSA :	C22-2, No: 45, 56, 134, 135, 136

2.7.2 Choix des matériaux

Les matériaux employés dans le bâtiment sont l'acier, l'aluminium, le CPV et le polyéthylène. L'acier a toutefois été jusqu'à maintenant préféré en raison de sa robustesse, de la bonne résistance à la corrosion que lui confère les revêtements de zinc et/ou d'émail cuit, et des températures élevées qu'il peut supporter. Il s'agit soit de tubes en acier galvanisé, soit de tubes en acier mince. Ce dernier, de moitié plus léger que l'acier galvanisé, est surtout employé à découvert et dans des endroits où la résistance aux chocs et à la corrosion n'est pas nécessaire. Dans les installations industrielles, on emploie rarement les tubes à parois minces, mais plutôt l'acier galvanisé qui tout en offrant une bonne résistance aux chocs et aux actions corrosives, permet d'assurer une continuité adéquate du système de mise à la terre. L'aluminium est employé parfois lorsque le milieu ambiant comporte des vapeurs corrosives ou lorsque le conduit peut être en contact avec les acides. Il offre également une meilleure résistance à la corrosion atmosphérique causée par l'air salin. Son poids constitue un autre avantage par rapport à l'acier mais par contre il est moins robuste.

Le PVC rigide offre également une très bonne résistance à la corrosion tout en étant beaucoup plus léger. De plus il ne rouille pas, ne s'effrite pas et ne s'altère pas, et son entretien est minime. Toutefois, comme pour les canalisations, il supporte mal la chaleur et ainsi ne peut être utilisé que dans les endroits où la température est modérée. De plus un conducteur de mise-à-la-terre est requis puisque le PVC n'est pas conducteur.

L'amiante-ciment n'est presque jamais employé à l'intérieur des bâtiments. Par contre il constitue le matériau préféré pour les conduits souterrains de canalisations électriques et téléphoniques.

Les dimensions généralement rencontrées pour les conduits rigides sont de 1/4 à 6" de diamètres intérieurs avec des longueurs de 3 mètres. Les conduits peuvent également être flexibles, particulièrement pour les systèmes de contrôle à distance les systèmes d'intercommunication et les raccordements aux divers appareils. Ces conduits sont habituellement fabriqués de bandes d'acier galvanisé entrelacées, de caoutchouc synthétique ou de matières plastiques dans des diamètres compris entre 5/16 et 2 1/2".

L'avantage de ces conduits réside évidemment dans leur flexibilité et également dans leur facilité de pose et de manutention ainsi que dans les longueurs disponibles pouvant aller jusqu'à 75 mètres pour l'acier et 120 mètres pour le plastique.

2.8 Autres canalisations

2.8.1 Canalisations d'oxygène

Ces canalisations sont utilisées pour faire circuler l'oxygène ou autres gaz employés en médecine et que l'on retrouve fréquemment dans les hôpitaux et autres établis-

séments du même genre.

Etant donné que l'oxygène sous pression peut engendrer une combustion spontanée de certaines huiles organiques, un soin spécial est requis dans le nettoyage des tubes qui doivent ensuite être bouchés et capsulés. Le même soin doit être apporté aux raccords et vannes lors de leur pose.

Le cuivre est habituellement le matériau employé, avec joints brasés à l'argent.

2.8.2 Canalisations sous vide

Dans les hôpitaux, il existe souvent des installations chirurgicales fonctionnant sous vide. Dans ces conditions la résistance à la corrosion et la facilité d'entretien des parois internes sont particulièrement importantes. (périodiquement, des détergents sont utilisés pour purger et stériliser les tubes).

Ces canalisations sont souvent adjacentes à celles d'oxygène. Elles ont des diamètres nominaux allant jusqu'à 2 pouces et sont habituellement fabriquées en cuivre.

2.8.3 Canalisations d'huile de chauffage

Ces canalisations servent de raccordement entre le brûleur et le réservoir d'huile ou entre le brûleur et le réseau de distribution, lorsqu'il s'agit d'une installation centrale souterraine permettant d'alimenter en huile les maisons qui sont reliées à un réservoir central. Le cuivre est normalement employé pour les tubes de raccordement et de branchement alors que l'acier noir revêtu l'est pour les canalisations de distributions partant du réservoir principal. L'acier noir est aussi utilisé pour les tuyaux d'évent de réservoirs souterrains. (β 1 - 1 1/4").

2.9 Eléments de charpente

Une des tendances les plus remarquables dans l'architecture contemporaine est certainement le développement de structures à longue portée allié à la réduction du nombre de colonnes intermédiaires. Cette tendance est motivée par le désir de créer des systèmes structuraux d'une grande rigidité tout en étant économique quant à l'usage des matériaux.

Fondamentalement, ces caractéristiques se retrouvent dans les systèmes structuraux naturels qui doivent leur efficacité à l'utilisation de systèmes à trois dimensions plutôt que de systèmes à deux dimensions que l'on retrouve principalement de nos jours dans le génie de structure.

Le système tridimensionnel, appelé aussi système de treillis dans l'espace, permet d'obtenir une résistance optimum à un coût minimum. Une plus grande flexibilité ainsi qu'une liberté accrue deviennent ainsi possibles, avec un nombre de supports minimum, puisque le réseau de membres interconnectés assure une plus large répartition dans la structure des charges appliquées. Comme avantages additionnels

du système tridimensionnel, mentionnons la préfabrication et la standardisation des composantes, la simplicité et la facilité de construction ainsi qu'un certain esthétisme. Parmi les types de structure tridimensionnelles, notons les voûtes et les dômes géodésiques les charpentes de toits en forme de treillis.

Ces diverses formes de charpente peuvent être employées avec avantage dans divers secteurs autant commercial qu'industriels, où l'on désire des surfaces importantes libres de colonnes de supports : halls d'exposition, entrepôts, hangars d'aviation, stades couverts, gymnases, halls de mise en stock de matières premières et dômes d'antennes de radar (forme géodésique).

Les dômes renforcés bien qu'ils soient l'une des formes les plus efficaces de structures tridimensionnelles, présentent certains désavantages inhérents à leur forme circulaire. L'expérience a montré que les treillis plats à double assises sont plus pratiques en raison de la possibilité d'être utilisés à la fois dans la construction de planchers ou de plafonds. La charpente qui en résulte consiste en deux treillis plats parallèles formant les assises du haut et du bas et reliés entre eux par des barres de treillis inclinées. En fait le treillis consiste d'une combinaison de tétraèdres, d'octaèdres et de bases triangulaires équilatérales, et est composé d'éléments rectilignes tous de longueur égale et reliés aux noeuds.

Parce que ces éléments doivent résister efficacement aux forces axiales, aux moments de flexion et à la torsion, la forme tubulaire semble être la plus efficace. Le matériau employé est presque exclusivement l'acier. Les diamètres peuvent varier de 1 1/2" à 12" et les épaisseurs jusqu'à 1/2", selon la résistance demandée.

Quant aux joints, ils doivent résister à la flexion, être rigides et minimiser les efforts additionnels dus aux excentricités, d'où l'emploi fréquent de sphères creuses.

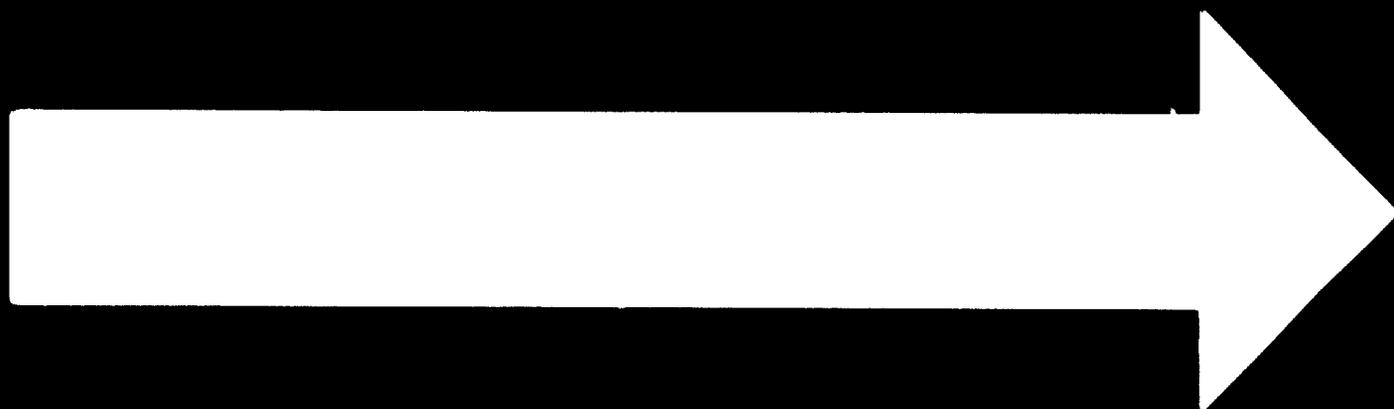
A part les structures de types tridimensionnelles, il existe toute une variété de structures bidimensionnelles où les tubes sont employés comme éléments de charpente. Pour être exact il est préférable de parler de sections creuses de forme ronde, carrée ou rectangulaire (hollow sections) plutôt que de tubes.

Ces éléments de charpente doivent résister avant tout au flambage et à la torsion, ce qui est particulièrement le propre des sections creuses en raison de leurs propriétés mécaniques et structurales.

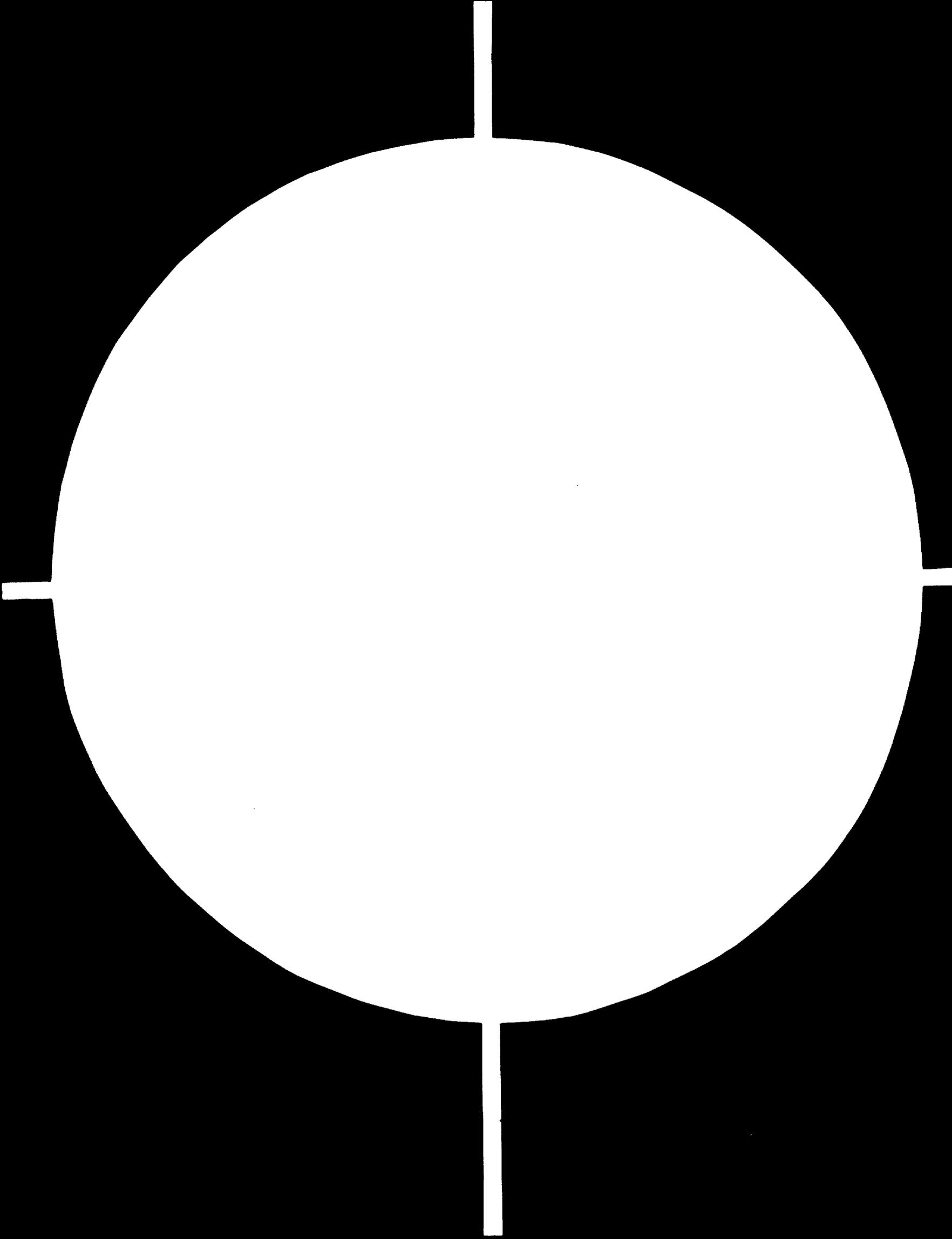
De plus la belle apparence des sections creuses permet de les utiliser comme éléments de charpente visibles.

Parmi les principaux usages des sections creuses mentionnons les charpentes d'usines d'ateliers et de halls, les piliers d'étages, les poutres et longrines de plancher et de plafond, les appontements, les pylones d'éclairage, les bâtiments d'exposition, les kiosques, les serres, les ponts pour piétons, etc.

C-723



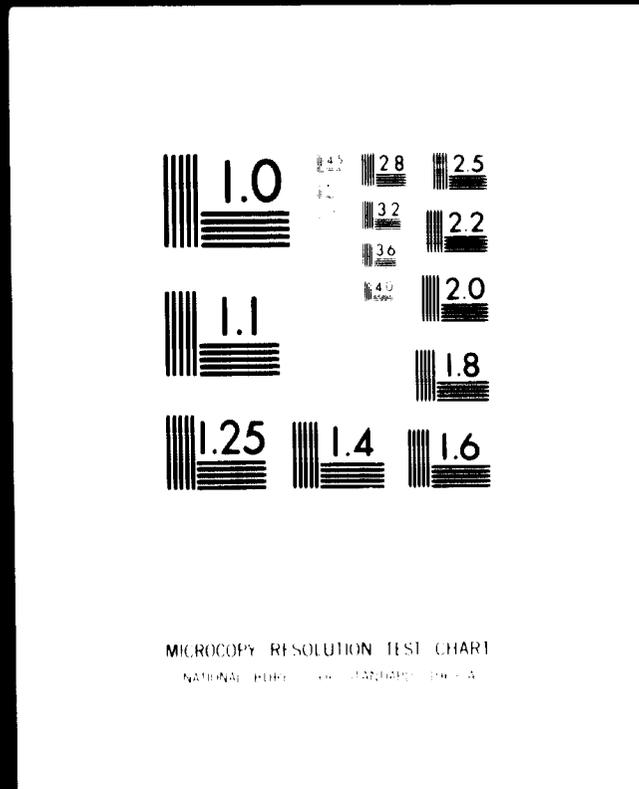
79.01.17



3 OF 4

07660

F



**24 x
B**

Les ponts à signaux pour autoroutes et chemins de fer, les pylones d'éclairage ou de transmission ainsi que les ponts servant de supports pour canalisations peuvent être constitués également de tubes de qualité commerciale. L'acier ainsi que l'aluminium sont les matériaux les plus couramment utilisés. Dans le cas de l'acier, la protection contre la corrosion est particulièrement importante : sablage, métallisation au zinc, peintures.

2.10 Pieux de fondation

Les pieux de fondation sont généralement utilisés pour les fins suivantes :

- Comme colonnes pour transférer une charge au travers un sol mou jusqu'à un sol solide
- Comme pieux à frottement dont la partie inférieure transfère une charge à travers un sol plus mou jusqu'à un sol inférieur plus dur considéré comme ayant une valeur de distribution adéquate.
- Comme pieux à frottement sur toute leur longueur
- Pour le compactage du sol.

On les emploie également pour stabiliser des strates en mouvement, comme ancrages contre les forces horizontales, comme moyens d'assistance pour la stabilisation de structures par rapport aux tremblements de terre ainsi que comme pieux de défense pour les mâles et les ducs d'albe.

Le choix des matériaux et aussi de la forme des pieux dépend principalement des caractéristiques du sol où ils doivent être utilisés et également de l'action du milieu environnant : eau de mer, courants marins, vagues, attaques chimiques, électrolyse, résistance à la sous-pression, etc. Parmi les autres facteurs, mentionnons la longueur maximum, la disponibilité et aussi le coût.

Les matériaux les plus couramment utilisés sont le bois, le béton et l'acier. Les pieux en bois sont pleins alors que ceux en béton peuvent être pleins ou creux. Dans le cas de l'acier, les formes les plus rencontrées sont le profilé en H et le tuyau.

Le tuyau d'acier constitue cependant un des éléments les mieux adoptés pour emploi comme pieu de fondations. Il permet en effet le choix des degrés de résistance des épaisseurs de paroi et des diamètres appropriés aux charges à supporter, à la capacité portante du sol ainsi qu'aux conditions d'enfoncement, pour vérifier s'il y a eu dommages ou si le pieux est d'aplomb et sans courbures.

Un autre avantage est la possibilité de le remplir de béton afin d'améliorer sa capacité de support.

Le tuyau d'acier doit toutefois être protégé contre la rouille soit par revêtement,

soit par protection cathodique. Si aucune protection n'est donnée au tuyau, une partie appropriée de l'épaisseur de paroi doit être déduite des calculs afin de compenser pour la rouille.

Pour les colonnes rondes de support en béton, on emploie fréquemment comme coffrage de coulée des tubes en fibres (carton). Ceux-ci sont légers, faciles à ériger, à étayer et s'enlèvent aisément. Les colonnes ainsi formées sont lisses et n'ont pas besoin de finition additionnelle. Les diamètres rencontrés sont habituellement de 2 à 36".

CHAPITRE XV

SERVICES PUBLICS

1. DEFINITION

Le présent chapitre couvre les services publics d'alimentation en eau, d'assainissement, de drainage, de gaz, d'électricité, de téléphone, d'éclairage et de signalisation. Ne sont pas compris dans cette définition les conduites d'adduction d'eau reliant les réseaux urbains aux sources d'approvisionnement ni les pipelines assurant l'approvisionnement en gaz. Ces canalisations sont traitées au chapitre XIX.

2. USAGES

Les services publics constituent, à l'échelle d'un pays, l'un des secteurs d'activité les plus importants, en terme de consommation, des tubes et tuyaux. Cette consommation se situe non seulement au niveau de l'implantation des services, mais aussi au niveau de leur extension en fonction de la demande et de leur renouvellement nécessité soit par le vieillissement, soit par l'insuffisance des réseaux existants.

2.1 Alimentation en eau

2.1.1 Définition

L'alimentation en eau des divers utilisateurs en milieu urbain est généralement satisfaite au moyen d'un réseau de distribution constitué de conduites primaires et secondaires sur lesquelles viennent se greffer, les divers branchements (résidentiels, commerciaux, industriels, incerdie, arrosage). Le réseau est relié au point de captage ou à l'usine de traitement par des conduites maitresses.

Un système d'alimentation en eau est complété par diverses installations dont le but est soit d'améliorer la qualité de l'eau (usine de traitement), soit d'assurer la demande (réservoir), ou encore de garantir une pression suffisante en tous les points desservis (postes de surpression). Il faut également ajouter une quantité importante de pièces de raccords et d'accessoires, surtout au niveau des branchements.

2.1.2 Contraintes d'utilisation

Un réseau d'alimentation en eau est un système dont la pression peut varier selon le site des installations, le type d'énergie utilisé (gravitaire ou mécanique), l'élévation des points à alimenter et les exigences relatives aux équi-

pements de protection contre l'incendie. En règle générale les tuyaux sont soumis à une pression de service variant de 4 à 8 bars mais doivent toutefois être en mesure de résister à des pressions allant jusqu'à 20 bars afin de pallier aux effets des coups de béliers. Pour les tuyaux employés à l'intérieur des usines de traitement, la pression de service est habituellement de 10 bars.

La corrosion intérieure et extérieure est aussi à considérer. La première est surtout fonction de la nature de l'eau (PH) et du matériau de conduites. D'autre part, la formation de tubercules ou d'enduits calcaireux à l'intérieur des canalisations réduit de beaucoup l'efficacité d'un réseau. La corrosion extérieure, quant à elle, est reliée aux propriétés du sol adjacent; parmi celles-ci, les plus importantes sont la conductivité, le degré du PH et le contenu en sulfate. Un sol hautement conducteur causera une attaque plus rapide. De même un sol de faible PH sera plus corrosif que celui à PH plus élevé. Quant aux sulfates, ils favorisent la corrosion bactérienne. D'ailleurs tous les sols contiennent une variété de bactéries et de champignons. Les matériaux ferreux et ceux à base de ciment peuvent être affectés à la fois par les déformations causées par les bactéries aérobiques et anaérobiques et particulièrement par les réducteurs de sulfate anaérobique dans les sols hautement sulfatés.

La résistance aux charges extérieures (écrasement et flexion), peut aussi être importante lorsque le réseau n'a plus de pression ou lorsque la profondeur d'enfouissement est faible et qu'il est soumis à de fortes charges.

L'aptitude aux revêtements (tuyaux en plastique exceptés), à la contraction et à la dilatation, l'étanchéité des joints et la résistance à l'écoulement ont également leur importance dans le choix des matériaux des conduites.

Aux contraintes précédentes qui sont pour ainsi dire impératives, il faut ajouter certaines contraintes qui dépendent surtout des conditions particulières de l'environnement ou des travaux: poids des tuyaux, résistance aux chocs, disponibilité des matériaux, résistance aux ultra-violets, aptitude au filetage (pour branchements).

2.1.3 Choix des matériaux

Les canalisations d'un réseau de distribution peuvent être fabriquées de divers matériaux. Ceux généralement employés sont le béton précontraint avec ou sans âme tôle (500 m et plus) la fonte grise et ductile, l'acier, l'amiante-ciment (type pression), le chlorure de polyvinyle et le polyéthylène. Notons ici qu'il y a avantage à minimiser, au niveau du réseau, la variété des matériaux utilisés: ceci permet de réduire la diversité des pièces en stocks et de faciliter la pose et l'entretien.

La fonte grise a été pendant longtemps le matériau le plus employé dans les réseaux de distribution en raison de sa facilité de fabrication et de ses perfor-

mances supérieures à celles des autres matériaux existant alors. Plus tard on introduisit l'usage du fer et de l'acier afin de suppléer à certains désavantages de la fonte. Toutefois ces matériaux résistaient mal à la corrosion, ce qui a amené les utilisateurs à considérer l'emploi du béton comme revêtement intérieur. Le tuyau ainsi fabriqué consistait alors d'un cylindre en fer riveté revêtu intérieurement de mortier et noyé dans le béton, sur le chantier.

Au milieu des années 1920, des méthodes satisfaisantes pour le revêtement intérieur des tuyaux en fonte devinrent disponibles sur le marché. Ce revêtement consistait en un mortier de ciment et permettait d'assurer un meilleur écoulement (surface lisse), tout en minimisant les possibilités d'incrustation. Plusieurs de ces tuyaux sont encore en usage aujourd'hui.

Depuis, on a assisté au développement d'une nouvelle méthode de fabrication par centrifugation avec revêtement intérieur en mortier de ciment et extérieur peint, laquelle méthode jointe à l'arrivée de la fonte ductile (meilleure résistance à la rupture et aux chocs), permet aux tuyaux en fonte d'être encore largement utilisés aujourd'hui et d'être préférés dans beaucoup de cas aux tuyaux d'acier dans les réseaux urbains.

Le tuyau d'acier, dont l'usage s'est réellement développé à partir des années 1880 est demeuré un matériau relativement important pour les canalisations d'alimentation en eau. Au début, ses performances étaient mauvaises en raison de la tuberculisation. Ce problème a été résolu par l'emploi d'un revêtement intérieur en mortier de ciment. Pour contrer la détérioration par la corrosion extérieure, le tuyau est revêtu d'un mortier de ciment ou est enveloppé et enduit de matériaux appropriés tels le goudron de houille, le bitume et aussi divers plastiques. On utilise également des revêtements intérieurs en matières thermo-durcissables.

Surtout au cours des quarante dernières années, l'usage de tuyaux en béton et en amiante-ciment s'est développé assez rapidement. L'amiante-ciment a permis l'élimination de la majeure partie des désavantages associés aux matériaux ferreux mais il est toutefois handicapé par la gamme restreinte des diamètres (max 36") et sa moindre résistance à la pression.

Les tuyaux en matières plastiques, principalement en CPV, sont de plus en plus acceptés dans les réseaux de distribution. Parmi les avantages du CPV mentionnons son haut coefficient d'écoulement, sa résistance mécanique, sa longévité, sa résistance complète à la corrosion et sa légèreté. Le polyéthylène basse densité est également employé. Son principal avantage, en plus de ceux mentionnés pour le CPV, est sa flexibilité qui facilite grandement les opérations de pose.

Un autre matériau fréquemment employé est le béton. Celui-ci peut être non-armé ou armé, avec ou sans âme-tôle, et précontraint ou non, l'emploi de l'un ou l'autre dépendant des contraintes à la fois intérieures et extérieures exercées sur le tuyau. Le tuyau en béton peut supporter des pressions allant jusqu'à 18bars et peut être fabriqué dans des diamètres allant jusqu'à 3.000 mm

voire davantage. Son coefficient d'écoulement est cependant inférieur à celui des autres matériaux.

En résumé, il faut dire qu'il n'y a pas toujours de préférences marquées à accorder à un matériau plus qu'à un autre, le choix reposant alors sur des critères relevant de la technique, des coûts, de la gamme de diamètres disponibles pour chacun des matériaux, ou encore de la disponibilité même des matériaux.

En ce qui concerne les joints, on utilise normalement le joint mécanique ou le joint à emboîtement pour les conduites en fonte, les joints à emboîtement pour conduites de béton, le joint soudé (par solvant chimique ou à la chaleur) pour le polyéthylène et le PVC, et le joint soudé ou à brides pour l'acier.

Du côté pièces de raccords, ces dernières sont généralement très variées et du même matériau que les conduites, quoique par exemple certaines marques de commerces de CPV permettent l'utilisation de pièces de raccords en fonte à joint mécanique. Il existe de plus une foule d'adaptateurs pour aller d'un matériau à un autre.

En ce qui concerne les canalisations à l'intérieur des usines de traitement (250 mm et moins) on utilise le tuyau en acier au carbone résistant à une pression de 10 bars et possédant les propriétés de soudabilité (acier ASTM A-53, qualité A, cédule 40). Les joints sont de type soudé ou à brides. Pour les diamètres de 2 pouces et moins, les tuyaux et pièces de raccord sont normalement de type fileté et faits d'acier forgé sans soudure ayant une bonne aptitude au filetage. Pour les diamètres importants, on fait souvent appel aux tuyaux en béton précontraint à âme-tôle et munis de joints à brides. Le CPV peut aussi être utilisé pour les canalisations servant à la chloration, à la fluoration et au traitement à l'alun de l'eau en raison de sa bonne résistance à la corrosion.

2.2 Assainissement et drainage des superficies

2.2.1 Définition

Longtemps l'assainissement et le drainage des eaux de ruissellement des agglomérations urbaines étaient effectués par un réseau unique d'égout dit "mixte" ou "combiné" qui se déversait dans un cours d'eau (lac, rivière, mer). De nos jours les besoins grandissants de la protection de l'environnement pour le maintien d'un milieu salubre et de la santé publique ont amené les villes à traiter les eaux usées d'origine domestique et industrielle. La technique a démontré qu'il était plus avantageux économiquement de traiter des eaux usées concentrées, ce qui conduit à la réalisation de deux systèmes d'égout en parallèle, l'un d'assainissement et l'autre de drainage de surface; il arrive même qu'on ait un troisième type d'égout appelé industriel lorsque la nature des eaux résiduelles d'une industrie nécessite un traitement particulier.

Ces systèmes fonctionnent habituellement par gravité, à moins qu'ils ne soient

surchargés; ils deviennent alors des systèmes à faible pression.

Dans cette section nous traiterons surtout des réseaux de type "mixte". Ceux-ci nécessitent généralement moins de conduites mais des diamètres plus importants.

Dans un réseau mixte nous distinguons deux catégories de canalisations :

- a) Les canalisations de réseau sur lesquelles sont raccordés les branchements d'égout des bâtiments et les puisards de rues.
- b) Les collecteurs vers lesquels sont orientées les eaux des différents bassins de drainage, devant être acheminées vers des points de déversements localisés ou des usines de traitements.

Sur les réseaux d'égout on trouve divers types de structures telles regards de visite, postes de pompage, chambres de séparation des eaux domestiques et des eaux de ruissellement.

2.2.2 Contraintes d'utilisation

D'une façon générale, les éléments suivants sont importants à considérer dans le choix des matériaux pour tuyaux d'assainissement :

- Caractéristiques d'écoulement
- Longévité du matériau et expérience acquise concernant son usage.
- Résistance aux acides, alcalis, gaz et solvants.
- Caractéristiques de manutention et d'installation
- Résistance structurale; écrasement, flexion
- type de joint
- Disponibilité de matériaux et diamètres
- Coûts

La corrosion est considérée spécifiquement lorsque la résistance aux acides, alcalis, gaz, solvants, est impliqués.

L'attaque par les produits chimiques déversés dans le réseau d'assainissement n'affecte habituellement qu'une courte section de canalisation, étant donné qu'après leur entrée dans le flot principal ils sont dilués et neutralisés en partie. Le plupart des problèmes de corrosion surviennent dans les collecteurs où la décomposition bactérienne des déchets produit de l'acide sulfurique et des composés

de sulfure. La vitesse d'écoulement et l'abrasion affectent le taux de corrosion. Par des vitesses élevées, le taux de circulation d'agents corrosifs est aussi accru, mais la probabilité d'accumulation de particules solides est réduite. Des particules solides - tel le sable - se déplaçant à hautes vitesses ont tendance à enlever les produits de protection contre la corrosion sur les matériaux métalliques et désagrègent la surface des matériaux non métalliques. Sur les surfaces particulièrement durables comme le grès vitrifié, la décomposition peut au contraire améliorer les caractéristiques d'écoulement en nettoyant la surface.

Parmi les principaux produits chimiques qui sont habituellement déversés dans les réseaux, mentionnons les agents de blanchiment à base de chlore qui foment de l'acide hypochlorique, et les détergents chauds qui peuvent enlever la pellicule protectrice à la surface des métaux. A ces agents corrosifs intérieurs, il faut ajouter les agents extérieurs propres au sol environnement, lesquels sont identiques à ceux traités à la section précédente concernant les réseaux d'alimentation.

2.2.3 Choix des matériaux

Les matériaux suivants sont utilisés plus ou moins couramment dans les réseaux d'assainissement : grès vitrifié, béton, amiante-ciment, fonte, acier, chlorure de polyvinyle, polyéthylène et plastique renforcé de fibres de verre. L'aluminium et les fibres bitumeuses sont également utilisés dans certains cas. A l'exception de l'acier, de l'aluminium et des matières plastiques qui possèdent une certaine flexibilité et malléabilité tous les matériaux sont rigides et les conditions de pose sont similaires.

En pratique, l'amiante-ciment, le béton sous diverses formes, le grès vitrifié, les matériaux ferreux pour les conduites principales de refoulement, représentent la majeure partie des canalisations installées dans les réseaux d'assainissement urbains.

L'amiante-ciment bien que souvent décrit par les fabricants comme résistant à la corrosion, est soumis à l'attaque interne de même nature que pour le béton soit l'acide sulfurique généré par les gaz d'égouts, étant donné son contenu élevé en ciment. A l'extérieur il est sujet au ramollissement, à l'érosion, et est attaqué par les sols acides, alcalins ou à forte teneur en sulfates. Toutefois l'addition de silice au mélange et l'étuvage durant la fabrication du produit a pour effet d'améliorer de façon notable la résistance du matériau en réduisant le niveau de chaux libre par formation d'hydroxyde de calcium silicate, ce qui diminue la détérioration du ciment. Pour améliorer la résistance interne aux produits chimiques, un revêtement intérieur en epoxy et en amine peut être appliqué.

Le béton armé avec ou sans âme tôle constitue le matériau standard pour les conduites principales de grands diamètres. Il est sujet à une détérioration extérieure similaire à celle de l'amiante-ciment et, s'il est armé, il peut dans certains cas être attaqué par les courants électriques vagabonds. Ces courants originaires le plus souvent des systèmes de traction à courant continu, (tramway) et occa-

sionnellement des systèmes de protection cathodique, peuvent circuler le long de l'acier d'ossature, si ce dernier est d'une résistance électrique suffisamment faible. Au point où le courant est reçu par l'acier d'armature, le béton peut être ramolli par la haute alcalinité développée par la concentration des constituants alcalins du sol et ainsi son adhérence à l'acier en sera affectée, ce qui peut causer à la longue des fissures.

Le principal agent corrosif des tuyaux en béton est toutefois l'acide sulfurique formée par la décomposition bactérienne des déchets. Celle-ci prévaut surtout dans les endroits humides. Pour pallier à ces désavantages, une variété d'enduits et de revêtements intérieurs sont utilisés : goudrons, bitumes, époxies, feuille de PVC, feuilles de grès vitrifié. Ce dernier est celui qui possède le plus longue durée de vie, en raison de son inertie complète à tous les déchets; son efficacité est limitée seulement par la nécessité d'avoir des joints d'une résistance suffisante. Les goudrons sont peu résistants alors que les époxies se comportent très bien sauf lorsque le béton est humide. Quant aux feuilles de PVC, le problème est d'assurer une bonne liaison entre la feuille et le béton.

Les matériaux ferreux

L'expérience a montré que la résistance de la fonte et de l'acier à la corrosion dans les réseaux d'assainissement doit être considérée comme relativement faible et aucun de ces matériaux ne doit être utilisé sans un revêtement intérieur : (bitumes, epoxy). Toutefois la possibilité d'obtenir un revêtement exempt de défauts, particulièrement aux joints, est plutôt faible et des défaillances progressives se produisent. La galvanisation, pour sa part, offre une durabilité marginale.

Le revêtement intérieur le plus durable semble être le béton, et si on ajoute au tuyau un revêtement extérieur en béton on obtient ainsi, à toutes fins pratiques, un tuyau possédant les mêmes caractéristiques que les tuyaux en béton à âme-tôle non précontraint. Pour la corrosion extérieure, on emploie des revêtements externes ainsi que la protection cathodique.

Le grès vitrifié : Depuis l'époque où des techniques appropriées furent développées pour la fabrication de ce matériau, les tuyaux en grès vitrifié ont constitué un choix de premier ordre pour les canalisations d'égout de faibles diamètres, étant donné leur très bonne résistance aux différentes formes de corrosion. Le grès vitrifié est affecté seulement par l'acide hydrofluorique, parmi les produits chimiques courants, et par conséquent est considéré comme inerte à la fois aux eaux d'égouts et aux sols environnants. Son usage a toutefois été limité par le diamètre maximum disponible (36") et également par le fait qu'il est cassant.

De plus, le fait que son procédé de fabrication nécessite une grande quantité de calories, le rend passablement cher dans les endroits où l'énergie calorifique est coûteuse.

De nos jours, on le retrouve surtout dans les égouts industriels où la corrosion par divers produits chimiques est particulièrement élevée. Dans les réseaux domestiques il est également employé avec avantage bien qu'il soit de plus en plus concurrencé par l'amiante-ciment et le béton, et depuis quelques années par les matières plastiques polyéthylène et plastique renforcé de fibre de verre. Ces dernières le concurrencent particulièrement dans les systèmes d'égouts industriels.

L'aluminium est employé occasionnellement mais sa résistance à la corrosion, quoique meilleure que l'acier, n'approche pas celle du grès vitrifié, et il peut être attaqué par les solutions acides élevées ; il est de plus coûteux. En pratique on le rencontre très rarement dans les réseaux d'égouts.

Les matières plastiques. Les matériaux plastiques employés le plus couramment sont le CPV, le polyéthylène et l'ABS, lesquels possèdent de bonnes caractéristiques de résistance chimique aux sols et aux égouts.

Le CPV est souvent employé pour les canalisations de faible diamètre (jusqu'à 12") tels les branchements d'égouts où ils concurrencent avantageusement le grès vitrifié.

Pour les conduites de plus grands diamètres (40") on assiste depuis quelques années à l'avènement du tuyau en polyéthylène. Celui-ci, qui était utilisé auparavant uniquement pour les canalisations d'eau de petits diamètres, est devenu disponible grâce à une nouvelle technique de production. Il offre une meilleure flexibilité, est plus résistant aux solvants, peut supporter des températures plus basses et possède un coefficient d'expansion inférieur au CPV. En raison de sa flexibilité, il est employé de plus en plus pour le revêtement intérieur de conduites d'égout en béton détériorées. Ceci est effectué en tirant le tuyau à l'intérieur de la conduite endommagée. Cette dernière sert alors de protection contre les contraintes du sol. Pour les branchements, on perce le tuyau aux endroits voulus.

Quant au plastique renforcé de fibres de verre, il est surtout utilisé dans les systèmes d'égouts industriels où son usage se développe de plus en plus, en raison de sa grande résistance à la corrosion face à une gamme étendue de produits chimiques, et aussi de sa bonne résistance mécanique.

Toutefois des limites structurales, ainsi qu'une carence de renseignements sur leur robustesse à long terme ont limité jusqu'à maintenant l'emploi des matières plastiques dans les réseaux urbains.

2.3 Distribution de gaz

2.3.1 Définition

Un réseau de distribution de gaz en milieu urbain comprend normalement les types de canalisations suivantes :

- Conduites de transmission

Leur rôle est d'alimenter à partir de la source, les divers centres de distribution. Ces conduites diffèrent généralement des conduites principales par leur pression de service plus élevée.

- Canalisations principales

Ces canalisations relient les centres de distribution aux divers branchements (\varnothing 2 à 8").

- Branchements

Les branchements relient les canalisations des bâtiments ou des usagers aux canalisations principales (\varnothing 5/8 à 4").

2.3.2 Contraintes d'utilisation

Un réseau de distribution de gaz doit en premier lieu offrir une sécurité maximum tout en satisfaisant la demande des usagers. Les canalisations peuvent toutefois présenter des dangers de plusieurs sortes:

- inflammation d'un jet de gaz s'échappant sous pression lors d'une rupture de conduite;
- explosion d'un mélange détonnant ou gaz-air accumulé à la suite d'une fuite lente de gaz par un ou plusieurs petits trous de quelques millimètres de diamètre. Ceux-ci peuvent apparaître par érosion ou corrosion de la paroi d'une canalisation souterraine.

Différents facteurs interviennent dans la cause de ces accidents :

- Le débit de gaz;
- la pression à laquelle le gaz est transporté dans la conduite;
- l'épaisseur des tubes;
- la distance qui sépare les conduites des bâtiments ou des stocks de certains produits;
- la profondeur d'enfouissage et les modalités d'installation en sous-sol;
- la perméabilité du terrain et le dallage superficiel du sol;
- l'action corrosive des terrains ainsi que les différences de potentiel du sol, les courants électrolytiques et les courants électriques vagabonds.

- le revêtement de protection des tubes.

L'expérience a montré que les dangers de corrosion intérieure et extérieure sont plus importants que les dangers de rupture. Les corrosions intérieures sont dues à l'agressivité de certains gaz naturels, peu déshydratés, non dégazolinés, non désulfurés.

La question des joints est également importante dans le choix des matériaux étant donné le danger potentiel représenté par l'influence des mouvements de terrain, entre autres, sur leur étanchéité.

2.3.3 Choix des matériaux

Les matériaux généralement utilisés sont la fonte, l'acier et le cuivre.

La fonte est celui dont l'emploi est le plus ancien. Son choix s'explique par sa bonne résistance à la corrosion et, ainsi, par une bonne sécurité de fonctionnement.

Toutefois les améliorations apportées aux types et à la qualité des tuyaux d'acier, leur résistance supérieure, la mise au point de revêtements et de mesures de protection adéquats ainsi que le perfectionnement des techniques de soudage ont amené l'adoption presque générale de l'acier comme matériau pour les nouvelles installations ainsi que pour le remplacement. Les tuyaux d'acier sans soudure sont souvent utilisés pour les trois types de canalisations alors que les tuyaux soudés en spirale sont employés surtout pour les conduites de transmission et les canalisations principales. Quant aux tubes "type gaz", ils sont employés pour les branchements et parfois pour les canalisations principales.

Le cuivre est utilisé surtout pour les branchements quoiqu'il peut aussi servir pour les canalisations principales. Il n'est pas recommandé toutefois pour un réseau fonctionnant à haute pression, de même lorsque le gaz contient des quantités appréciables d'hydrogène sulfuré.

Le plomb peut aussi être utilisé pour les branchements bien que son emploi soit presque entièrement disparu à l'heure actuelle au profit du cuivre et de l'acier. Les matières plastiques ne sont presque pas employées présentement sauf comme revêtement intérieur de canalisations anciennes endommagées. Toutefois le CPV et le polyéthylène sont de plus en plus considérés pour les branchements en particulier et aussi pour les canalisations principales. L'absence de normalisation ainsi que le peu d'expérience concernant la résistance à long terme et les facteurs de sécurité associés à l'emploi des plastiques ont jusqu'à maintenant empêché leur utilisation.

2.4 Réseaux électriques, téléphoniques, et de signalisation

2.4.1 Définition

Les tubes sont utilisés dans le cadre de ces réseaux comme conduits sauterrains

pour les fils ou câbles. L'objet de ces conduits est d'assurer d'une part une protection adéquate des câbles contre les agents destructeurs et surtout de permettre le remplacement de câbles défectueux ou de capacité insuffisante. Leur emploi permet de plus d'utiliser des câbles non armés, beaucoup moins coûteux.

2.4.1 Contraintes d'utilisation

De par la nature de leur usage, ces conduits doivent posséder une bonne résistance à la corrosion et à la chaleur, offrir de bonnes caractéristiques mécaniques, avoir un faible coefficient de friction, ainsi qu'une aptitude à ne pas adhérer au câble en cas de surchauffe de ce dernier tout en assurant une bonne dissipation de la chaleur.

2.4.3 Choix des matériaux

Lorsque les conduits sont utilisés au lieu de câbles armés, l'amiante-ciment constitue sans doute un des matériaux préférés en raison de sa robustesse (ne plie pas lorsque encastré dans le béton), de sa résistance à la corrosion et à la chaleur, de ses parois lisses et de sa légèreté.

Les tuyaux en fibres bitumineuses peuvent également être utilisés lorsque le conduit est enfoui tel quel dans le sol. S'ils sont encastrés dans le béton, les tuyaux ont tendance à fléchir, ce qui déforme les fibres et accélère la détérioration du conduit, rendant ainsi sa protection inefficace.

Le CPV et le polyéthylène sont aussi d'application possible pour les conduits souterrains, et de fait sont de plus en plus utilisés au détriment de l'amiante-ciment dans les cas où le conduit est enfoui directement, sans noyage dans le béton.

L'aluminium, qui est utilisé parfois comme conduit dans le bâtiment ne l'est pratiquement pas dans les réseaux de canalisations souterraines. Il en va de même pour l'acier et le fer. Leur propension à l'attaque par la corrosion nécessite en effet des revêtements particuliers qui les rendent trop onéreux et ainsi non compétitifs.

CHAPITRE XVI

AGRICULTURE

1. DEFINITION

Ce chapitre traitera essentiellement des usages des tubes et tuyaux dans le domaine de l'agriculture. Le domaine envisagé ici est vaste et, compte tenu de la totalité de la présente étude, certaines précisions sont nécessaires. L'optique de ce chapitre éliminera certaines fonctions et formes d'usage se rapportant également à l'agriculture. Ce sont notamment les constructions et locaux de la ferme qui concernent le domaine du bâtiment. Ce sont aussi les machines et équipements aratoires et autres appareils qui sont d'ailleurs traités aux chapitres XXI et XXII.

Finalement, ce chapitre s'en tiendra à une agriculture qui touche essentiellement la culture, l'élevage et les premiers traitements de la ferme.

2. USAGES

Dans le secteur agricole, les réseaux de canalisations pour l'irrigation constituent sans doute la principale utilisation des tubes et tuyaux. Ces derniers servent également pour le drainage. En outre, leur emploi s'étend aux canalisations dans les systèmes de trayage mécanique et de premier traitement du lait, aux réseaux d'abreuvement, aux cloisons pour le bétail, et enfin aux piquets de plants.

2.1 Irrigation

Les réseaux servant au transport de l'eau dans le domaine de l'irrigation comprennent généralement les types de canalisations suivants :

- Conduite d'adduction

Le rôle de cette conduite est de transporter l'eau à partir de la source d'approvisionnement, généralement un barrage, jusqu'au périmètre d'irrigation. Les caractéristiques de ces conduites et la question du choix des matériaux utilisés sont exposées au chapitre XIX concernant le transport par pipe-line.

- Les canalisations de distribution

Ces canalisations forment un système dont le rôle est de distribuer l'eau jusqu'aux différents points d'utilisation finale répartis à l'intérieur du périmètre. Ce système peut-être plus ou moins élaboré selon d'une part la méthode d'irrigation et d'autre part l'aménagement du périmètre. De façon générale, un réseau comprend :

- une canalisation primaire qui dirige l'eau du point d'arrivée de la conduite d'adduction à chacune des bornes d'irrigation. Ses caractéristiques étant sensiblement les mêmes que celles de la conduite d'adduction, le lecteur voudra bien se référer au chapitre XIX.
- des canalisations secondaires ou d'approche destinées à transporter l'eau de la borne aux rampes d'arrosage
- des rampes d'arrosage ou canalisations tertiaires. Dans le cas de la méthode par aspersion, les asperseurs sont branchés sur ces canalisations, et quand il s'agit de la méthode par ruissellement, elles sont facultatives et peuvent servir à assurer une meilleure répartition de l'eau par écoulement superficiel
- des canalisations souples. Celles-ci sont utilisées dans les cas où l'on fait usage de traîneaux mobiles sur lesquels sont montés les asperseurs et servent à relier les traîneaux aux rampes d'arrosage.

En plus des canalisations, l'équipement d'un réseau de distribution comprend toute une gamme d'accessoires tels que joints, raccords, allonges, semelles, etc.

2.1.1 Contraintes d'utilisation

Les caractéristiques recherchées pour chaque type de canalisation sont données ci-après.

- Canalisations secondaires ou d'approche

Ces tuyaux, qui peuvent être soit enterrés, soit posés sur le sol, doivent résister à des pressions internes allant jusqu'à 10 bars et ont généralement des diamètres compris entre 100 et 150 mm suivant la longueur de la canalisation le débit ainsi que les pertes de charges admissibles entre la borne d'irrigation et les asperseurs. (1) Pour le lien entre la borne et les canalisations d'approche proprement dites les diamètres utilisés sont plus élevés, étant généralement compris entre 150 et 300 mm.

Pour ce qui est des canalisations d'approche aériennes, appelées à être déplacées, les tuyaux en plus d'être résistants aux chocs et aux intempéries doivent également être légers et maniables.

- Rampes d'arrosage

Les tuyaux utilisés sont appelés à subir des pressions internes généralement comprises entre 2,0 et 3,5 bars. Ils doivent également résister aux chocs externes, à la corrosion et aux conditions climatiques, permettre l'utilisation d'un système d'assemblage rapide, étanche et robuste, et finalement être légers et d'une grande maniabilité.

(1) Dans le cas de l'irrigation par ruissellement, les pressions de services sont généralement moins élevées.

Les diamètres usuels des tuyaux varient entre 2 et 3 " selon la longueur de la rampe, le débit et les pertes de charges admissibles. Quant à la longueur standard du tuyau, elle est normalement de 6 ou 9 mètres.

- Canalisations souples

Ce type de canalisation nécessite un tuyau souple et pouvant résister à des pressions variant entre 2,5 et 3,5 bars. Le diamètre des tuyaux peut varier entre 15 et 30 mm, dépendant de la perte de charge entre la rampe et l'aspersion.

- Système d'assemblage

Les caractéristiques auxquelles doit répondre le système d'assemblage sont la robustesse, l'étanchéité, la rapidité et la facilité d'accouplement et de désaccouplement.

2.1.2 Choix des matériaux

a) Canalisations

- Canalisations secondaires enterrées

Pour les canalisations enterrées, les matériaux généralement utilisés sont l'amiante-ciment (classe 25) l'acier galvanisé type gaz, et la fonte. Le CPV ou le polyéthylène peuvent également être employés pour les diamètres inférieurs à 100 mm, leur utilisation devenant moins avantageuse économiquement au-dessus de ce chiffre.

- Rampes d'arrosage et canalisations secondaires aériennes

On se sert surtout de l'acier galvanisé, et les alliages légers d'aluminium, de manganèse et de magnésium. Les tubes en matières plastiques rigides étaient employés auparavant, mais leur fragilité et leur faible résistance aux rayons ultra-violets ainsi qu'aux changements de température les ont presque entièrement éliminés de ce domaine d'application. Dans le cas des canalisations appelées à être déplacées fréquemment, les tuyaux en alliage léger sont généralement préférés en raison surtout de leur poids inférieur pour un degré de résistance équivalent.

- Canalisations sauples de machines à irriguer

Pour ce type de canalisation, seul le tuyau en CPV plastifié armé d'un fil de rayonne est en mesure actuellement de satisfaire l'usage.

b) Systèmes d'assemblage

Pour les conduites d'adduction, les canalisations primaires et les canalisations secondaires enterrées, les raccords utilisés sont du même type que ceux employés dans tout système d'adduction d'eau. Ils sont normalement en fonte, en acier, ou en béton précontraint à âme tôle. Quant aux joints ils sont à emboîtement et peuvent être mécaniques ou automatiques flexibles.

Dans le cas des canalisations mobiles, deux types de raccords sont généralement employés : les raccords mécaniques et les raccords hydrauliques.

- Raccords mécaniques

Ce type de raccords assure une très bonne étanchéité, tolère des angles relativement importants entre deux tuyaux, et permet également de remplacer un tuyau sans affecter le reste de la canalisation. Son principal désavantage est d'être long à accoupler ou désaccoupler. Aussi est-il surtout utilisé dans les canalisations à déplacement limité où ses qualités, le rendent sinon supérieur au moins égal au raccord hydraulique.

- Raccords hydrauliques

Le raccord hydraulique est moins étanche ne consent que de faibles angles et ne permet pas de remplacer un tuyau sans affecter le reste de la canalisation. Par contre il assure des opérations rapides d'accouplement et de désaccouplement, ce qui favorise son utilisation par rapport au raccord mécanique dans le cas des canalisations à déplacements fréquents.

2.2 Drainage

Le drainage artificiel souterrain utilisé en agriculture consiste à évacuer le surplus d'eau contenu dans le sol afin d'obtenir un meilleur dosage d'eau, d'air et d'éléments nutritifs et ainsi améliorer le rendement des cultures. Il est normalement appliqué aux sols trop riches et vient compléter le drainage naturel.

2.2.1 Contraintes d'utilisation

Un réseau de drainage doit permettre l'interception et l'évacuation adéquates de l'excès d'eaux souterraines. A cette fin, un certain nombre d'ouvertures de captage, ou d'interception est nécessaire. De plus, il doit résister aux charges extérieures, à l'infiltration des racines, ainsi qu'à la corrosion et à l'érosion.

2.2.2 Choix des matériaux

Le grès, l'acier ondulé, le béton ainsi que les matières plastiques, en particulier le CPV, et le polyéthylène rigides ou souples sont les matériaux les plus généralement utilisés.

Dans le cas des tuyaux en acier ondulé, en béton et en matières plastiques, l'interception de l'eau est assurée par un ensemble de perforation réparties uniformément de chaque côté du tuyau alors que pour les tuyaux en argile, plus courts, et plus fragiles, l'interception est réalisée au moyen de joints ouverts entre chaque tuyau. Ce système par joints ouverts constitue d'ailleurs un désavantage par rapport aux tuyaux perforés car si les tuyaux ne sont pas posés avec précaution sur un fond uniforme, il s'ensuit un désalignement qui provoque l'envasement et ainsi rend le système inefficace. Bien que les tuyaux d'argile soient encore utilisés, en raison de leur faible coût d'achat, surtout pour les petits réseaux de drainage, ils sont de plus en plus remplacés par les tuyaux perforés en acier ondulé et surtout en matières plastiques.

Pour ces derniers, le tube souple et enroulable en polyéthylène ondulé supplante peu à peu le tuyau rigide en raison de son faible coût d'achat, de sa grande flexibilité, de sa facilité de pose et de la longueur des sections qui diminuent considérablement le nombre de joints.

Un autre type de matériau dont on se sert est le béton poreux, qui est un mélange de carbone sous forme de coke lié avec un peu de ciment. Le tuyau ainsi constitué a la propriété de laisser passer l'eau à travers ses parois, plus ou moins rapidement selon la composition du mélange. La porosité de ce dernier est exclusivement due à la capillarité de l'agrégat.

Le tuyau étant sans perforations et à joint conique comme le tuyau de béton ordinaire, il constitue ainsi une conduite complètement fermée où les sols fins et les racines ne peuvent pénétrer.

2.3 Piquets de plants

Les piquets sont généralement utilisés pour assurer la croissance rectiligne des vignes hautes ou basses et des haies fruitières ainsi que pour soutenir ou redresser les plantes et arbustes (tuteurage). Ces piquets, qui sont fixés dans le sol, doivent être résistants, souples, légers et de pose facile. Une bonne adhérence dans le sol est également nécessaire.

Les matériaux employés sont le bois et le métal, particulièrement l'acier. Dans le cas de l'acier, les piquets sont en tubes cintrés, mais non soudés, ce qui d'une part facilite la pose à la masse, et d'autre part, réduit le coût de fabrication. Les diamètres usuels sont généralement faibles (29, 35, 42 mm) et la longueur peut varier. Ces tubes comportent des points d'amarrage ou linguets qui peuvent être soit soudés soit formés par estampage.

2.4 Cloisons pour bétail

Dans l'aménagement des étables et écuries modernes, l'emploi des cloisons métalliques

tubulaires est souvent pratiqué pour assurer la séparation du bétail. Ces cloisons tout en étant robustes, économiques, et d'un bel aspect, permettent un meilleur entretien des stalles. De plus elles peuvent être démontées rapidement, ce qui rend plus souple l'utilisation des locaux.

Lorsque la forme tubulaire est employée, il s'agit habituellement de tubes d'acier au carbone de type gaz de diamètre 40/49 (1½").

2.5 Systèmes de trayage mécanique

Dans les fermes de production laitière de moyenne et grande importance, on fait appel de plus en plus aux systèmes automatisés de trayage mécanique. Ces systèmes sont habituellement complétés d'un réseau de canalisation dont le rôle est d'assurer la collecte du lait à partir de chacune des stalles et ce jusqu'au refroidisseur situé normalement à l'extérieur de l'étable.

En raison de la nature du produit transporté, il est essentiel que les tubes ne se corrodent pas et ne transmettent ni odeur ni goût. Ils doivent de plus être faciles à nettoyer, ce qui nécessite des parois lisses. La transparence des parois peut également être recherchée afin de permettre l'inspection à vue. Pour les boyaux de trayeuses, on doit ajouter la flexibilité aux caractéristiques appréciées.

L'acier inoxydable et le verre sont les deux matériaux couramment employés pour les canalisations de collecte. Le verre possède l'avantage de la transparence mais par contre il est moins robuste aux chocs.

Quant aux boyaux souples de trayeuses, ils sont habituellement en caoutchouc synthétique ou en polyéthylène plastifié transparent.

2.6 Réseaux d'abreuvement

Ce type de réseau sert à l'alimentation en eau du bétail à l'intérieur des étables. Il est généralement constitué de canalisations d'amenée fixées au plafond sur lesquelles sont branchées des colonnes descendantes alimentant les abreuvoirs proprement dits (1 abreuvoir pour 1 ou 2 têtes). Il existe également de tels réseaux dans les poulaillers importants.

Ces tubes sont le plus souvent en CPV ou en polyéthylène, quoique l'acier galvanisé peut aussi être employé.

2.7 Système d'arrosage et de pulvérisation

Les systèmes d'arrosage sont souvent utilisés sur les fermes pour assurer la croissance régulière des cultures maraîchères entre autres, et aussi de certains types d'arbres fruitiers. Ils sont aussi employés dans d'autres secteurs que l'agriculture pour l'entretien d'espaces verts et des fleurs: parcs publics, terrains de golf, etc.

Ces systèmes sont généralement mobiles, quoique dans certains cas, ils peuvent aussi être fixés et enterrés.

Dans ce dernier cas, les canalisations sont souvent en acier, noir ou galvanisé, alors que dans les systèmes mobiles on emploie surtout des tubes flexibles en caoutchouc ou en polyéthylène basse densité. Ce dernier matériau est toutefois de plus en plus utilisé comme tuyau d'arrosage.

Quant aux systèmes pour la pulvérisation sous pression de produits chimiques d'arbres, d'arbrisseaux d'arbres fruitiers, d'arbustes, etc., on emploie presque exclusivement des tuyaux flexibles en caoutchouc. Le caoutchouc du conduit intérieur doit être choisi de façon à résister à l'action des produits chimiques dissous dans l'eau ou fabriqués à base d'huile. Quant à la carcasse elle doit être en mesure de supporter les pressions parfois élevées de pulvérisation, particulièrement dans le cas de traitement des vergers et autres cultures similaires.

Pour la pulvérisation sous faible pression, la carcasse est généralement en plis de coton alors que pour celle sous haute pression, on emploie de préférence un guipage de fibres synthétiques.

Pour le revêtement extérieur, on emploie un caoutchouc résistant à l'abrasion, à l'huile et aux intempéries.

CHAPITRE XVII

INDUSTRIE MINIERE

1. DEFINITION

Ce chapitre comprend les installations souterraines ou de surface d'extraction du minerai, ou de tous autres produits tels que le sel, ainsi que les carrières sablières et gravières. Il comprend, également, les installations de premier traitement du minerai. Quant aux utilisations des tubes et des tuyaux dans les bâtiments et dans les équipements mobiles et fixes, elles sont traitées respectivement aux chapitres XIV, XXI et XXII.

2. USAGES

Les besoins de cette industrie en tubes et en tuyaux concernent principalement le transport de l'eau, de l'air comprimé et de matières en suspension ainsi que les systèmes de ventilation et de dépoussiérage. Les usages, généralement rencontrés, sont énoncés ci-après. Il faut, toutefois, remarquer que les types d'usages peuvent varier d'une installation à l'autre suivant le mode d'extraction, le type de minerai, l'équipement, etc.

2.1 Canalisations du transport de l'eau

Ce type de canalisation est utilisé pour amener l'eau dans les galeries souterraines et dans les puits à ciel ouvert où elle sert au refroidissement des équipements, à la dilution du minerai et même aux besoins de la consommation domestique. Il sert également à assurer le drainage et l'évacuation, par pompage, de l'eau qui s'accumule au fond des installations souterraines ou à ciel ouvert.

Les tuyaux utilisés, en plus d'être résistants à la pression et à la corrosion intérieures, doivent offrir une bonne résistance aux chocs extérieurs car, n'étant pas enfouis, ils sont susceptibles d'être soumis à des heurts fréquents. Ils doivent, de plus, avoir une certaine flexibilité et être d'un raccordement facile pour tenir compte, d'une part, de l'environnement et, d'autre part, du fait qu'ils sont appelés à être déplacés périodiquement en fonction de la progression des travaux d'extraction.

Les matériaux utilisés sont surtout l'acier et l'aluminium. Les tubes en acier peuvent être soudés soit longitudinalement, soit en spirale, et sont généralement nus. L'aluminium, bien que plus léger que l'acier et offrant une résistance comparable à la pression, est beaucoup moins résistant aux chocs extérieurs, ce qui constitue un net désavantage dans une installation minière où les canalisations, comme d'ailleurs le reste de l'équipement, sont soumis à de dures conditions.

2.2 Canalisations d'air comprimé

La majorité des installations minières utilisent, entre autres, l'air comprimé comme force motrice pour l'équipement, tant au lieu d'extraction qu'au lieu du premier traitement du minerai.

Les canalisations sont, généralement, en partie rigide et en partie souple, et doivent résister à des pressions de l'ordre de 6 à 9 kg/cm². Elles doivent, également, résister à la corrosion, supporter les chocs extérieurs et être de raccordement facile. Les conditions d'utilisation, pour la partie souple de la canalisation, sont particulièrement difficiles en raison de l'endroit où elle est généralement utilisée (équipement mobile de forage, chargeurs, etc.).

Pour les canalisations rigides, l'acier est le matériau le plus fréquemment employé en raison de sa robustesse et de son coût peu élevé. Il peut être soudé, soit longitudinalement, soit en spirale. L'aluminium peut aussi être utilisé à certains endroits où le tuyau est relativement protégé des chocs extérieurs. Dans le cas des canalisations souples, le néoprène ou le caoutchouc synthétique, à base de butadiène et de sodium (type BUNA), est utilisé comme élément intérieur de base. Il est renforcé de fils d'acier en tension et recouvert de caoutchouc synthétique résistant.

2.3 Canalisations pour le transport de matériaux divers

Dans toute installation minière, il existe des systèmes de convoyage ou de transport pour le minerai ou pour d'autres types de matériaux comme le sable, le gravier, le sel, etc. Suivant le type de minerai ou le type du matériau extrait, ainsi que des conditions d'exploitation, on utilise des convoyeurs à rouleaux ou à godets, ou des convoyeurs de type tubulaire utilisant l'air ou l'eau comme élément transporteur. Ces derniers sont surtout utilisés pour le transport des résidus sur de courtes distances.

Dans le cas où un système de convoyage par conduites est utilisé, les tuyaux doivent résister à la corrosion, aux chocs extérieurs, à la pression, (celle-ci étant toutefois généralement faible), et, surtout à l'abrasion ou à l'érosion; celle-ci sera plus ou moins rapide dépendant, entre autres, de la densité du matériel transporté, de la vitesse et du débit.

Les tuyaux utilisés sont, généralement, en acier de forte épaisseur soudé en spirale ou longitudinalement. On utilise aussi des canalisations en C.P.V. Celles-ci, en plus d'être légères et flexibles, ne sont pas sujettes à la rouille et ne s'altèrent pas avec le temps. Leur mauvaise résistance aux chocs extérieurs limite cependant leur emploi aux endroits relativement bien protégés des chocs extérieurs. Dans le cas où la distance de transport des résidus est assez importante, certains proposent l'utilisation de tuyaux avec une garniture intérieure spiralée afin de diminuer l'énergie

nécessaire au transport d'une quantité déterminée de solides. ⁽¹⁾

2.4 Systèmes de ventilation et de dépoussiérage

Toute installation souterraine nécessite un système de ventilation puissant et très développé, d'une part, afin de fournir, souvent à de grandes profondeurs, l'air nécessaire aux ouvriers et, d'autre part, pour évacuer les diverses émanations, en particulier, la fumée provenant de l'usage des explosifs. Pour l'amenée d'air dans les galeries, on utilise, généralement, des gaines alors que pour l'évacuation des émanations, on fait le plus souvent appel à des puits d'aération creusés à même le roc ou aux puits d'ascenseurs. Dans les endroits où la poussière de minerai dégagée est importante, des systèmes de dépoussiérage par le vide sont installés. Ceux-ci ont pour fonction d'aspirer l'air et de filtrer les particules en suspension.

Dans les deux cas de ventilation et de dépoussiérage, les conduites utilisées doivent surtout résister aux chocs extérieurs. Pour le dépoussiérage, en particulier, elles doivent, également, résister à l'érosion.

Pour les conduites à large diamètre, on utilisera surtout des gaines fabriquées sur place ou en atelier à partir de feuilles d'acier, alors que pour les conduites de dimensions moins importantes, des tuyaux en acier soudé en spirale ou longitudinalement seront employés.

L'aluminium peut être substitué à l'acier, cependant il offre une moins bonne résistance aux chocs.

On utilise également des tuyaux flexibles en néoprène, recouverts de coton et renforcés de fils d'acier en spirale. Ces tuyaux résistent bien à l'abrasion et à l'humidité et sont très utiles pour les endroits difficiles d'accès, en raison de leur grande flexibilité et de leur très faible poids. Par contre, ils ne sont pas très résistants aux chocs extérieurs. Ils sont utilisés, principalement, dans les installations mobiles.

(1) Pour une discussion plus détaillée, voir le chapitre XIX "Transport par pipe-line", sous-sections 2 et 3.

CHAPITRE XVIII

FORAGE, EXTRACTION ET COLLECTE

1. DEFINITION

Ce secteur comprend toutes les activités reliées à la recherche par forage du pétrole, du gaz, de l'eau et des minéraux métalliques et non métalliques, ainsi qu'à l'extraction et à la collecte des liquides. Il comprend également les opérations de forage pour des fins autres que celles de la recherche et de l'extraction, telles que les puits servant à l'évacuation des acides et des produits chimiques divers.

2. USAGES

Les principaux usages de tubes, que l'on retrouve dans ce domaine, sont, la colonne de forage, le coffrage, le tubage, ainsi que les canalisations de collecte. Il existe également d'autres usages complémentaires, moins importants en termes d'utilisation de tubes mais quand même nécessaires au bon fonctionnement des opérations, telles les canalisations d'amenée d'eau et de boue de forage au puits de forage, les canalisations de transport de carburant pour les machines, celles servant à l'évacuation des déchets et de l'eau de forage, etc.

2.1 Forage

Par forage, on entend ici toute opération consistant à percer un trou pour la recherche et/ou l'extraction de pétrole, de gaz ou d'eau, pour la prospection de métaux, de houille ou d'autres minerais non métalliques, ainsi que pour toute autre raison où la prise d'échantillons, à certaines profondeurs, s'avère nécessaire.

Le forage pouvant s'effectuer par percussion ou par rotation, l'utilisation de tubes, pour ledit forage, dépend de la méthode employée. Dans le cas où on emploie la méthode par percussion, aucun tube n'est utilisé pour le forage proprement dit, celui-ci étant effectué au moyen d'une sonde à la partie inférieure de laquelle est fixé un butin, appelé aussi parfois cuiller. Cette sonde est accrochée à un câble auquel est imprimé un mouvement vertical alternatif. Pour des trous de faible profondeur, par exemple des trous de dynamitage, on utilise la méthode par percussion à air comprimé où l'effet de percussion est effectué directement sur le butin, au fond du trou, au moyen d'air comprimé.

Si, par contre, c'est la méthode par rotation qui est employée, le tube constitue alors une partie intégrante et essentielle de l'équipement de forage et, en particulier, de la colonne de forage.

Celle-ci comprend essentiellement quatre parties : le trépan, le tube-masse, la colonne proprement dite et, finalement, une section d'adaptation ou tige d'entraînement.

- Le tube-masse

Le tube-masse est constitué d'un tube de forte épaisseur, d'environ 9 mètres de long, au bout duquel est fixé le trépan et dont le rôle est d'assurer un poids suffisant à ce dernier et de l'empêcher de dévier. Il est donc plus lourd que le tube de forage proprement dit. Suivant les conditions, plusieurs sections peuvent être utilisées. Ces tubes sont généralement en acier très épais devant posséder une très grande rigidité.

- La colonne de forage proprement dite

La colonne de forage proprement dite est constituée de sections tubulaires d'environ 9 mètres de long et de 3 1/2 ou 5 pouces de diamètre. Le rôle de ces sections est d'assurer la transmission du mouvement de rotation au trépan, de transporter la boue de forage ou l'eau nécessaire au refroidissement, à la lubrification du trépan ainsi qu'à l'évacuation des fragments de roches. La colonne sert également à l'extraction de gaz ou de pétrole dans le cadre des tests effectués sur la valeur du gisement. En raison des profondeurs souvent importantes, allant jusqu'à plusieurs milliers de mètres, les tubes, ainsi que les joints, doivent être d'une très grande résistance. Ils doivent, en effet, pouvoir supporter le poids énorme de la colonne de forage d'une part et, d'autre part, les efforts causés par le mouvement de rotation et ce, sans compter les nombreuses manutentions (extractions, déplacements, dévissages, etc.) auxquelles ils sont soumis.

Les normes auxquelles il est référé habituellement sont les normes API 5A, 5AC et 5AX pour les tubes et 5B pour le filetage.

Jusqu'à présent, les tiges de forage ont presque exclusivement été constituées de tubes d'acier sans soudure. Toutefois, en raison des nombreuses défaillances qui y sont associées (l'expérience en a précisé plus de 23 types), et également du poids de ces tubes ainsi que de leur influence sur les coûts de forage, d'autres matériaux ont été expérimentés. L'un des résultats de ces expériences est l'avènement du tube de forage en aluminium dont les deux principaux avantages apparents sont, un poids plus léger et une meilleure sécurité de fonctionnement (9 types de défaillances démontrées par rapport à 23 pour l'acier). Depuis 1961, plus de 350 000 mètres de tubes de forage en aluminium ont été mis en usage dans le monde, dont plus du tiers dans les deux dernières années.

Au cours des dernières années, de nombreux puits ont été forés avec des tiges en aluminium, en particulier au Texas, en Argentine et en Colombie, et, dans chaque cas, l'emploi de l'aluminium a permis une plus grande rapidité de forage et une diminution des coûts, tant au niveau du forage, lui-même, qu'au niveau du transport et de la manutention. Toutefois, leur emploi est encore limité en raison surtout de l'expérience relativement récente qui y est associée.

- La tige d'entraînement

La quatrième section, dite d'entraînement, est constituée d'un tube très épais et très résistant, à section carrée et dont le rôle est d'assurer le transfert du mouvement de rotation de la table de rotation à la colonne de forage. Ce tube, étant en acier très résistant, nécessite une fabrication spéciale.

Tous ces tubes de forage sont utilisés généralement pendant deux ou trois ans avant d'être déclassés. Ils peuvent ensuite être employés dans le domaine de la construction comme étais ou comme supports.

A part la colonne de forage elle-même, l'équipement comprend également des tubes pour les utilisations suivantes :

- Canalisations d'amenée d'eau

L'eau est un élément nécessaire à toute opération de forage. Elle est utilisée soit comme telle dans le cas de forage minier, soit comme élément de boue de forage pour les hydrocarbures. L'approvisionnement en eau est généralement assuré par un puits, ou par toute autre source, situé, l'un comme l'autre, dans les environs du lieu de forage, et par un système de canalisation d'amenée d'eau.

Dans le cas où l'eau est utilisée directement, la pression nécessaire est assurée par la canalisation d'amenée. Les pressions rencontrées sont généralement de 4 à 12 kg/cm², et peuvent atteindre 40 kg/cm² pour les forages de 1 200 mètres et plus. Les diamètres des tubes utilisés sont normalement de 1, 1 1/4 et 1 1/2 pouce. Les tuyaux utilisés doivent donc être résistants à la pression tout en étant faciles à manier et d'une possibilité de raccordement rapide. Étant habituellement installés en surface, ils doivent, de plus, résister aux charges extérieures accidentelles ainsi qu'aux intempéries.

Dans les cas où les pressions ne sont pas trop élevées, le boyau en caoutchouc a généralement remplacé le tuyau rigide en raison de sa plus grande maniabilité et de sa plus grande rapidité de raccordement. Le tuyau en plastique peut, également, être employé pour des pressions de service ne dépassant pas 12 kg/cm².

Pour les pressions plus élevées, on utilise soit l'acier soudé longitudinalement ou l'aluminium. Le premier est généralement préféré au second en raison de sa robustesse. Toutefois, l'aluminium étant plus léger, il peut être utilisé avantageusement dans certains cas.

- Autres canalisations

Une installation de forage comprend également divers autres types de tubes, soit des tubes haute pression pour le transport de boue de forage, fabriqués généralement en acier sans soudure, des canalisations pour le transport de carburant, en

acier sans soudure ou en caoutchouc armé, des conduites d'air comprimé de 7 kg/cm² de pression, en acier ou en caoutchouc armé, des tubes de commande hydraulique à moyenne pression, en acier rigide ou flexible, ainsi que des tuyaux, en acier, pour l'évacuation.

2.2 Coffrage

Le coffrage (casing) d'un trou de forage est principalement nécessaire pour éviter l'affaissement des parois. Il peut être partiel ou total suivant les conditions du sous-sol, du type de forage, ainsi que de l'utilisation ultérieure envisagée pour l'extraction. Dans ce dernier cas, le coffrage est habituellement descendu sur toute la profondeur du trou et sert également de protection au tubage.

Les éléments de coffrage sont des tuyaux raccordés et cimentés en place. Ils sont donc fixes et, dans la plupart des cas, utilisés une fois pour toutes. Leur diamètre peut varier en fonction de la profondeur dépendant des conditions de forage. Les diamètres nominaux rencontrés généralement sont de 4 1/2, 7, 9 5/8 et 13 3/8 pouces, le diamètre de 7 pouces étant toutefois le plus courant.

Normalement, les tubes sont en acier sans soudure et doivent répondre aux normes API 5A, 5AC, 5AX et 5B en ce qui concerne particulièrement le pétrole et le gaz. Quant aux raccordements, ils sont généralement filetés et manchonnés.

On emploie également pour les puits d'évacuation d'acides ou pour les puits de repressurisation des gisements des tubes de coffrage en plastique renforcé de fibres de verre.

2.3 Tubage

Lorsque l'exploitation d'un puits est jugée rentable, et une fois le coffrage mis en place, on procède à l'installation d'une conduite tubulaire (tubing) à l'intérieur du coffrage et dont le rôle est d'assurer la remontée des produits. Cette conduite tubulaire peut, également, être utilisée soit pour l'injection de gaz ou d'eau afin de repressuriser le gisement, soit pour la descente des acides ou produits chimiques dans le cas des puits d'évacuation.

Cette conduite, dont le diamètre peut varier entre 2 3/8 et 6 pouces maximum, doit être résistante aux charges, à la corrosion, ainsi qu'à la pression intérieure. De plus, les joints doivent être très étanches et très résistants. Les normes sont les mêmes que celles mentionnées précédemment, soit API 5TD, 5A, 5AC, 5AX et 5B.

Les tubes utilisés sont en acier généralement sans soudure avec des raccordements filetés et manchonnés. Pour les puits d'évacuation, ainsi que pour certains puits d'extraction où les conditions de corrosion sont particulièrement destructrices, le polyester renforcé de fibres de verre est également utilisé avec beaucoup de succès et sa résistance à la corrosion s'est révélée être de loin supérieure à celle des tuyaux en

en acier habituellement employés. Aux Etats-Unis, certains puits d'évacuation, utilisant ce matériau, fonctionnent depuis 1954. Les profondeurs de ces puits varient de 100 à 2 000 mètres avec des conditions d'opération allant jusqu'à 240 kg/cm² de pression d'injection.

2.4 Collecte

Les canalisations de collecte (pipe-lines) servent à transporter le produit du ou des puits jusqu'à un centre de collecte en passant, s'il y a lieu, par les diverses installations de séparation. Le diamètre de ces canalisations peut varier de 2 3/8 pouces à la sortie du puit jusqu'à 14 pouces et même plus pour les canalisations reliant plusieurs groupes de puits. Ces tuyaux doivent surtout résister à la pression intérieure ainsi qu'à la corrosion. Ils sont fabriqués en acier soudé ou en acier sans soudure, d'épaisseurs variables suivant la pression. Ils peuvent également être en plastique renforcé de fibres de verre, quoique l'emploi de ce matériau n'en soit qu'à ses débuts.

Les normes habituellement suivies sont les normes API STD 5L, STD 5LR, STD 5LS et STD 5LX.

CHAPITRE XIX

TRANSPORT PAR PIPE-LINE

1. DEFINITION

Le secteur du transport tel que considéré ici concerne exclusivement l'acheminement de fluides ou de solides sur des moyennes et longues distances au moyen de pipe-lines. Dans le cadre des opérations de transport sont considérées également les installations de chargement et de déchargement.

Sont exclus les systèmes de distribution en milieu urbain, les canalisations de collecte dans les champs pétrolifères, ainsi que les canalisations utilisées à l'intérieur des installations minières et industrielles.

2. USAGES

La fonction d'un pipe-line est de contenir et de transporter un fluide, à une pression et à un débit déterminés, pendant une période de temps indéfinie et sans aucune perte pouvant résulter d'un bris.

Cependant, chaque type de fluide possède des caractéristiques particulières qui influent sur les modalités de transport et, conséquemment, sur la conception du pipe-line à utiliser. Ainsi, le transport de l'eau est généralement effectué sur des distances beaucoup moins longues que celui du pétrole ou celui du gaz et s'effectue sous des conditions habituellement moins sévères, tandis que le transport des solides, par exemple, est plus complexe et doit tenir compte autant des notions hydrauliques que de la composition des solides à transporter.

Afin de tenir compte des particularités propres à chacun des groupes ou catégories de fluides, soit l'eau, les hydrocarbures et leurs dérivés, et les solides fluidifiés, chacun de ces groupes est considéré séparément ci-après.

2.1 Eau

Le transport de l'eau par pipe-line est effectué principalement pour l'alimentation des agglomérations, des périmètres d'irrigation ainsi que de certaines installations industrielles où l'utilisation de grandes quantités d'eau est nécessaire au processus de fabrication ou de traitement. Il est également employé, dans le cadre des installations hydro-électriques, pour l'alimentation sous pression des turbines ainsi que pour des fins de dérivation.

Il existe différentes façons d'assurer l'acheminement de l'eau, soit par canaux artificiels de surface ou surélevés, soit par tunnels, ou par pipe-lines. Chacune de ces méthodes peut être employée séparément ou conjointement, dépendant,

entre autres, des conditions topographiques et climatiques, du type d'utilisation, ainsi que des coûts d'installation et d'entretien.

La méthode par pipe-line est toutefois celle qui est la plus fréquemment employée en raison de ses nombreux avantages dont les principaux sont la sécurité de fonctionnement, le peu d'entretien, la flexibilité vis-à-vis la topographie, l'absence d'obstacles aux travaux ou infrastructures de surface, l'absence de pertes par évaporation, la minimisation des risques de contamination, etc.

2.1.1 Normes et contraintes d'utilisation

Lors de la construction d'un pipe-line pour le transport de l'eau, plusieurs facteurs entrent en ligne de compte dont certains sont généraux et d'autres dictés par les conditions particulières propres à chaque installation. Ces facteurs sont habituellement les suivants:

- Résistance aux charges et aux chocs extérieurs.
- Résistance aux effets d'expansion et de contractions ainsi qu'aux efforts de flexions.
- Résistance à la corrosion et aptitude du matériau à recevoir des traitements de surface.
- Dans certains cas, résistance à des conditions climatiques particulières.
- Disponibilité dans les diamètres désirés.
- Système de joints efficaces et flexibles, non conducteurs, lorsque nécessaire, pour éliminer les effets électrochimiques à longue distance, ainsi que les attaques causées par les courants vagabonds.

2.1.2 Choix de matériaux

Les matériaux généralement utilisés pour les pipe-lines d'adduction d'eau sont l'acier, la fonte, l'amiante-ciment et le béton précontraint. Le choix de l'un ou de l'autre de ces matériaux n'est pas surtout basé sur leurs caractéristiques physiques propres, chacun étant apte techniquement à être utilisé, mais plutôt sur des considérations autres, comme le coût d'achat, la disponibilité, les problèmes de pose, etc.

Toutefois, l'emploi de l'amiante-ciment et de la fonte est limité par la gamme des diamètres fabriqués. Les tuyaux en amiante-ciment sont normalement fabriqués avec des diamètres allant jusqu'à 200 mm et avec des joints à emboîtement, ceux ayant des diamètres allant jusqu'à 1.000 mm des joints à bride et ceux en fonte ductile avec des diamètres allant jusqu'à 1.250 mm. Dans les

cas où les conditions nécessitent des pipe-lines ayant des diamètres supérieurs à 1.250 mm, le choix est limité à l'acier ou au béton précontraint, ce dernier toutefois étant généralement préféré pour des raisons économiques.

Le bois peut également être utilisé, avec avantage, comme matériau pour les pipe-lines d'adduction d'eau. Quoiqu'étant de plus en plus délaissé au profit des matériaux mentionnés précédemment, il a été employé avec succès dans le passé et peut encore être apprécié, particulièrement pour les conduites de grand diamètre. Ce type de matériau est présentement utilisé pour la fabrication de conduites ayant jusqu'à 7 mètres de diamètre avec des pressions de colonnes d'eau de l'ordre de 70 à 100 mètres. Ses principaux avantages sont, l'absence d'expansion et de contraction, son bas coefficient d'écoulement et sa très bonne résistance à la corrosion et à l'érosion. De plus, l'emploi de bandages en acier permet, grâce à un espacement plus ou moins grand, de tenir compte de différentes conditions de pression rencontrées le long d'une conduite de ce type.

Finalement, il constitue un matériau non négligeable pour les pipe-lines installés en régions accidentées et difficiles d'accès, en raison des facilités de transport et de pose qu'il offre.

2.2 Hydrocarbures et dérivés

Le pétrole, le gaz, ainsi que certains produits raffinés, de grande consommation, tels l'essence et le gaz-oil, sont les produits le plus généralement transportés par pipe-lines.

2.2.1 Le pétrole et les produits raffinés

Au début de l'industrie pétrolière, le pétrole était transporté dans des barils en bois chargés sur des voitures jusqu'aux lignes de chemin de fer d'où ils étaient acheminés vers les raffineries ou les ports de chargement.

Toutefois, peu d'années après les débuts de l'industrie, le volume de pétrole extrait était déjà devenu trop important pour être complètement transporté par barils. C'est alors qu'on se tourna vers l'utilisation du pipe-line, méthode qui avait été utilisée avec succès pour le transport de l'eau et du gaz.

Un des premiers pipe-lines pour le transport du pétrole fut construit en 1865 dans les champs pétrolifères de Pennsylvanie. C'était un tuyau en fer de 2 pouces de diamètre d'une longueur d'environ 8 kilomètres et dont la capacité de transport était de 800 barils par jour sous une pression de 14 kg/cm². Le premier long pipe-line, constitué d'un tuyau en fer de 6 pouces de diamètre, fut construit entre les champs de Pennsylvanie et New-York et avait une capacité de transport de 10.000 barils par jour.

Depuis lors, le volume de plus en plus grand de pétrole à transporter, les distances plus longues, l'amélioration constante des matériaux, des techniques de fabrication et de pose, ainsi que des installations de contrôle, ont amené la construction de pipe-lines de plusieurs centaines de kilomètres de longueur ayant des diamètres allant jusqu'à 60 pouces, et opérant sous des pressions pouvant atteindre 80 à 100 kg/cm².

Le pipe-line est utilisé principalement pour acheminer le pétrole entre les gisements, les raffineries et les ports de chargement ou de déchargement. Un même pipe-line peut relier un ou plusieurs gisements à une ou plusieurs destinations grâce à un système d'embranchements. Il est également utilisé pour le transport jusqu'aux centres industriels, de certains produits raffinés de grande consommation, tels l'essence et le gaz-oil.

Ses principaux concurrents sont le transport par eau et le transport par chemin de fer. Le transport par eau est généralement le moins coûteux suivi, respectivement, du transport par pipe-line et de celui par chemin de fer. Le choix du moyen de transport est surtout déterminé en fonction du coût et de la situation géographique.

2.2.1.1 Contraintes et normes d'utilisation

Le pipe-line, pour le transport du pétrole, doit répondre aux mêmes contraintes que celles décrites précédemment pour le transport de l'eau. Il doit être, toutefois, d'une plus grande résistance à la pression intérieure, celle-ci étant généralement supérieure à celle utilisée pour l'eau et pouvant atteindre 100kg/cm². Le facteur de sécurité de fonctionnement est également d'une très grande importance et, conséquemment, la résistance à la corrosion du matériau choisi devra être particulièrement élevée, ainsi que l'efficacité des joints. Ces facteurs sont d'autant plus critiques dans le cas des pipe-lines sous-marins où les tuyaux doivent, en plus, résister à la corrosion extérieure causée par l'eau salée, aux fortes charges extérieures, ainsi qu'à l'effet des courants.

D'une façon générale, et dans le cas des pipe-lines sous-marins, en particulier, les problèmes du transport des tuyaux aux chantiers, ainsi que les conditions de pose, doivent également entrer en ligne de compte dans le choix du matériau.

Les normes auxquelles il est référé habituellement pour le transport du pétrole par pipe-line sont les normes 5 LS et 5 LX de l'American Petroleum Institute.

2.2.1.2 Choix des matériaux

Depuis de nombreuses années, l'acier est le seul matériau utilisé. Sa robustesse, tant au niveau du transport des tuyaux et de la pose qu'au stade du fonctionnement, sa résistance à la pression et aux effets de la corrosion, sa flexibilité de raccordement, la sécurité relative concernant un bris éventuel, ont été parmi les principaux avantages qui ont déterminé l'utilisation de ce type de matériau plutôt que les autres habituellement utilisés dans la fabrication de tuyaux.

Toutefois, les problèmes de corrosion, la nécessité de fabriquer des pipe-lines ayant une plus grande sécurité de fonctionnement, et l'existence de conditions topographiques souvent particulièrement difficiles, ont amené l'étude de nouveaux matériaux. Ainsi, les recherches entourant la construction d'un pipe-line dans les régions arctiques ont fait apparaître la possibilité d'utiliser un composé d'époxy et de verre renforcé comme matériau de base. Ce matériau est également étudié pour utilisation dans la construction des pipe-lines sous-marins. Ses principaux avantages sont, une résistance supérieure à la corrosion, un poids plus léger et une meilleure flexibilité que celle de l'acier.

2.2.2 Les gaz

Le transport du gaz a été, pendant longtemps, limité à la distribution, en milieu urbain, de gaz obtenu par distillation de houille. Toutefois, la découverte et la mise en exploitation de nombreux et importants gisements de gaz naturel, situés souvent dans des endroits éloignés des grands centres de consommation, et l'essor remarquable de son emploi qui s'ensuivit, tant pour usages industriels que pour usages domestiques, ont nécessité la mise en place d'un système de transport et de distribution très élaboré.

Ce système, outre les réseaux traditionnels de distribution, comprend les pipe-lines de transport à grandes distances, appelés aussi gazoducs ou feeders, ainsi que les antennes ou branchements de répartition, dont le rôle est de relier le gazoduc aux différents réseaux de distribution proprement dits.

2.2.2.1 Normes et contraintes d'utilisation

Les tuyaux utilisés dans la construction des gazoducs sont soumis sensiblement aux mêmes contraintes que celles auxquelles sont soumis les pipe-lines servant au transport du pétrole. On doit, toutefois, apporter une attention particulière au problème de la corrosion intérieure étant donné que le gaz naturel contient souvent des substances corrosives. La volatilité du gaz constitue une autre contrainte non négligeable qui nécessite un système de joints d'une étanchéité parfaite. Dans le cas des gazoducs posés en mer, la corrosion externe, ainsi que les conditions de transport et de pose sont autant de contraintes à faire entrer en ligne de compte dans le choix du matériau.

Les diamètres pour gazoducs sont, normalement entre 20 et 48 pouces alors que ceux pour les antennes varient entre 6 et 20 pouces, avec des pressions de service pouvant atteindre 85 bars et parfois plus.

Les normes habituellement utilisées sont celles préconisées par l'American Petroleum Institute pour le transport du pétrole, soit les normes 5 LX et 5 LS.

2.2.2.2 Choix de matériaux

L'acier est le matériau le plus fréquemment utilisé. Toutefois, le plastique, renforcé de fibre de verre, est également susceptible d'être employé.

En ce qui concerne l'acier, les tuyaux peuvent être soudés longitudinalement, avec ou sans expansion à froid, ou être soudés en spirale. Les revêtements normalement utilisés sont l'époxy pour la surface intérieure, et un composé de fibre de verre, de brai de pétrole et de papier Kraft pour l'extérieur. Pour les antennes, l'acier sans soudure est utilisé, spécialement pour les canalisations à haute pression.

Dans le cas des antennes fonctionnant à moyenne pression, la fonte ductile peut également être utilisée avec un système de joints mécaniques flexibles et avec un revêtement intérieur de goudron ou de vernis. Son principal avantage réside dans sa très bonne résistance à la corrosion. Son poids constitue toutefois un désavantage pendant les opérations de pose.

2.3 Solides fluidifiés

Le transport, par canalisations et sur de courtes distances, de matières solides est une méthode qui existe depuis plusieurs années dans l'industrie, particulièrement dans le secteur minier et dans celui du drainage. La fluidification est obtenue soit par le mélange avec un liquide, d'eau, généralement, ou soit avec l'air. Toutefois, l'utilisation du pipe-line pour le transport à longues distances est relativement récente. A notre connaissance, la première utilisation d'un pipe-line sur longue distance eut lieu vers 1957, aux Etats-Unis, entre Cadix et Cleveland, pour l'approvisionnement en charbon d'une usine thermique. La conduite utilisée à cet effet, était longue de 170 kilomètres et avait une capacité annuelle de transport de 1 million de tonnes. Depuis, plusieurs autres pipe-lines ont été construites dans le monde, en particulier aux Etats-Unis, au Chili, en Afrique du Sud et en Tasmanie, pour le transport de concentrés de cuivre et de fer, de gelsonite, de charbon ainsi que d'uranium contenant des résidus aurifères. Parmi les plus importants, mentionnons celui de Black Mesa Pipe-Line Inc., Arizona, dont la longueur est de 440 kilomètres, le diamètre de 18" et la capacité de transport de 5 millions de tonnes de charbon pulvérisé par an.

Les points généralement reliés par moyen de transport sont les gisements, ou lieux d'extraction, les ports de chargement et les utilisateurs.

L'utilisation de ce mode de transport étant fonction de la composition des solides à transporter, et de leur aptitude à être fluidifiés, de nombreuses recherches sont effectuées concernant la fluidification de différentes matières solides et il est raisonnable d'anticiper une utilisation plus poussée de ce moyen de transport pour l'avenir. Parmi les autres matières dont on envisage, dès maintenant, la possibilité d'être transportées par pipe-lines, mentionnons la potasse, le soufre, les minerais de cuivre/nickel, les composés de silice/kaolin, le gypse, les copeaux de bois, ainsi

que divers types de déchets solides. De plus, il faut y ajouter l'emploi éventuel de capsules circulant dans les pipe-lines.

2.3.1 Normes et contraintes d'utilisation

Le bon fonctionnement et la durée de vie d'un pipe-line, pour le transport de solides fluidifiés, reposent sur une coordination très serrée entre la composition du mélange transporté et les caractéristiques hydrauliques du pipe-line. Il est évident qu'un mauvais dosage de liquide et de solide peut entraîner une usure de la conduite à très court terme, particulièrement dans les courbes.

Ce problème est accentué lorsque l'air est utilisé comme élément transporteur. Quant aux autres contraintes, elles sont sensiblement identiques à celles rencontrées pour le transport des fluides.

2.3.2 Choix des matériaux

Le seul matériau employé jusqu'à maintenant est l'acier en raison surtout de sa robustesse et de la résistance à l'érosion que lui confère sa dureté. Certains alliages, plus résistants, peuvent être employés, mais ceci augmente le coût du matériau. Aussi, cherche-t-on, dans la mesure du possible, à améliorer la composition du mélange afin de le rendre moins érosif. Les joints sont faits au moyen de soudure et une attention toute particulière doit être apportée aux courbes, en raison du taux élevé d'érosion qui prévaut.

CHAPITRE XX

TUYAUTERIES INDUSTRIELLES

1. DEFINITION

Ce chapitre porte sur l'ensemble des tubes et tuyaux employés comme conduites de fluides liquides ou gazeux dans l'industrie de transformation. La définition comprend exclusivement les tuyauteries reliées aux processus de transformation et exclut par conséquent les installations de service tels alimentation en eau potable, assainissement, téléphone, électricité, ventilation, chauffage. Tous ces usages sont considérés comme faisant partie de l'industrie du bâtiment et sont donc traités au chapitre XIV. Il est évident toutefois que certains procédés industriels peuvent nécessiter des systèmes de chauffage, de ventilation ainsi que des installations électriques particulières. Dans ces cas, les usages de tubes et tuyaux qui y sont associés seront inclus dans le présent chapitre.

Sont exclues également les pièces d'équipement auxquelles sont reliées les tuyauteries. Ces diverses pièces sont traitées au chapitre XXI : Equipements industriels.

2. USAGES

Les usages afférents à la définition donnée précédemment ont tous un dénominateur commun qui est l'acheminement de fluides liquides ou gazeux dans le cadre d'un processus de transformation (process piping) et également à des fins d'évacuation. Dans la présente section il ne sera évidemment pas fait mention de tous les usages possibles étant donné leur trop grand nombre. En effet ceux-ci étant déterminés par la nature des fluides transportés et les conditions d'opération (températures, vitesses, pressions etc.) il s'ensuivrait une énumération qui pourrait s'avérer fort longue et finalement de peu d'intérêt dans le cadre du présent rapport.

Le choix des matériaux étant toutefois relié à ces considérations, il faut quand même tenir compte dans une certaine mesure de la particularité des usages. Ceci sera fait par une description des principaux types d'usages c'est-à-dire selon la nature des fluides et des conditions d'opération.

La liste qui suit énumère les principales industries où la tuyauterie fait partie intégrante du processus de transformation et constitue généralement une part appréciable de l'investissement total.

- Industrie chimique
- Industrie pétrochimique
- Industrie des plastiques
- Industrie du caoutchouc

- Industrie du textile
- Industrie des pâtes et papiers
- Industrie des produits alimentaires : Laiteries, brasseries, usines de liqueurs douces et autres, distilleries, raffineries de sucres, eaux minérales.
- Industrie des fertilisants
- Industrie des produits pharmaceutiques
- Industrie de l'énergie : usines thermiques

3. CONTRAINTES ET NORMES D'UTILISATION

Les contraintes associées aux tuyauteries industrielles sont, à l'instar des usages, nombreuses et variées, dépendant de la nature des produits transportés et des conditions d'opération.

Les différentes formes de corrosion, les pressions de service et les températures élevées, la concentration, la vitesse, les chocs thermiques, l'absence de contamination, de décoloration et de goût des produits (industries alimentaires et pharmaceutique) comptent parmi les principaux éléments à considérer.

La température est importante en raison de l'activité chimique accrue qui accompagne généralement une hausse de température. Certains matériaux peuvent être imperméables à une substance à température normale et être rapidement érodés au point d'ébullition ou au-dessus.

La concentration d'une solution doit être considérée avec un très grand soin. L'acide sulfurique, par exemple, peut être facilement transporté sous forme concentrée dans des tuyauteries d'acier ou de fonte alors que le même acide sous forme diluée est beaucoup plus endommageable et difficile à transporter. La situation est inversée avec plusieurs autres acides.

La vitesse du fluide a également son importance en raison de la tendance au détachement de la pellicule protectrice de surface à l'intérieur des tuyaux lorsque une haute vitesse y existe. De la même façon le choc thermique causé par une brusque variation de température peut provoquer la fissuration ou l'écaillage de la pellicule protectrice.

La résistance aux chocs extérieurs, la contraction et la dilatation, l'aptitude aux revêtements, l'étanchéité des joints, le poids, la propreté, le coefficient d'écoulement la disponibilité sont d'autres facteurs additionnels qui doivent être considérés en fonction des conditions particulières à l'usage. Dans certains procédés de transformation ou de traitement, la transparence peut également être recherchée

pour permettre l'inspection visuelle de l'écoulement, de la propreté et de la qualité de la substance transportée.

4. CHOIX DES MATERIAUX

Il y a plusieurs façons d'aborder la question du choix des matériaux, mais il faut admettre que le meilleur point de départ est de posséder une connaissance approfondie des conditions d'opération. Ainsi doit on connaître les types de fluides en contact avec les tuyaux, tant à l'intérieur comme à l'extérieur, la température et la pression, ainsi que les contraintes externes auxquelles les tuyaux peuvent être soumis (chocs, etc.). Cette connaissance permet, généralement, d'établir les performances nécessaires qui dicteront le choix préliminaire des matériaux.

Le deuxième élément à considérer est celui concernant les coûts d'installations initiaux. Cet aspect économique du choix des matériaux est d'une importance presque égale à celui des performances étant donné que le but généralement recherché est d'obtenir un niveau donné de performance à un coût minimum.

Un troisième élément peut intervenir, soit les coûts d'entretien à long terme. Cet élément est toutefois toujours difficile sinon impossible à évaluer vu le grand nombre de variables impliquées.

Les éléments mentionnés précédemment, sauf le troisième sont relativement faciles à préciser. Mais le problème se complique au niveau du comportement des divers matériaux vis-à-vis ces éléments, et particulièrement du premier, c'est-à-dire des conditions d'opération.

La connaissance de la performance d'un matériau donné sous des conditions d'opération précises est davantage le fruit de l'expérience passée que de considérations théoriques. Ainsi en ce qui concerne les tuyaux métalliques, malgré la grande diversité des alliages existants, on possède une solide base de renseignements sur leur comportement dans diverses situations. Ceci n'est pas le cas toutefois lorsque l'on envisage les matières plastiques.

Le développement rapide de celles-ci au cours des dix dernières années, allié à l'absence de système de classification universellement accepté et du peu de renseignements disponibles sur les performances établies, a eu pour effet d'augmenter considérablement les dimensions et la complexité du choix. Il devient vite évident qu'apporter des réponses à toutes les questions qui doivent être prises en considération dans un choix constituerait en soi une véritable encyclopédie. Aussi pour cette catégorie de matériaux nous nous en tiendrons seulement à ceux les plus couramment utilisés.

Compte tenu des commentaires précédents, nous présentons d'abord dans les pages qui suivent une liste des principaux matériaux utilisés, suivis d'une analyse succincte concernant les applications générales et les plus courantes de ces

matériaux. Cette analyse est suivie d'une section portant sur le problème des coûts. Cette section est complétée de tableaux montrant sous forme d'indices, les variations de coûts de systèmes de tuyauteries utilisant certains des matériaux les plus utilisés à l'heure actuelle comme tuyauteries dans les installations industrielles.

4.1 Liste des matériaux couramment utilisés

La liste qui suit énumère les divers types de matériaux et alliages utilisés pour tuyauteries selon que ces dernières sont reliées directement au processus de transformation, sont employées pour le drainage et l'évacuation ou sont utilisées comme canalisations de service (eau, gaz, air comprimé, vapeur).

4.1.1 Processus de transformation

- Fer
- Acier au carbone
- Acier inoxydable : Types 304, 304L, 309, 309S, 310, 310S, 316, 316L, 317, 317L, 321, 347, 348, 405, 410, 430, 446
- Aluminium et alliages : Types 1060, 1100(2S), 3003(3S), 5052(52S), 6061, 6063
- Nickel et alliages :
 - Monel
 - Inconel
 - Hastelloy A, B, C et D
- Plomb
- Titane
- Zirconium
- Tantalum
- Plastique (Polyester) renforcé de fibre de verre
- Grès cérame
- Polyéthylène
- Polypropylène
- Chlorure de polyvinyle

- Chlorure de polyvinyle surchloré
- Verre borosilicaté

A cette liste, il faut ajouter les tuyaux avec revêtement intérieur. Ceux-ci sont généralement en acier au carbone, et parfois en aluminium. Les revêtements les plus couramment utilisés sont le verre, le caoutchouc, le chlorure de polyvinylidène, le polypropylène, le polyether chloré, le fluorure de polyvinylidène, le tétrafluoroéthylène (Teflon), le titanium, le tantalum et le zirconium. Cette combinaison permet d'allier les propriétés anti-corrosives des revêtements aux caractéristiques mécaniques des tuyaux en acier.

4.1.2 Evacuation et drainage

- Fonte
- Duriron
- Plastique renforcé de fibre de verre
- Polyéthylène
- Polypropylène
- Chlorure de polyvinyle
- Chlorure de polyvinyle chloré
- Verre borosilicaté
- Béton
- Amiante-ciment
- Grès cérame

4.1.3 Canalisations de services

- Fer
- Acier
- Fonte
- Cuivre

4.2 Matériaux les plus couramment utilisés

4.2.1 Acier inoxydable

Parmi l'ensemble des matériaux listés précédemment, l'acier inoxydable de divers grades est sans doute celui qui est le plus largement utilisé. Sa combinaison de propriétés physiques et mécaniques lui permet de résister à la corrosion, de protéger les produits de la contamination, d'opérer de façon satisfaisante à des températures sous zéro ou très élevées, et de résister à l'accroissement de fragilité découlant du transport d'hydrogène et de composés d'hydrogène à hautes pressions et températures élevées.

Sa bonne résistance à la corrosion provient de son contenu en chrome (au moins 11.5%). Celui-ci, quand il est exposé à un milieu oxydant forme une pellicule protectrice tenace. C'est pour cette raison que ces divers alliages ont leur plus importantes applications dans la manipulation de solutions oxydantes. L'aptitude à résister à la corrosion est approximativement proportionnelle au contenu de chrome (maximum d'environ 29%).

Les alliages les plus couramment utilisés en tuyauteries industrielle sont ceux de type 304, 304L, 316, 316L, 317 et 347.

Le type 304 présente une résistance amplement suffisante aux nombreuses conditions corrosives de nature relativement douce que l'on retrouve dans les industries chimique, pétrolière, textile, laitière, alimentaire et autres.

Les types 309S et 310S résistent aux mêmes agents corrosifs que le type 304, mais à des températures et des niveaux de concentration plus élevés. Le type 309 ou 310 est également utilisé lorsqu'une protection exceptionnelle contre l'attaque d'agents oxydants est nécessaire en plus d'offrir une résistance améliorée aux conditions générales de corrosion. Le type 310 en particulier offre une résistance supérieure aux agents corrosifs de type gazeux, même ceux contenant des composés de soufre à hautes températures.

Le type 316 contient de 2 à 3% de molybdène ce qui accroît sensiblement son aptitude à empêcher la formation d'alvéoles. Il résiste à l'action d'agents réducteurs tels les chlorures et autres membres de la famille des halogènes et supporte les acides sulfuriques et sulfureux sous forme très diluée, les acides phosphoriques, acétique et toute une variété d'autres acides réducteurs.

Le type 317, avec son haut contenu en molybdène et nickel, fournit une résistance encore meilleure à la corrosion et est souvent envisagé pour les hautes températures.

Les types 316 et 317 sont largement utilisés dans l'industrie du papier pour le transport des solutions de sulfite.

Les types 321 et 347 sont des aciers inoxydables stabilisés respectivement au titane et au columbium (pour réduction de la corrosion intergranulaire) et sont recommandés pour une bonne résistance à la corrosion à haute température et lorsqu'un traitement à chaud après soudure n'est pas possible. Ils sont toutefois peu utilisés en raison de leur prix élevé et de leur difficulté d'approvisionnement.

Les alliages de type 400 de structure martensitique ou ferritique offrent à l'instar des aciers austénitiques de type 300, une très bonne résistance aux milieux oxydants; ils sont toutefois plus sujets aux attaques de solutions corrosives sous conditions non aérées ou réductrices. Ils sont aussi plus susceptibles que les aciers austénitiques à la formation d'ovéoles en présence d'halogènes, particulièrement les chlorures. Ils sont toutefois plus durs et plus résistants à l'abrasion et à la corrosion par cavitation.

Les principales utilisations

Les principales utilisations des aciers inoxydables se retrouvent dans les industries suivantes.

Industrie pétrochimique

Les alliages employés vont de ceux ayant un contenu de 12% en chrome, utilisé dans les systèmes soudés opérant à des températures inférieures à 1 200°F, à ceux ayant un contenu de 25% de chrome et 20% de nickel employés pour des conditions extrêmes de corrosion et d'oxydation à des températures d'environ 1 500°F. Cependant la plus grande utilisation d'acier inoxydable pour service dans les raffineries tombe dans la série 300 (ou groupe 18-8).

Industrie pharmaceutique

Dans cette industrie où les normes sont très strictes, l'acier inoxydable permet de protéger les produits de la contamination, de la décoloration et d'un changement de goût. Les tuyauteries sont utilisées pour la fabrication de la pénicilline, streptomycine, et plusieurs autres antibiotiques et produits pharmaceutiques tels crèmes, onguents, élixirs, extraits, pilules, etc.

Industrie des plastiques

Les aciers inoxydables sont employés de façon extensive pour la fabrication de cellulose, résines de formaldéhydes, acryliques, vinyles copolymères de styrène et autres matières plastiques. Quoique l'attaque corrosive ne soit pas aussi sévère qu'avec les réactions inorganiques impliquant des acides forts, le contrôle des impuretés doit être sévère. Les aciers inoxydables offrent de plus une excellente protection contre le changement de couleur causé par les produits corrosifs.

Industrie alimentaire

L'acier inoxydable y est employé depuis longtemps en raison des normes particulièrement sévères concernant les conditions hygiéniques. Il permet en plus de protéger les produits contre la décoloration et le changement de goût.

Industrie chimique

Dans l'industrie chimique, il est employé pour la manutention, le chauffage et la réfrigération des acides nitrique, sulfurique, phosphorique, acétique et autres ainsi que leurs sels.

4.2.2 Nickel et alliages

Le nickel pur commercial est hautement résistant à la corrosion et est utilisé le plus souvent dans les applications où le contenu en cuivre du Monel s'avère indésirable. Il est particulièrement employé dans l'industrie alimentaire où la contamination et la décoloration des substances transformées doivent être évitées. Il est recommandé aussi pour le transport de caustique chaude et de sels neutres hautement concentrés. Il offre toutefois une mauvaise performance lorsque les conditions sont sévèrement oxydantes.

Le Monel, qui est un alliage à haute résistance de nickel et de cuivre, est employé surtout pour la manutention de solutions alcalines où la contamination par le cuivre n'est pas un problème. Il offre une excellente résistance à la corrosion causée par plusieurs acides non aérés, les solutions caustiques, les alcalies, les solutions de sels, les produits alimentaires et autres substances organiques. Comme le nickel commercial, il est généralement recommandé pour des conditions de réduction plutôt que pour celles qui sont oxydantes.

L'Inconel est un alliage de nickel et de chrome contenant un faible pourcentage de fer. Son contenu en chrome lui permet de résister à l'oxydation aussi bien qu'aux solutions réductrices. Ceci le rend préférable au Monel ou au nickel commercial dans certaines applications corrosives. Il endure l'oxydation à haute température et est d'abord utilisé pour prévenir la contamination et la ternissure occasionnées par les substances rencontrées dans les industries du savon et des produits alimentaires.

Les matériaux connus sous le nom d'Hastelloy, sont des alliages de nickel, molybdène, chrome et fer. L'Hastelloy B (Ni 62%, Mo 28%, Fe 5%) possède une bonne résistance mécanique et est particulièrement apte à l'acheminement d'acide hydrochlorique au point d'ébullition et de gaz humide d'acide hydrochlorique. Il est également résistant aux acides sulfuriques et phosphoriques. L'Hastelloy C (Ni 55%, Mo 16%, Cr 16%, Fe 5%) est surtout utilisé pour les agents très oxydants tels l'acide nitrique, le chlore libre, les solutions aqueuses contenant du chlore ou des hypochlorites, ainsi que les solutions acides de sels ferreux ou cupriques. Il résiste également à l'acide phosphorique et très bien aux acides acétiques, formiques et sulfureux.

4.2.3 Aluminium et alliages

La tuyauterie d'aluminium (type 1100) est assez largement utilisée dans les installations industrielles, en particulier dans les usines de produits alimentaires où elle sert au transport d'eau très pure et de solutions organiques. Dans l'industrie chimique, l'aluminium est employé pour le formaldéhyde, l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène et phénol et l'acide nitrique concentré. L'industrie des pâtes et papiers l'utilise également de façon courante pour l'acheminement des solutions de sulfite. Certains alliages peuvent toutefois être susceptibles à la corrosion intergranulaire. La corrosion galvanique pose également un problème lorsque les tuyaux d'aluminium sont raccordés à des tuyauteries ou pièces d'équipement de métaux différents. L'aluminium est en effet anodique à la plupart des métaux couramment employés tel le fer, l'acier inoxydable, le titane, le cuivre et les alliages de nickel, et se corrodera si une telle situation se présente.

Parmi les autres désavantages, mentionnons sa mauvaise résistance à la température (Max 85°C), aux atmosphères salines ainsi qu'aux chocs et aux vibrations.

4.2.4 Plomb

Le tuyau de plomb a longtemps été utilisé dans l'industrie chimique pour le transport de substances corrosives. Il tolère toutes les concentrations d'acide sulfurique jusqu'à 96%, à température normale. Il n'est pas recommandé lorsque les températures d'opération atteignent 220°F.

Il peut également être employé pour l'acheminement du chlore sec ainsi que de l'acide phosphorique à 80% à condition toutefois que ce dernier contienne des impuretés, ce qui tend à diminuer l'effet corrosif.

Il doit être écarté cependant lorsqu'il s'agit d'acides nitriques, formiques ou acétiques. A l'heure actuelle, l'usage de tuyauteries en plomb dans l'industrie a largement diminué d'une part en raison principalement de son coût et de son poids élevé et d'autre part du développement de nouveaux matériaux qui le remplacent avec avantage.

On utilisera parfois le plomb comme revêtement intérieur pour tuyaux d'acier lorsque les conditions d'opération impliquent des températures élevées (Max 450°F) de fréquentes variations de température, des vibrations ou de hautes pressions.

4.2.5 Verre

Le grand avantage du verre borosilicaté est sa grande stabilité en présence de tous les acides ou alcalies de pH8 ou moins, excepté évidemment l'acide hydrofluorique, l'acide phosphorique cristallisé. Un autre avantage est sa transparence qui permet l'inspection visuelle de l'écoulement, la qualité ainsi que la propriété du produit transporté. Il a toutefois de mauvaises propriétés mécaniques, ce

qui limite beaucoup ses possibilités d'usages. On l'emploie fréquemment dans l'industrie alimentaire ainsi que dans la production de certains produits chimiques. Un de ses principaux usages toutefois est celui de tuyauterie de drainage pour déchets acides.

4.2.6 Tantalum

Des métaux réfractaires le tantalum est celui qui est d'usage le plus généralisé dans l'industrie chimique. La plupart des applications concerne le transport de solutions acides qui ne peuvent l'être avec des tuyaux en fer ou en alliages à base de nickel. Il est extrêmement résistant aux acides et est surtout recommandé pour les acides hydrochloriques, hydrobromique et le brome à toutes températures et concentration d'usage.

Le tuyau de tantalum cependant n'est pas approprié pour les alcalies chauds, le trioxyde de soufre ou le fluor. Son application est limitée à la tuyauterie très spécialisée en raison de son coût relativement élevé.

4.2.7 Fer et acier et alliages

Les tuyaux en fer et en acier au carbone se corrodent en présence d'un grand nombre de milieux, l'atmosphère extérieure inclus, et habituellement ils sont choisis non pour leur résistance à la corrosion, mais pour certaines propriétés tels l'endurance, la facilité de fabrication et leur coût. Afin de suppléer à cette mauvaise résistance à la corrosion, on emploie divers revêtements et autres mesures anti-corrosives comme la protection cathodique.

L'alliage de fer et de silicium (14,5%), connu commercialement sous le nom de Duriron, supporte très bien l'attaque de la plupart des déchets acides et corrosifs provenant de procédés chimiques et pour cette raison est régulièrement utilisé comme tuyauterie de drainage dans l'industrie chimique. C'est un matériau extrêmement dur et résiste au dérochage et à l'érosion aussi bien qu'à la corrosion. Il est pratiquement inaffecté par les acides sulfurique, nitrique, acétique et autres acides commerciaux, mais à cause de sa forte teneur en silicium, il n'est pas recommandé pour l'acide hydrofluorique, l'acide sulphureux, le brome ou les alcalies en fusion.

4.2.8 Cuivre et alliages

Les tuyaux en laiton et en cuivre sont surtout employés pour les canalisations de service d'eau en raison de leur bonne résistance à la corrosion. Ils sont toutefois d'un emploi rare dans les procédés de transformation. Le bronze silicieux est utilisé avec avantage dans les tuyauteries pour le transport de saumures, de solutions de sulphites, ou de sucre et des acides organiques. De plus il est très résistant et tenace.

4.2.9 Plastique renforcé de fibre de verre

Ce matériau est sans doute celui, parmi les matières plastiques, dont l'utilisation

dans les tuyauteries de transformation est la plus variée et dant l'expérience passée est la plus étendue.

En effet au cours des dix dernières années, ce matériau a été largement utilisé dans les industries chimiques et connexes comme substitut aux matériaux moins résistants à la corrosion et également plus coûteux. Il ne s'agit pas en fait d'un matériau unique mais plutôt de différents types spécifiques de résines thermodurcissables imprégnées de fibre de verre.

Ces résines sont de type.époxye, furanique, phénolique ou polyester, les époxyes et les polyesters constituant toutefois la majeure partie des applications. Chacun de ces types de résines possède des propriétés anti-corrosives particulières et le choix de l'une ou l'autre dépend des fluides transportés et des conditions d'utilisation. En raison de ces caractéristiques et de son coût inférieur il est souvent préféré à l'acier inoxydable.

Parmi les principaux usages mentionnons l'acheminement de fluides corrosifs tels les acides, les caustiques, les hydrocarbures aliphatiques, aromatiques et chlorines, les sels en solution, les gaz de chlore humides, les saumures saturées les solutions de sulphite, etc. Il est aussi employé dans les industries des produits alimentaires et pharmaceutiques. Par contre il n'est pas recommandable pour les agents oxydants.

Les principaux avantages qui peuvent influencer le choix en faveur de ce matériau sont sa bonne résistance à la corrosion, son coût relativement faible, sa légèreté et sa facilité de fabrication. A cela il faut ajouter l'absence de contamination, la translucidité possible (sans pigmentation) et le choix de couleurs.

On l'emploie également de plus en plus comme conduites d'évacuation des déchets industriels dans diverses industries et entre autres dans l'industrie des pâtes et papier où il s'est avéré de loin supérieur en résistance aux matériaux anciennement utilisés comme le béton ou l'argile vitrifié.

4.2.10 Grès cérame

Employé comme tuyauterie de transformation ou de drainage, ce matériau est à l'épreuve de la corrosion de tous les types d'acides sauf l'acide hydrofluorique et la caustique chaude concentrée. Il est toutefois désavantagé à haute température et ne peut supporter de chocs thermiques trop importants comme peut le faire le tuyau en porcelaine, par exemple. De plus il est difficile à installer et nécessite des précautions particulières en raison de sa fragilité.

4.2.11 Porcelaine

Ce matériau, composé d'argile plastique, de kaolin, de quartz, de feldspath et autres matériaux choisis pour leur propriétés spéciales, résiste comme le grès cérame, à la grande majorité des types d'acides. Ses principaux avantages sont

les températures relativement élevées auxquelles il peut opérer (400 à 500°F) et sa bonne résistance aux chocs thermiques. Il est toutefois délicat à manipuler et à installer.

4.2.12 Argile vitrifiée

Ce type de tuyau trouve ses principales applications comme conduites extérieures d'évacuation de déchets industriels et également dans les réseaux d'égouts domestiques. Sa résistance à la plupart des acides corrosifs lui a conférée dans le passé un avantage certain sur les autres types de matériaux particulièrement pour les acides à haute concentration. De plus il résiste très bien aux conditions de corrosion extérieures du sel. Parmi ses désavantages mentionnons la disponibilité des diamètres ainsi que le problème de raccordement et de joints.

4.2.13 Amiante-ciment, béton

Ces matériaux sont rarement utilisés dans les installations industrielles sauf le béton qui peut être employé pour les conduites de circulation d'eau de mer pour refroidissement, en particulier dans les industries pétrolières, pétrochimique et chimique. Il ne doit toutefois pas être utilisé dans les endroits où il y a infiltration d'acides, ce qui limite beaucoup son emploi.

4.2.14 Polyéthylène, polypropylène

Ces deux résines thermoplastiques sont employées presque exclusivement comme tuyauterie de drainage pour laboratoires.

Le polyéthylène est largement utilisé dans les laboratoires d'enseignement en raison de son coût peu élevé et de sa résistance à tous les produits chimiques qui y sont généralement manipulés, en particulier les sels hydrofluoriques auxquels d'autres matériaux souvent utilisés ne peuvent résister.

Le polypropylène a une résistance chimique similaire à celle de polyéthylène, mais possède une meilleure endurance à température plus élevée, une plus grande rigidité et un coefficient de dilatation moindre. Il est généralement plus coûteux que le polyéthylène, mais concurrence avantageusement les systèmes en verre. Il peut aussi être utilisé parfois comme tuyauterie de transformation. Leur poids léger, leur élasticité, leur rigidité, l'absence de prise à la croissance de bactéries sont parmi les autres avantages de ces résines.

4.2.15 CPV et CPVC

Le chlorure de polyvinyle (CPV) a une bonne résistance chimique mais sa robustesse est faible, ce qui limite son application dans le secteur industriel. Ce désavantage est compensé par la surchloration (CPVC) qui lui confère de meilleures propriétés pour le transport de produits chimiques corrosifs à températures élevées. Son emploi est toutefois très peu développé comme tuyauterie industrielle.

4.3 Coûts

Dans les pages précédentes, nous avons discuté des performances de différents matériaux au point de vue technique, c'est-à-dire en termes de leurs aptitudes à satisfaire les contraintes associées à tel ou tel usage. Cette évaluation des performances des matériaux pour un usage spécifique constitue la toute première considération à faire entrer en ligne de compte dans le processus du choix des matériaux.

Habituellement, cette première élimination détermine plus d'un matériau apte au choix. C'est alors qu'intervient une deuxième phase d'élimination basée, elle, sur des considérations économiques. Ces dernières concernent non seulement le coût des tuyaux, mais également les coûts afférents à l'installation et que nous désignons globalement dans la suite du texte comme "coût installé". D'autres considérations de diverses natures, qui sont parfois tout aussi importantes compte tenu du contexte général, peuvent également être retenues : économie de devises, politiques interventionnistes sectorielles, disponibilité, absence de savoir-faire quant à l'installation, etc. La discussion de ces considérations n'entre pas dans le cadre du présent rapport.

Les principaux facteurs dont dépend le coût installé d'un système de tuyauterie sont les suivants :

- Dimensions et degré de résistance désiré
- Coûts des tuyaux, brides, raccords, etc.
- Complexité du système
- Méthode d'effectuer les raccordements
- Techniques de fabrication et de montage disponibles
- Encombrement
- Taux de rémunération de la main-d'oeuvre
- Productivité de la main-d'oeuvre

Afin de bien montrer l'importance de considérer non seulement le coût des tuyaux mais aussi les coûts afférents à l'installation d'un système, nous présentons dans les pages qui suivent une comparaison, sous forme d'indices, des coûts installés associés à deux types différents de systèmes de tuyauterie industrielle. (1)

(1) Les données relatives à l'élaboration des tableaux ainsi que les hypothèses sous-jacentes sont basées sur une étude de Stephen P. Marshall et J. Lee Brandt : Installed Cost of Corrosion Resistant Piping, in Chemical Engineering, Vol. 78, no. 19, 1971, p.68-82

Ces tableaux ont comme avantages de montrer d'une façon claire et rapide les effets des différents facteurs mentionnés précédemment, et en particulier ceux se rapportant à la main-d'oeuvre.

Les différentes hypothèses sous-jacentes aux différents tableaux sont les suivantes :

- Types de matériaux différents

20 types de matériaux pour tuyauteries sont comparés. Ces matériaux correspondent à ceux les plus couramment utilisés dans les installations industrielles où la corrosion constitue une contrainte.

- Coût des matériaux

Les coûts des matériaux ont été basés sur les prix de liste de différents fabricants. Il est évident que ces prix varient dans le temps, d'une région à l'autre et aussi en fonction des quantités. L'utilisation d'indices nous permet toutefois d'exprimer de façon suffisante pour nos fins les différences relatives entre matériaux.

- Dimensions des tuyauteries

Afin de tenir compte des fluctuations importantes des coûts des matériaux, (fabrication et installation) suivant les dimensions des tuyaux, trois diamètres différents ont été choisis comme représentatifs de la plupart des installations, soit 2", 4" et 6".

- Poids des matériaux

Outre les diamètres, l'épaisseur est également importante à remarquer. A cet effet on distingue pour les alliages, la série légère (cédule 5) et la série moyenne (cédule 40).

- Complexité du système

La complexité d'un système de tuyauterie affectant grandement le coût installé, deux types de systèmes sont considérés. L'un consiste en un pipeline non enterré de 300 mètres et ne comprend aucun raccord. Il peut être défini comme représentatif d'une conduite reliant deux installations.

L'autre est représentatif d'un système modérément complexe que l'on retrouve dans une installation typique. Ce système consiste en 150 mètres de tuyaux, et comprend 56 courbes de 90°, 8 de 45° et 22 téés. De plus on suppose que 60% des 150 mètres de tuyauteries sont constitués de tuyaux coupés sur commande et le reste de tuyaux de longueur de 3 mètres.

- **Méthode d'accouplement**

La méthode d'effectuer les joints est aussi importante. Certains systèmes nécessitent des joints bridés, d'autres comme ceux en verre nécessitent des accouplements spéciaux. Cependant, dans le cas des systèmes métalliques, un choix entre des joints bridés, soudés ou vissés est souvent disponible. Dans les tableaux, on a supposé un rapport 50-50 de joints bridés et de joints soudés. Ce rapport est évidemment une moyenne, certains systèmes complexes installés montrant un rapport de 70% bridés et 30% soudés alors que dans d'autres systèmes moins complexes, comme les pipelines inter-usines par exemple, le rapport inverse est rencontré.

- **Techniques de fabrication**

Un autre facteur à retenir est celui des techniques de fabrication utilisées. Ainsi la disponibilité de facilités de fabrication en atelier peut affecter le coût installé d'un projet de 20% ou plus.

La technique choisie pour le besoin des tableaux est celle de la fabrication sur chantier. Pour les systèmes non-métalliques tels le verre et les métaux revêtus, on suppose qu'ils sont obtenus en longueur coupés sur commande et nécessite seulement l'installation sur chantier, ce qui est d'ailleurs généralement le cas dans la réalité.

- **Conditions physiques d'installation**

Un autre facteur qui peut exercer une certaine influence sur le coût global est l'encombrement et la hauteur à laquelle doivent être installées les tuyauteries. Ici on suppose qu'il n'existe aucune interférence de ce côté.

- **Taux salarial**

Le taux salarial exerce une influence prépondérante sur les coûts d'installations, et toute variation de ce taux est immédiatement reflétée dans le coût. Pour les fins des tableaux, un taux horaire de \$11. U.S. a été utilisé. Ce taux est évidemment fonction de divers facteurs tels l'endroit, la période, etc. et n'est utilisé ici qu'à fin indicative.

- **Productivité de la main-d'oeuvre**

Toutes les heures de travail et les coûts associés sous-jacents aux tableaux sont basées sur des heures réelles requises pour l'installation à un taux d'efficacité de 80%. Cette efficacité peut toutefois varier grandement selon les conditions locales telles le nombre d'ouvriers qualifiés disponibles, les conditions économiques locales, etc.

- **Base des indices**

Les indices ont comme base 1.00 les tuyaux en acier au carbone, cédule 40, soudés sur chantier.

TABLEAU XX - I

Coûts comparés pour l'achat et l'installation d'un système-type de tuyauterie complexe de 150 mètres de long selon divers matériaux fréquemment utilisés.

A: Diamètre 2 pouces

(ACIER AU CARBONE = 1,00)

MATERIAUX	Tuyau- terie et brides	Raccords et matériaux de soudage	Supports	Location d'équi- pement, boulons, écrous	Sablage et peinture	Indice global des coûts des matériaux	TEMPS EN HOMMES / HEURES		Indice du coût de la main- d'oeuvre	Indice du coût global
							Sablage et peinture	Installati- on sur chantier		
Acier au carbone	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	40	168	1,00	1,00
Acier inoxydable 304 cédule 40	3,42	12,74	1,00	2,15	0,67	3,70	8	168	1,21	1,74
Acier inoxydable 304 cédule 5	1,91	11,81	1,00	1,98	0,67	2,87	8	168	1,13	1,48
Acier inoxydable 316 cédule 40	4,68	18,08	1,00	2,37	0,67	5,06	8	168	1,29	2,07
Acier inoxydable 316 cédule 5	2,57	13,53	1,00	2,18	0,67	3,44	8	168	1,31	1,66
Nickel	8,95	22,60	1,00	2,96	0,67	7,87	8	168	1,37	2,71
Nickel	3,66	16,92	1,00	2,72	0,67	4,50	8	168	1,27	1,93
Monel	9,21	35,20	1,00	3,09	0,67	9,50	8	168	1,37	3,04
Monel	3,35	25,16	1,00	2,96	0,67	5,35	8	168	1,27	2,11
Inconel	11,42	41,67	1,00	3,11	0,67	11,38	8	168	1,37	3,43
Inconel	8,29	33,42	1,00	2,90	0,67	8,79	8	168	1,27	2,82
Hastelloy B	51,40	144,71	1,00	2,56	0,67	43,46	8	168	1,36	10,00
Hastelloy B	28,67	83,38	1,00	2,54	0,67	24,83	8	168	1,36	6,18
Aluminium	1,63	7,31	1,00	1,36	0,67	2,08	8	168	1,21	1,39
Verre	4,09	8,13	2,00	3,86	1,33	4,06	16	632	1,40	1,94
Plastique renforcé de fibre de verre	3,62	17,51	1,27	0,62	0,67	4,16	8	168	0,38	1,16
Acier au carbone revêtu intérieurement de:										
- verre	12,96	17,14	1,27	3,86	1,00	9,49	40	353	0,85	2,62
- caoutchouc	5,60	25,58	1,27	0,35	1,00	6,06	40	276	0,68	1,79
- titanium	32,14	138,13	1,00	0,62	1,00	32,63	40	276	0,68	7,25
- zirconium	42,48	149,56	1,00	0,62	1,00	39,19	40	276	0,68	8,59
- tantalum	108,16	158,55	1,00	0,62	1,00	73,38	40	276	0,68	15,62
- chlorure de polyvinylidène	4,47	19,10	1,00	0,35	1,00	4,76	40	276	0,68	1,52
- polypropylène	4,58	20,46	1,27	0,35	1,00	4,97	40	276	0,68	1,56
- polyéther chloré	8,05	23,47	1,27	0,35	1,00	7,07	40	276	0,68	1,99
- fluorure de polyvinylidène	8,46	24,29	1,27	0,35	1,00	7,38	40	276	0,68	2,06
- tétrafluoroéthylène	9,27	32,21	1,27	0,35	1,00	8,71	40	276	0,68	2,33

TABLEAU XX - I

Coûts comparés pour l'achat et l'installation d'un système-type de tuyauterie complexe de 150 mètres de long selon divers matériaux fréquemment utilisés.

B: Diamètre 4 pouces

(ACIER AU CARBONE = 1,00)

MATERIAUX	Tuyau-terre et brides	Raccords et matériaux de soudage	Supports	Location d'équipement, boulons, écrous	Sablage et peinture	Indice global des coûts des matériaux	TEMPS EN HOMMES/HEURES NECESSAIRES			Indice du coût de la main-d'oeuvre	Indice du coût global
							Sablage et peinture	Installation sur chantier	Fabrication sur chantier		
Acier au carbone	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	68	315	454	1,00	1,00
Acier inoxydable 304 cédule 40	4,35	18,88	1,00	2,66	0,56	5,64	9	315	733	1,26	2,28
Acier inoxydable 304 cédule 5	1,95	12,65	1,00	2,46	0,56	3,41	9	315	615	0,46	1,65
Acier inoxydable 316 cédule 40	6,26	24,90	1,00	2,98	0,56	7,60	9	315	750	1,28	2,75
Acier inoxydable 316 cédule 5	2,48	14,14	1,00	2,68	0,56	3,95	9	315	727	1,26	1,88
Nickel	9,15	31,13	1,00	3,72	0,56	10,20	9	315	823	1,37	3,42
Nickel	3,83	17,68	1,00	3,35	0,56	5,31	9	315	747	1,28	2,22
Monel	7,74	46,25	1,00	3,82	0,56	11,61	9	315	823	1,37	3,75
Monel	3,23	25,94	1,00	3,47	0,56	6,19	9	315	747	1,28	2,42
Inconel	10,07	58,88	1,00	4,02	0,56	14,72	9	315	823	1,37	4,47
Inconel	7,24	32,95	1,00	3,43	0,56	9,37	9	315	747	1,28	3,16
Hastelloy B	42,59	106,97	1,00	2,66	0,56	39,07	9	315	899	1,46	10,21
Hastelloy B	22,00	54,44	1,00	2,46	0,56	20,31	9	315	810	1,35	5,76
Aluminium	1,75	9,18	1,00	1,16	0,56	2,57	9	315	682	1,20	1,52
Verre	4,57	7,03	2,01	2,97	1,11	4,22	18	1.156	-	1,40	2,06
Plastique renforcé de fibre de verre	2,69	10,39	0,95	0,56	0,56	3,15	9	315	-	0,39	1,03
Acier au carbone revêtu intérieurement de:											
- verre	10,44	12,03	0,95	2,97	1,00	8,97	68	578	-	0,77	2,47
- caoutchouc	5,17	17,04	0,95	0,45	1,00	5,47	68	526	-	0,71	1,81
- titanium	17,43	73,83	1,00	0,56	1,00	20,29	68	526	-	0,71	5,26
- zirconium	33,89	86,61	1,00	0,56	1,00	25,63	68	526	-	0,71	6,51
- tantalum	50,99	103,85	1,00	0,56	1,00	59,22	68	526	-	0,71	14,32
- chlorure de polyvinylidène	4,06	13,01	0,95	0,45	1,00	4,28	68	526	-	0,71	1,54
- polypropylène	4,18	13,90	0,95	0,45	1,00	4,48	68	526	-	0,71	1,59
- polyéther chloré	8,13	18,33	0,95	0,45	1,00	7,25	68	526	-	0,71	2,23
- fluorure de polyvinylidène	8,66	19,15	0,95	0,45	1,00	7,67	68	526	-	0,71	2,33
- tétrafluoroéthylène	10,77	28,36	0,95	0,45	1,00	10,13	68	526	-	0,71	2,90

TABLEAU XX - I

Coûts comparés pour l'achat et l'installation d'un système-type de tuyauterie complexe de 150 mètres de long selon divers matériaux fréquemment utilisés.

C: Diamètre 6 pouces

(ACIER AU CARBONE = 1,00)

MATERIAUX	Tuyau- terie et brides	Raccords et matériaux de soudage	Supports	Location d'équi- pement, boulons, écrous	Sablage et peinture	Indice global des coûts des matériaux	TEMPS EN HOMMES/HEURES NECESSAIRES			Indice du coût de la main- d'oeuvre	Indice du coût global
							Sablage et peinture	Installa- tion sur chantier	Fabrica- tion sur chantier		
Acier au carbone	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	90	473	750	1,00	1,00
Acier inoxydable 304 cédule 40	4,37	16,44	1,00	1,61	0,55	5,39	10	473	1,127	1,23	2,34
Acier inoxydable 304 cédule 5	1,86	12,34	1,00	1,13	0,55	3,39	10	473	1,014	1,14	1,74
Acier inoxydable 316 cédule 40	7,70	24,42	1,00	1,79	0,55	8,36	10	473	1,239	1,31	3,20
Acier inoxydable 316 cédule 5	3,90	18,37	1,00	1,23	0,55	4,53	10	473	1,220	1,30	2,16
Nickel	10,22	27,56	1,00	2,22	0,55	10,19	10	473	1,357	1,40	3,75
Nickel	4,31	16,71	1,00	1,54	0,55	5,39	10	473	1,215	1,29	2,39
Monel	8,21	42,47	1,00	2,32	0,55	11,90	10	473	1,357	1,40	4,21
Monel	4,27	24,35	1,00	1,66	0,55	6,75	10	473	1,215	1,29	2,75
Inconel	11,35	30,88	1,00	2,40	0,55	11,34	10	473	1,357	1,40	4,06
Inconel	6,83	30,99	1,00	1,59	0,55	9,06	10	473	1,215	1,29	3,37
Hastelloy B	39,27	68,09	1,00	1,27	0,55	30,34	10	473	1,436	1,46	9,18
Hastelloy B	17,74	34,09	1,00	1,38	0,55	14,55	10	473	1,336	1,39	4,90
Aluminium	2,02	9,62	1,00	0,43	0,55	2,80	10	473	1,126	1,23	1,65
Verre	4,63	4,46	2,00	1,39	1,09	3,38	20	1,926	-	1,48	1,99
Plastique renforcé de fibre de verre	2,53	6,96	1,34	0,33	0,55	2,55	10	473	-	0,37	0,95
Acier au carbone revêtu intérieurement de:											
- verre	9,61	9,90	1,34	1,39	1,00	6,63	90	976	-	0,81	2,37
- caoutchouc	5,54	13,68	1,34	0,20	1,00	5,10	90	888	-	0,74	1,90
- titanium	17,60	37,48	1,00	0,33	1,00	14,81	90	888	-	0,74	4,50
- zirconium	20,80	42,45	1,00	0,33	1,00	17,15	90	888	-	0,74	5,13
- tantalum	71,57	67,43	1,00	0,33	1,00	44,80	90	888	-	0,74	12,52
- chlorure de polyvinylidène	4,32	10,43	1,34	0,20	1,00	3,97	90	888	-	0,74	1,61
- polypropylène	4,47	11,14	1,34	0,20	1,00	4,16	90	888	-	0,74	1,66
- polyéther chloré	8,78	16,01	1,34	0,20	1,00	6,99	90	888	-	0,74	2,41
- fluorure de polyvinylidène	9,22	16,89	1,34	0,20	1,00	7,34	90	888	-	0,74	2,51
- tétrafluoroéthylène	12,38	25,48	1,34	0,20	1,00	10,30	90	888	-	0,74	3,30

TABLEAU XX - 2
Coûts comparés pour l'achat et l'installation d'un pipeline-type de 300 mètres de long selon divers matériaux fréquemment utilisés.

A: Diamètre 2 pouces
 (ACIER AU CARBONE = 1,00)

MATERIAUX	Tuyau-terrie et brides	Supports	Location d'équipement, boulons, écrous	Sablage, peinture	Indice global des coûts des matériaux	TEMPS EN HOMMES/HEURES NECESSAIRES			Indice du coût de la main-d'œuvre	Indice du coût global
						Sablage et peinture	Fabrication sur chantier	Installation sur chantier		
Acier au carbone	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	94	26	286	1,00	1,00
Acier inoxydable 304 cédule 40	6,34	1,00	1,50	0,40	2,24	42	39	390	1,16	1,66
Acier inoxydable 304 cédule 5	3,21	1,00	1,50	0,40	1,73	42	36	360	1,08	1,38
Acier inoxydable 316 cédule 40	8,94	1,00	1,78	0,40	2,88	42	47	452	1,33	2,04
Acier inoxydable 316 cédule 5	4,57	1,00	1,32	0,40	1,82	42	42	407	1,21	1,49
Nickel cédule 40	17,17	1,00	1,93	0,40	4,34	42	52	494	1,45	2,78
Nickel cédule 5	6,83	1,00	1,78	0,40	2,54	42	47	443	1,31	1,87
Monel cédule 40	18,32	1,00	1,83	0,40	4,44	42	52	494	1,45	2,82
Monel cédule 5	5,70	1,00	1,98	0,40	2,54	42	47	443	1,31	1,87
Inconel cédule 40	22,92	1,00	1,89	0,40	5,24	42	52	494	1,45	3,19
Inconel cédule 5	16,42	1,00	2,04	0,40	4,30	42	47	443	1,31	2,68
Hastelloy B cédule 40	105,71	1,00	4,99	0,40	21,10	42	200	663	2,23	10,89
Hastelloy B cédule 5	58,63	1,00	4,29	0,40	12,91	42	180	513	1,81	6,91
Aluminium cédule 40	2,62	1,00	1,41	0,40	1,56	42	39	360	1,09	2,24
Verre	5,32	6,50	2,17	0,80	2,79	84	-	637	1,78	2,24
Plastique renforcé de fibre de verre	5,13	3,00	1,08	0,40	1,78	42	-	330	0,92	1,31
Acier au carbone revêtu intérieurement de:										
- verre	25,49	2,00	1,20	0,50	5,15	64	-	337	0,99	2,90
- caoutchouc	7,93	1,00	0,66	0,75	1,71	90	-	140	0,57	1,09
- titane	66,56	1,00	0,78	1,00	11,48	94	-	230	0,80	5,71
- zirconium	87,99	1,00	0,78	1,00	14,96	94	-	230	0,80	7,30
- tantale	224,03	1,00	0,78	1,00	37,05	94	-	230	0,80	17,46
- chlorure de polyvinylidène	6,37	2,00	0,77	1,00	1,73	94	-	187	0,69	1,17
- polypropylène	5,68	1,00	0,66	0,75	1,49	90	-	140	0,57	0,99
- polyéther chloré	14,07	2,00	0,77	1,00	2,98	94	-	187	0,69	1,74
- fluorure de polyvinylidène	14,05	1,00	0,66	0,75	2,85	90	-	140	0,57	1,61
- tétrafluoroéthylène	16,56	2,00	0,77	1,00	3,38	94	-	187	0,69	1,93

TABLEAU XX - 2
Coûts comparés pour l'achat et l'installation d'un pipeline-type de 300 mètres de long selon divers matériaux fréquemment utilisés.

B: Diamètre 4 pouces

(ACIER AU CARBONE = 1,00)

MATERIAUX	Tuyau-terre et brides	Supports	Location d'équipement, boulons, écrous	Sablage, peinture	Indice global des coûts des matériaux	TEMPS EN HOMMES/HEURES		Indice du coût de la main-d'oeuvre	Indice du coût global
						Sablage et peinture	Fabrication sur chantier		
Acier au carbone	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	162	54	1,00	1,00
Acier inoxydable 304 cédule 40	7,55	1,00	1,54	0,35	3,01	48	81	1,06	2,00
Acier inoxydable 304 cédule 5	3,16	1,00	1,48	0,35	1,86	48	73	0,98	1,41
Acier inoxydable 316 cédule 40	11,42	1,00	1,91	0,35	4,25	48	97	1,20	2,67
Acier inoxydable 316 cédule 5	4,16	1,00	1,72	0,35	2,27	48	88	1,07	1,65
Nickel cédule 40	16,97	1,00	1,96	0,35	5,68	48	108	1,31	3,42
Nickel cédule 5	6,77	1,00	1,77	0,35	2,97	48	98	1,19	2,05
Monel cédule 40	14,25	1,00	1,63	0,35	4,76	48	108	1,31	2,97
Monel cédule 5	5,62	1,00	2,16	0,35	2,96	48	98	1,19	2,04
Inconel cédule 40	18,72	1,00	2,77	0,35	6,68	48	108	1,31	3,90
Inconel cédule 5	13,30	1,00	2,22	0,35	4,93	48	98	1,19	2,99
Hastelloy B cédule 40	81,07	1,00	7,98	0,35	26,03	48	400	2,21	13,70
Hastelloy B cédule 5	41,59	1,00	6,08	0,35	14,76	48	360	1,99	8,15
Aluminium cédule 40	2,78	1,00	1,32	0,35	1,65	48	81	0,93	1,28
Verre	5,00	6,00	2,16	0,59	2,93	96	-	1,62	2,25
Plastique renforcé de fibre de verre	3,97	3,00	0,91	0,35	1,71	48	-	0,91	1,30
Acier au carbone revêtu intérieurement de:									
- verre	18,09	2,00	1,34	0,35	5,56	80	-	1,04	3,22
- caoutchouc	6,49	1,00	0,69	0,88	2,14	156	-	1,09	1,30
- titane	33,42	1,00	0,86	1,00	9,08	162	-	0,91	4,86
- zirconium	45,79	1,00	0,86	1,00	12,20	162	-	0,91	6,36
- tantale	155,26	1,00	0,86	1,00	39,83	162	-	0,91	19,70
- chlorure de polyvinylidène	5,680	2,00	0,90	1,00	2,14	162	-	0,75	1,42
- polypropylène	5,23	1,00	0,69	0,88	1,85	156	-	0,64	1,22
- polyéther chloré	13,82	2,00	0,90	1,00	4,19	162	-	0,75	2,41
- fluorure de polyvinylidène	14,34	1,00	0,69	0,88	4,15	156	-	0,64	2,33
- tétrafluoroéthylène	18,38	2,00	0,90	1,00	5,34	162	-	0,75	2,96

TABLEAU XX - 2

Coûts comparés pour l'achat et l'installation d'un pipeline-type de 300 mètres de long selon divers matériaux fréquemment utilisés.

8: Diamètre 6 pouces
(ACIER AU CARBONE=1,00)

MATERIAUX	Tuyau- terie et brides	Supports	Location d'équi- pement, boulons, écrous	Sablage, peinture	Indice global des coûts des matériaux	TEMPS EN HOMMES/HEURES			Indice du coût de la main- d'oeuvre	Indice du coût global
						Sablage et peinture	Fabrica- tion sur chantier	Installa- tion sur chantier		
Acier au carbone	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	211	75	649	1,00	1,00
Acier inoxydable 304 cédule 40	7,23	1,00	1,55	0,28	2,81	54	113	883	1,12	2,01
Acier inoxydable 304 cédule 5	2,79	1,00	1,28	0,28	1,59	54	111	442	0,65	1,15
Acier inoxydable 316 cédule 40	13,09	1,00	1,83	0,28	4,36	54	130	1023	1,29	2,90
Acier inoxydable 316 cédule 5	4,19	1,00	1,57	0,28	2,13	54	117	921	1,17	1,67
Nickel cédule 40	17,54	1,00	2,02	0,28	5,51	54	150	1116	1,41	3,57
Nickel cédule 5	7,12	1,00	1,46	0,28	2,72	54	135	1005	1,28	2,04
Monel cédule 40	14,00	1,00	2,57	0,28	5,09	54	150	1116	1,41	3,35
Monel cédule 5	6,27	1,00	2,08	0,28	2,97	54	135	1005	1,28	2,17
Inconel cédule 40	19,54	1,00	2,70	0,28	6,46	54	150	1116	1,41	4,07
Inconel cédule 5	11,57	1,00	2,16	0,28	4,24	54	135	1005	1,28	2,84
Hastelloy B cédule 40	68,80	1,00	8,28	0,28	21,77	54	640	1485	2,33	12,56
Hastelloy B cédule 5	34,46	1,00	6,25	0,28	12,43	54	580	1345	2,12	7,55
Aluminium cédule 40	2,79	1,00	1,10	0,28	1,46	54	115	650	0,88	1,19
Verre	4,45	6,67	1,46	0,53	2,26	108	-	1114	1,19	1,82
Plastique renforcé de fibre de verre	3,46	3,00	0,76	0,28	1,43	54	-	645	0,75	1,10
Acier au carbone revêtu intérieurement de:										
- verre	18,89	2,00	1,00	0,35	5,11	96	-	780	0,94	3,13
- caoutchouc	7,15	1,00	0,54	0,88	2,08	200	-	325	0,56	1,36
- titanium	31,06	1,00	0,60	1,00	7,60	211	-	525	0,79	4,38
- zirconium	36,70	1,00	0,60	1,00	8,90	211	-	525	0,79	5,06
- tantalum	126,29	1,00	0,60	1,00	29,44	211	-	525	0,79	15,96
- chlorure de polyvinylidène	6,03	2,00	0,61	1,00	1,90	211	-	381	0,63	1,30
- polypropylène	5,73	1,00	0,54	0,88	1,75	200	-	325	0,56	1,19
- polyéther chloré	14,23	2,00	0,61	1,00	3,78	211	-	381	0,63	2,29
- fluorure de polyvinylidène	14,17	1,00	0,54	0,88	3,69	200	-	325	0,56	2,21
- tétrafluoroéthylène	19,90	2,00	0,61	1,00	5,08	211	-	381	0,63	2,98

CHAPITRE XXI

EQUIPEMENT INDUSTRIEL ET PIÈCES DIVERSES

1. DEFINITION

Le présent chapitre porte exclusivement sur les appareils ou pièces d'équipement constitués en totalité ou en partie de tubes et dont la fabrication est normalement effectuée en usine. Entrent dans cette catégorie tous les appareils servant au transfert de la chaleur de même que toutes les pièces d'équipement plus ou moins spécialisées tels les rouleaux humectants pour imprimerie, les rouleaux de laminoir, etc.

Certains équipements sont particuliers à une industrie donnée quoique la majorité sont de concept et d'application plus générales et sont utilisés dans différentes industries. C'est le cas entre autres des échangeurs de chaleur et des serpentins.

Le présent chapitre exclut toutefois la tuyauterie qui peut être reliée à ces appareils. Celle-ci est traitée au chapitre XX portant sur la tuyauterie industrielle.

2. USAGES

Les usages de tubes concernant ces appareils ou pièces d'équipement inclus dans cette section peuvent être subdivisés en deux grandes catégories. La première catégorie se réfère aux applications où la capacité d'assurer un transfert de chaleur est la principale qualité recherchée. Elle comprend les chaudières et équipements connexes, tels réchauffeurs et surchauffeurs, les échangeurs de chaleur, les condenseurs, les serpentins de chauffage et de réfrigération, les évaporateurs, les radiateurs, les aérothermes et autres appareils analogues. Ces usages sont caractérisés principalement par des conditions de températures généralement élevées, ou basses, selon la fonction de l'appareil dont le tube fait partie. Les conditions de corrosion souvent très sévères constituent également un trait important de ces usages.

Dans la deuxième catégorie, on retrouve les applications où ce sont surtout les caractéristiques mécaniques qui sont importantes. Ces usages sont souvent à la limite de l'emploi du tube en ce sens que la forme cylindrique pleine peut également être employée, le choix dépendant entre autres des résistances mécaniques recherchées, de la forme à donner ainsi que des facilités d'usinage. Les rouleaux de laminoir, les rouleaux d'imprimerie, les arbres de transmission, les vis sans fin, les bagues, etc., sont des exemples de ces applications.

2.1 Appareils de transfert de chaleur

2.1.1 Chaudières à vapeur et appareils annexes

2.1.1.1 Définitions

Les chaudières à vapeur sont, d'une façon générale des appareils dans lesquels on fait bouillir de l'eau pour produire de la vapeur, qui peut être destinée soit à l'alimentation des machines thermiques, soit à des usages divers : cuissons chauffages, stérilisation, etc.

La forme des chaudières à vapeur a considérablement évolué et surtout s'est diversifiée. Les premières chaudières étaient essentiellement des récipients clos dont la partie inférieure, remplie d'eau, était soumise au rayonnement d'un foyer ou au contact des gaz chauds. Pour obtenir de plus grandes surfaces de contact (ou de chauffe), on a construit ensuite des chaudières à bouilleurs, comprenant, au-dessous du corps cylindrique principal, des bouilleurs reliés à celui-ci par des cuissards. Dans cette voie, une nouvelle étape a été marquée par les chaudières semi-tubulaires, dont le corps principal est traversé par un faisceau de tubes de fumée.

Un grand progrès a été l'invention de la chaudière tubulaire (ou ignitubulaire). Comme dans les précédentes, le foyer est intérieur, mais prolongé par un faisceau de tubes de fumée qui donnent une grande surface de chauffe sous un faible encombrement tout en permettant une mise en pression plus rapide. La chaudière de locomotive en est une des applications les plus réussies. En dérivent également certaines chaudières marines, ainsi que les chaudières à foyer intérieur et à retour de flamme.

Afin d'avoir des chaudières de plus en plus puissantes et légères, et comme les pressions s'élevaient toujours davantage, on a introduit les chaudières aqua-tubulaires (ou multitubulaires), formées essentiellement de tubes de diamètre variant souvent de 70 à 100 mm., dans lesquels circulent l'eau ou le mélange d'eau et de vapeur, et chauffés extérieurement, par rayonnement ou, plus généralement par convection des gaz chauds. Ces tubes forment des faisceaux à faible pente (chaudières Babcock et Wilcox, Belleville, Rover) ou à tubes presque verticaux (Stirling). Certains types emploient des tubes Field, formés de deux tubes concentriques, le tube intérieur servant à la descente de l'eau et le tube extérieur à l'ascension du mélange d'eau et de vapeur. La chaudière Field, elle-même, est une chaudière à foyer muni d'un faisceau de tubes Field suspendus à la plaque tubulaire; la chaudière Niclausse est une chaudière multitubulaire avec faisceaux de tubes Field à faible pente.

Des types plus récents de chaudières aqua-tubulaires de petite et moyenne puissance comprennent surtout des faisceaux verticaux et des écrans d'eau tapissant la chambre de combustion. Rappelons que l'écran d'eau est un système de tubes dans lequel l'eau circule, et dont le rôle est d'une part de protéger le mur réfrac-

taire des gaz chauds et d'autre part servir d'économiseur, c'est-à-dire de réchauffeur d'alimentation d'eau.

A la chaudière proprement dite viennent s'ajouter, dans les installations modernes, des appareils complémentaires dont le rôle est d'améliorer le rendement calorifique tout en minimisant les pertes d'énergie. Ces appareils sont les réchauffeurs d'eau d'alimentation, les économiseurs et les surchauffeurs.

Le réchauffeur est un appareil qui échauffe l'eau avant son admission à la chaudière au moyen de la vapeur d'échappement qui autrement serait perdue. L'économiseur a une fonction identique au réchauffeur mais utilise, au lieu de la vapeur, la chaleur des gaz de combustion. Ces appareils sont généralement constitués d'un faisceau tubulaire dans lequel passe l'eau à réchauffer (réchauffeurs à surface).

Les diamètres intérieurs sont généralement de 40 à 50 mm pour les tubes de réchauffeur et peuvent atteindre 10 cm pour les économiseurs. Les surchauffeurs quant à eux, servent à surchauffer la vapeur d'eau. Dans la plupart des cas, ils font partie du générateur de vapeur et sont chauffés par le même foyer que la surface de chauffe servant à la vaporisation. La vapeur circule dans un certain nombre de tubes placés sur la circulation des gaz lesquels cèdent leur chaleur à la vapeur. Les surchauffeurs sont constitués de serpentins en tubes, habituellement de 25 à 40 mm de diamètre placés dans la boîte à fumée ou, dans le cas des multitubulaires, entre le faisceau et le corps. Les éléments sont reliés à chaque extrémité à un collecteur, l'un de vapeur saturée, l'autre de vapeur surchauffée.

2.1.1.2 Contraintes et normes d'utilisation

La corrosion, l'érosion, les températures élevées ainsi que les fortes pressions (jusqu'à 1900 PSI) constituent les principales contraintes auxquelles doivent répondre les tubes de chaudières, de réchauffeurs et de surchauffeurs.

De plus, lors de leur insertion dans la chaudière, les tubes doivent résister à la dilatation sans présenter de brisures ni de fêlures, ni d'ouverture aux soudures. Les tubes doivent aussi supporter les différentes opérations de forgeage, soudage et cintrage sans développer de défauts, et doivent être d'une haute résistance structurale. L'absence d'écaillage et de bavures aux extrémités est également nécessaire.

Les principales normes employées sont les suivantes :

ASTM : A-250, A-226, A-178, A-192, A-209, A-210, A-213, A-249

ASME : SA- 53, SA-135, SA-178, SA-226, SA-249, SA-250, SA-106, SA-192, SA-209, SA-210, SA-213, SA-335, SA-423

BSI: 806, 3059, 24, 1306, 3218

2.1.1.3 Choix des matériaux

- Tubes de chaudières et de surchauffeurs

Les tubes de chaudières et de surchauffeurs sont habituellement en acier doux ou semi-doux soudés par résistance électrique (\varnothing int. $\frac{1}{2}$ à 5", épaisseur 0,035 à 0,320") ou sans soudure (\varnothing int 1 à 7", épaisseur 0.085 à 1.000"), ou en alliage d'acier au carbone et de molybdène soudé par résistance électrique (\varnothing int $\frac{1}{2}$ à 5", épaisseur 0.035 à 0.320") ou sans soudure (\varnothing int $\frac{1}{2}$ à 5", épaisseur 0.035 à 0.500").

Pour les tubes de diamètre inférieur à 3" et dans des conditions de température ne dépassant pas 406°F (vapeur à 250 lpc), le cuivre ainsi que des alliages de cuivre et de nickel peuvent aussi être utilisés. En pratique cependant ces matériaux sont peu ou pas employés.

Dans les générateurs de vapeur et les surchauffeurs de centrales nucléaires, les tubes en acier inoxydables ou en alliages de nickel sont de préférence utilisés. Pour les réacteurs refroidis à eau où les tubes opèrent à des températures variant de 200 à 300°C, les aciers inoxydables de type 304L et 316L sont surtout employés. Dans le cas des réacteurs refroidis à gaz, (bioxyde de carbone ou hélium), les températures des tubes peuvent atteindre 650°C. et les conditions de corrosion sont particulièrement importantes. On emploie alors des tubes en acier austénitique de type 316. Pour les réacteurs refroidis au sodium où les tubes sont exposés à des températures pouvant atteindre 600°C, les aciers austénitiques ou ferritiques peuvent être employés. Afin de parer au problème de la décarburation des tubes en acier ferritique à faibles alliages, ceux-ci sont stabilisés au niobium.

- Tubes de réchauffeurs

Afin d'éviter la corrosion, les métaux non ferreux tels le cuivre jaune 70/30 et le cupro-nickel 70/30 ont été largement employés dans le passé. Toutefois des difficultés dues à l'écaillage extérieur ont été rencontrées avec les tubes de cupro-nickel 70/30. Dans plusieurs cas, ceci est survenu dans les générateurs à vapeur opérant à deux postes en raison, estime-t-on, de l'oxygène présent dans la coquille du réchauffeur lorsque le générateur est à l'arrêt. D'un autre côté, les tubes de cupro-nickel 90/10 ont été pratiquement exempts d'un tel écaillage. L'alliage de nickel (66%), cuivre (31%), fer (2%) et manganèse (1%), connu aussi sous le nom de Monel, peut être employé avec avantage en raison de sa robustesse égale à l'acier de construction, de sa facilité de fabrication et de sa haute résistance à diverses formes de corrosion et d'érosion. Il est toutefois dispendieux.

Etant donné la grande pureté de l'eau d'alimentation nécessaire dans les géné-

rateurs modernes, l'acier doux soudé par résistance électrique ou sans soudure par étirage à froid est devenu le matériau le plus employé comme tube de réchauffeur; sa conductivité thermique est plus élevée que celle du Monel ou du cupronickel 90/10.

Les normes ASTM A557 et A556 concernent plus particulièrement ces tubes. Les normes énoncées à la section 2.1.1.2 sont également applicables.

Pour les économiseurs les tubes en fonte d'environ 10 cm de diamètre intérieur peuvent être utilisés mais ils sont de plus en plus remplacés par des tubes en acier doux de plus petit diamètre et moins lourds.

Pour les réchauffeurs et économiseurs dans les centrales nucléaires, on emploie des tubes en acier ferritiques ou austénitiques, quoique ces derniers (types 304 et 304L) sont préférés en raison de leur grande résistance aux différents types de corrosion.

2.1.2 Echangeurs de chaleur, condenseurs et évaporateurs

2.1.2.1 Définitions

Un échangeur de chaleur est un appareil destiné à refroidir ou réchauffer un fluide au moyen d'un autre fluide qui circule à une température différente. Il est généralement constitué d'un faisceau de tubes à l'intérieur desquels circule le fluide à refroidir ou à échauffer. Dans les échangeurs de gaz à liquide employant une surface tubulaire, avec le liquide circulant à l'intérieur et le gaz à l'extérieur, la principale résistance à la chaleur se produit du côté du gaz. Dans ces cas où le transfert est bas, on emploie des tubes à ailettes afin de fournir une plus grande surface.

Ce type d'appareil est utilisé dans de nombreuses industries, entre autres celles des fertilisants, de la pétrochimie, des plastiques, de la pulpe et papier, de l'énergie nucléaire, des produits pharmaceutiques, etc.

Le condenseur est un appareil dont le but est de liquéfier un fluide gazeux par condensation. Il existe divers systèmes de condenseurs se différenciant par la méthode employée pour assurer la condensation. Le système considéré ici est celui dit par surface. Dans un tel système, le fluide gazeux est condensé en le faisant circuler à l'extérieur d'un faisceau tubulaire possédant une grande surface de refroidissement. Le faisceau tubulaire est traversé par un courant d'eau froide (ou autres types de fluides) qui, par convection et conductibilité, absorbe la chaleur du fluide gazeux, qui se refroidit. Il en résulte que celui-ci se condense au contact du métal pour être ensuite évacué du condenseur.

Les condenseurs trouvent leurs principales applications dans les installations génératrices de vapeur, les raffineries de sucre, les raffineries de pétrole, ainsi que dans diverses industries de transformation.

Quant à l'évaporateur, il s'agit d'un appareil destiné à assurer la dissécation, le séchage de divers produits. Il est employé entre autres dans l'industrie textile, de la pulpe et papier et du sucre.

Quoique de dimensions variées, les condenseurs et échangeurs sont souvent des consommateurs importants de tubes. A titre d'exemple, 160 kilomètres de tubes en alliage de cuivre de 7/8" de diamètre et de 9 mètres de longueur ont été utilisés dans la fabrication d'un seul condenseur pour une usine thermique à Lakeview, Ontario, Canada. Un autre exemple est la fabrication d'un échangeur de chaleur pour une unité de dessalinisation d'eau de mer à Port Brega en Libye qui a nécessité 23 kilomètres de tubes de 3/8" de diamètre en alliages de cuivre.

2.1.2.2 Contraintes et normes d'utilisation

Lorsqu'il est question de faire le choix d'un métal pour une installation d'échangeurs ou de condenseurs, outre les propriétés de conductivité thermique, il est nécessaire d'analyser la forme et les conditions d'opération aussi bien que de prévoir le type de corrosion qui peut être anticipé.

Pour évaluer et apprécier les besoins des tubes de condenseur et d'échangeur, une connaissance générale de la corrosion et des formes qu'elle peut prendre est de première importance.

La défaillance normale des tubes résulte de l'usure graduelle du métal causée soit par la corrosion, soit par l'érosion. Les mécanismes exacts de ces défaillances sont souvent très complexes et varient selon la composition et la vélocité des gaz ou des liquides en contact avec les tubes, la température d'opération ainsi que la composition et la qualité des tubes.

Les principales formes de corrosion auxquelles sont soumis les tubes d'échangeurs et de condenseurs sont la corrosion électro-chimique, l'attaque par cavitation, la corrosion par l'état latent d'efforts, la fatigue par corrosion, la corrosion par fendillement et, dans le cas des tubes en alliages de cuivre et zinc, la dé-zincification.

Tel que mentionné précédemment, la nature des gaz ou liquides manipulés est très importante dans le choix d'un métal ou alliage pour les tubes en ce sens qu'elle influe directement sur le comportement des tubes à la corrosion. Par exemple, la plupart des composés d'ammoniaque sont corrosifs pour le cuivre et alliages à base de cuivre alors que l'acier se comporte de façon satisfaisante. L'oxygène en solution, le bioxyde de carbone dans les solutions aérées que l'on retrouve à divers degrés dans la plupart des eaux de puits et dans les eaux contenant des matières organiques, l'hydrogène sulfuré provenant de divers composés de soufre, d'égouts, de sous-produits de l'industrie pétrolière etc., les sels contenus dans l'eau de mer ainsi que certains solides tels sable, limon, organismes marins, etc. sont tous des éléments dont l'action corrosive est très élevée et qui doivent entrer en ligne de compte dans le choix des maté-

riaux pour tubes.

En plus de résister aux contraintes précédentes, les tubes doivent être uniformes, lisses et entièrement exempts de défauts tel rayures profondes, piqûres, inclusions etc. De semblables défauts tendent à favoriser la corrosion localisée et peuvent amener une défaillance prématurée.

Les principales normes utilisées concernant les tubes d'échangeurs et de condenseurs sont les suivantes :

ASTM : A-179, A-199, A-213, A-214, A-249, A-498, A-382,
B-111, B-359, B-395, B-234, B-404, B338, B163,
B-468

BSI : 1627, 1628, 378, 3274

AFNOR : NFJ 66-105

DIN : 12575, 12580, 12586, 12590

2.1.2.3 Choix de matériaux

La grande variété de conditions d'opérations auxquelles sont soumis les tubes a amené l'emploi de divers métaux et alliages comme matériaux, chacun devant répondre à des conditions plus ou moins particulières d'usage. La liste qui suit indique les différents types de tubes employés.

Acier

- Tubes d'acier au carbone soudés par résistance électrique généralement jusqu'à 3" de diamètre extérieur
- Tubes d'acier inoxydable, d'acier doux et d'acier allié soudé ou sans soudure avec ailettes externes hélicoïdales intégrées, généralement jusqu'à 2" de diamètre extérieur
- Tubes en divers grades d'acier au chrome-molybdène et chrome-molybdène-silicone sans soudure étirés à froid, de diamètre extérieur de 1/8 à 3".
- Tubes d'acier doux sans soudure étiré à froid, \varnothing ext 1/8 à 3".
- Tubes d'acier austénitique sans soudure, \varnothing ext 1/2 à 5".
- Tubes d'acier austénitique soudé par procédé de soudage automatique.

Aluminium

- Tubes d'alliages d'aluminium (silicone, fer, cuivre, manganèse, magnésium, chrome, zinc, titanium)
- Tubes d'alliages d'aluminium sans soudure avec ailettes externes hélicoïdales intégrées.

Fer malléable

- Tubes en fer malléable étirés à froid et recuits soudés (ϕ ext $\frac{1}{2}$ à 2") ou sans soudure (ϕ ext 2 à 3 $\frac{1}{2}$ ")

Cuivre

- Tubes en cuivre et divers alliages sans soudure (ϕ ext jusqu'à 2")
- Tubes en cuivre et divers alliages sans soudure cintrés en U
- Tubes en cuivre et divers alliages avec ailettes externes hélicoïdales intégrées obtenues par étirage à froid.

Les divers types de cuivre et alliages normalement utilisés sont les suivants :

Alliage no. (1)	102 - Cuivre désoxydé
	120 - Cuivre phosphorisé à faible résidu de phosphore
	122 - Cuivre phosphorisé à haut résidu de phosphore
	142 - Cuivre phosphorisé arsénical
	230 - Laiton rouge
	443, 444, 445 - Laiton admiralty B, C et D
	687 - Laiton à aluminium 8
	704 - Cuivre nickel 95 - 5
	706 - " " 90 - 10
	710 - " " 80 - 20
	715 - " " 70 - 30
	716 - Cuivre - nickel - fer
	720 - Cuivre - nickel 60 - 40

Autres

- Tubes en alliages de chrome - nickel - Fer - molybdène - cuivre - columbium stabilisés, soudés ou sans soudure
- Tubes en titanium soudés ou sans soudure
- Tubes en nickel et alliages de nickel, sans soudure

(1) Système de classification de la "Cooper Development Association Inc." (Etats-Unis)

Le cuivre phosphorisé est particulièrement employé pour les applications où la conductivité thermique constitue une qualité essentielle (usines thermiques et raffineries de sucre). Lorsque les températures d'opération sont plus élevées, le cuivre arsenical est préférable.

Le laiton "Admiralty" est largement utilisé dans les condenseurs où circulent de l'eau de mer (navires), des eaux saumâtres ou de l'eau douce polluée. Il est souvent employé dans les appareils fonctionnant au dessus de 400° F. dans le cas où l'eau de refroidissement est de faible vitesse et pas trop turbulente. Lorsque une haute vitesse et une turbulence excessive des eaux de refroidissement est rencontrée, les alliages tels le laiton à aluminium ou le cuivre-nickel sont nécessaires.

Les alliages de cuivre-nickel sont surtout employés lorsque les conditions (températures élevées, érosion, attaque par cavitation) sont particulièrement sévères, et de plus éliminent les défaillances dues à la dezincification propre aux alliages de cuivre et de zinc.

L'acier inoxydable de types 304, 316, 317L (1) et le titane peuvent présenter certains avantages pour les tubes de condenseurs, surtout dans les réacteurs nucléaires, par rapport aux tubes de laiton et d'alliages de cuivre-nickel. La corrosion peut être éliminée des deux côtés, celui de la vapeur et celui de l'eau. Il en résulte une résistance thermique constante et exempte le réchauffeur d'alimentation des ions de cuivre et autres impuretés. La conductivité thermique de l'acier inoxydable et du titane est inférieure à celle des alliages de cuivre. Ceci est d'importance mineure toutefois puisque la résistance thermique du tube compte pour seulement 7% du coefficient total de transfert de chaleur. De plus, l'acier inoxydable, et, dans une plus grande mesure, le titane favorise une meilleure condensation par gouttelettes que les alliages de cuivre. Ils sont aussi insensibles à la corrosion causée par de légères additions d'ammoniacque habituellement faites, pour ajuster la valeur du PH. Ils sont toutefois plus dispendieux.

Les tubes en alliages d'aluminium sont surtout employés dans l'industrie pétrochimique en raison de leur résistance à la plupart des produits pétroliers et à un grand nombre de produits chimiques organiques et inorganiques. L'aluminium est très résistant à l'hydrogène sulfuré et au bioxyde de carbone. Il est généralement recommandé pour les échangeurs de chaleur où circulent des eaux de refroidissement douces ou salées avec un PH compris entre 5 et 8.

Les tubes en nickel et en alliages de nickel sont utilisés surtout pour les applications corrosives tels la caustique en fusion et autres sels en fusion et pour des températures d'opération supérieures à 600°F.

(1) Classification de l'"American Iron and Steel Institute"

Pour certaines applications particulières, dans les laboratoires notamment, le tube en verre borosilicate est aussi employé dans les échangeurs de chaleur. L'industrie pharmaceutique l'utilise également. En plus de posséder de bonnes qualités de transfert de chaleur, sa transparence constitue un des principaux avantages de son utilisation : il est cependant délicat (mauvaise tenue mécanique aux efforts de traction, flexion et torsion) et ne peut être utilisé pour les applications où les pressions et les températures d'opération sont élevées. Dans les échangeurs "air-fumées", employés couramment dans les chaudières de toutes puissances pour la récupération poussée des calories contenues dans les fumées par réchauffage de l'air de combustion, l'accroissement limité du rendement de l'échange thermique nécessite l'évacuation des gaz brûlés à des températures peu élevées, en dessous du point de rosée des gaz. L'eau chargée d'acides sulfureux et sulfurique ainsi condensée sur les tubes d'échangeurs traditionnels entraîne une corrosion très rapide de ceux-ci. Ce problème est résolu par l'emploi de tubes en verre borosilicaté dont les avantages sont une parfaite résistance à la corrosion, un encrassement moindre, un nettoyage plus facile et moins fréquent ainsi qu'une perte de charge plus faible pour une même section de passage.

Dans les applications où les tubes sont attaqués simultanément à l'intérieur et à l'extérieur par deux types d'éléments corrosifs complètement différents, les tubes de type duplex peuvent être employés avec avantage. Différentes combinaisons de cuivre, alliages à base de cuivre, aluminium ou acier sont utilisées pour les conditions de corrosion trop difficiles à supporter par un seul métal.

Dans les applications de transfert de chaleur en milieu particulièrement corrosif, on emploie depuis quelques années des tubes en tétrafluoroéthylène (Teflon) (1) particulièrement résistants à la corrosion et qui offrent une surface non adhérente. Ces tubes sont habituellement produits dans les diamètres de 1/4 ou 1/10".

Depuis quelques années également, un nouvel alliage de cuivre d'un coût relativement bas a été développé pour usage comme tube d'échangeur de chaleur et dont une des particularités est de se prêter au cylindrage (roll forming) et à la soudure par induction à haute fréquence. Connue sous le nom d'alliage 194, et répondant à la norme ASTM B-465, il est composé de cuivre, fer (2.3%) et phosphore (0.03%). Cette composition offre une excellente combinaison de propriétés chimiques et physiques. Elle a une robustesse modérément élevée, une haute conductivité thermique et une bonne résistance à la corrosion. L'alliage 194 est considérablement plus résistant que le cuivre ordinaire et légèrement plus que le cuivre - nickel 90 - 10. Sa conductivité thermique est plus du double de celle du métal Admiralty (alliage 443) ou des alliages de cuivre-nickel 706 et 715. Un des principaux avantages de ce type de tube, outre la possibilité de fabrication par soudage moins dispendieuse, est de pouvoir remplacer avec une épaisseur de paroi réduite des alliages nécessitant une paroi plus épaisse. Ainsi l'alliage 194 a souvent remplacé avec avantage les tubes en laiton Admiralty et en laiton à aluminium dans les condenseurs de surface eau-vapeur d'usines thermiques.

(1) "Teflon" est une marque déposée de la Cie Dupont.

2.1.3 Appareils de chauffage, de conditionnement d'air et de réfrigération

2.1.3.1 Définitions

Parmi les principaux appareils ou dispositifs mentionnés les radiateurs (chauffage à eau chaude) les convecteurs-plinthes (chauffage hydronique), aérothermes, serpentins de chauffage et de réfrigération, climatiseurs, etc.

La presque totalité des tubes utilisés dans ces appareils fait appel aux mêmes principes de transfert de chaleur rencontrés précédemment pour les échangeurs et condenseurs et de fait incorporent souvent ces deux types de dispositifs.

Des tubes de très faibles diamètres (capillaires) sont aussi employés comme dispositif de contrôle du liquide réfrigérant. Ces tubes ont des diamètres variant de 0.025 à 0.100" et sont habituellement d'une longueur comprise entre 2 et 7 mètres.

Nous incluons également ici les tubes utilisés dans les systèmes de chauffage par radiation encastrés dans les planchers, murs ou plafonds, dans les installations de déneigement où les serpentins sont encastrés dans les trottoirs, les rampes de garage, les plates-formes de chargement, ainsi que dans les patinoires à glace artificielles.

2.1.3.2 Contraintes et normes d'utilisation

La résistance aux diverses formes de corrosion et la conductivité thermique sont parmi les principales contraintes d'utilisation. Dans les appareils de réfrigération, la propreté est d'une importance absolue et les tubes doivent être complètement exempts d'écailles, éclats de métal, poussières, lubrifiants et autres résidus étrangers.

Les normes principales relatives à ces usages sont les normes suivantes :

ASTM : A-53, A-72, A-254, B-68, B-75, B-88, B-280

BSI : 378

DIN : 42556, 12575, 12580, 12586, 12590

AFNOR : NF E 35-001

2.1.3.3 Choix de matériaux

Pour les usages mentionnés précédemment, le cuivre est le matériau le plus généralement utilisé en raison de son poids réduit, des grandes longueurs disponibles particulièrement utiles pour les serpentins, sa résistance à la corrosion, sa facilité d'être joint, plié et manipulé. Dans les appareils de réfrigération et

de climatisation, le cuivre est couramment utilisé avec tous les gaz réfrigérants à l'exception de l'ammoniaque. Dans ce dernier cas le tube d'acier galvanisé à chaud ou non, soudé ou sans soudure, ou le tube d'aluminium sont utilisés.

Pour augmenter les surfaces de transfert de chaleur, les tubes de serpentins en cuivre (réfrigérants ou chauffants) sont à ailettes d'aluminium ou de cuivre.

Le verre borosilicaté est également utilisé dans certains appareils ou dispositifs de laboratoires et installations similaires, tels colimaçons, anneaux serpentins, tubes radiants, tubes de débitmètres, etc.

Pour les serpentins de chauffage ou réfrigérants, les tubes radian, ainsi que les tubes de pyromètres opérant dans de très sévères conditions de corrosion, dans l'industrie chimique par exemple, divers grades d'acier inoxydables sont employés, dont la composition varie selon les types d'acides et les niveaux de température auxquels sont soumis les tubes.

2.1.4 Equipements de soudage et de nettoyage par jet de sable.

Les tubes sont utilisés à diverses fins relativement au soudage du gaz et pour la projection de sable et grenaille.

Concernant le soudage, les tubes doivent, tout en étant flexibles, résister à l'abrasion et aux flammes alors que dans le cas du nettoyage au sable, l'usure et surtout l'abrasion sont importants.

Les boyaux sont généralement fabriqués en caoutchouc synthétique imperméables avec carcasse en plis ou guipages de fibres synthétiques et revêtement de caoutchouc résistant aux flammes et à l'abrasion pour les boyaux de soudage. Pour les boyaux de nettoyage on emploie un mélange de caoutchouc élastique résistant à l'abrasion avec carcasse à multiples torsades de cordes de coton et un revêtement extérieur résistant à l'usure et à l'abrasion.

2.2 Pièces d'équipements mécaniques, outils et pièces diverses

2.2.1 Définitions

Il existe un grand nombre de pièces et d'instruments qui peuvent être fabriqués à partir de profilés creux ou tubes dits mécaniques au lieu de barres pleines. Ceci permet des économies de temps, de main-d'oeuvre et diminue l'usure des outils tout en permettant souvent l'accroissement de la productivité par heure-machine.

Parmi les nombreuses applications, mentionnons les suivantes :

- arbres de transmission
- cylindres hydrauliques

- cylindres à air comprimé pour disjoncteurs
- pièces annulaires et tubulaires pour machines-outils, tel fraiseuses, tours, perceuses, etc.
- joints d'étanchéité
- éléments de soupapes
- manchons d'accouplement
- commandes excentriques
- rouleaux de laminoirs
- rouleaux de fours à recuire en continu
- rouleaux humectants pour presses "offset".
- rouleaux de machines à teindre, tiges de fils pour cuve de teinture, bâtonnets de teinture.
- bobinoirs et dévidoirs
- pièces d'équipement d'usine de blanchiment (pâtes et papiers)
- pièces d'équipement de polymérisation (plastiques)
- supports d'objectifs pour caméras
- coussinets, bagues, brides, vis et boulons creux, roulements
- bandes de rotations pour projectiles
- pièces diverses de robinetterie
- instruments chirurgicaux

2.2.2 Contraintes d'utilisation

Les principales contraintes qui peuvent être associées à ces différents usages sont la résistance à la corrosion, de bonnes aptitudes à être soudés, à être usinés. La résistance mécanique, la ténacité à hautes ou basses températures ainsi que des surfaces denses et lisses sont également nécessaires pour de nombreuses applications.

2.2.3 Choix des matériaux

L'acier est sans contredit le matériau le plus couramment utilisé pour ces applications, quoique certains alliages de cuivre sont également employés surtout pour des pièces de robinetterie, des vis et boulons creux ainsi que pour des coussinets, bagues et autres produits similaires.

L'utilisation de l'acier est surtout attribuable à ses excellentes propriétés mécaniques et physiques, à la variété de diamètres, épaisseurs et formes disponibles, à sa résistance à la corrosion et à ses facilités de soudage et d'usinage. Dépendant des applications, divers grades d'acier et d'alliages sont employés. Parmi les principaux, mentionnons les aciers inoxydables de types AISI/ASTM 304, 304L, 303, 321, 316, 316L, 316 Ti (stabilisé au titane), 329, et les aciers non inoxydables de types AISI/ASTM 1518 (alliage de manganèse) et 1034.

Ces tubes sont généralement sans soudure.

Quant aux alliages de cuivre, il s'agit principalement de laiton à basse ou haute teneur en plomb.

CHAPITRE XXII

MATERIEL DE TRANSPORT ET DE MANUTENTION

1. DEFINITION

Dans ce chapitre nous avons inclu tous les types de véhicules ou appareils servant au transport de personnes ou de marchandises ainsi qu'aux opérations de manutention. Les équipements de terrassement ainsi que la machinerie agricole sont également compris dans la présente définition.

2. USAGES

Ce secteur est probablement un de ceux où la variété des usages, et, par extension, des types de tuyaux, est la plus étendue. Ceci découle de la spécialisation de plus en plus poussée du domaine, et comme corollaire, de la diversité, tant au niveau de la conception que des dimensions, des véhicules et appareils.

A titre d'exemple, il suffit de mentionner la bicyclette, où le tube sert d'ossature, et à l'autre extrême, le navire où le tube est employé à une foule d'usages tant comme canalisation que comme élément mécanique, de charpente ou de décoration.

Afin de tenir compte de cette diversité et également de la spécificité relative des usages par rapport aux différents véhicules ou appareils, nous avons regroupé les usages selon les principaux types de véhicules. Ceci permet en effet de tenir compte des conditions d'utilisation propres à chacun et facilite également les liens avec les définitions de normalisation s'il y a lieu.

Les catégories de matériel de transport et de manutention retenues sont celles des véhicules tractés ou non, comprenant les autos, camions, autobus, tracteurs, remorques, etc., des navires et autres appareils flottants, des aéronefs, du matériel roulant de chemin de fer, des bicyclettes et motocyclettes. Une dernière catégorie couvre les appareils divers tels les ascenseurs hydrauliques, les transporteurs à rouleaux, etc.

2.1 Les véhicules-automobiles

Les types de véhicules inclus dans cette section sont les automobiles, les camions, les autobus, les tracteurs, les remorques, les roulottes, les engins de terrassement et de manutention, les machines agricoles, ainsi que les divers appareils spécialisés.

Parmi l'ensemble des applications de tubes décrites ci-après, certaines sont générales à tous les types de véhicules alors que d'autres sont spécifiques. Leur

importance peut également varier. S'il y a nécessité, les applications spécifiques seront mentionnées dans le cours du texte.

2.1.1 Canalisations d'essence

Il existe deux types de canalisations d'essence. L'une sert au remplissage du réservoir alors que l'autre a comme fonction l'acheminement de l'essence du réservoir au moteur.

La première n'est en fait soumise à aucune condition d'opération particulière et est normalement bien protégée. Elle est généralement en acier noir galvanisé ou non, soudé longitudinalement. Il en va autrement de la canalisation d'amenée qui, tout en étant d'un diamètre inférieur, doit être robuste et être en mesure de résister à la chaleur souvent élevée dégagée par le moteur. Elle doit également offrir une certaine flexibilité, tout en étant très résistante aux effets de la corrosion extérieure. Ces canalisations, de diamètres intérieurs généralement compris entre 3/16 et 1/2" sont soit rigides, en acier ou en cuivre, soit souples, en caoutchouc synthétique renforcé. Ce dernier type de matériau est de plus en plus utilisé dans les véhicules lourds de transport ou de terrassement où les conditions d'utilisation sont très sévères.

2.1.2 Systèmes de timonerie

La quasi totalité des véhicules utilisent des systèmes de freinage hydrauliques, ou à air comprimé. Les tubes y sont employés pour assurer la transmission de la pression aux différents mécanismes de freinage. Ce rôle de transmission vaut également pour les systèmes d'assistance hydraulique de direction.

Pour fonctionner normalement et en toute sécurité, ces systèmes doivent être d'une très grande étanchéité et être en mesure de résister à des pressions intérieures qui peuvent parfois atteindre 15 bars dans le cas des systèmes de freinage à air comprimé de véhicules lourds tels camions remorques, autobus, engins de terrassement sur roues, etc.

La chaleur élevée, la corrosion externe, le frottement constituent également des contraintes d'utilisation non négligeables et souvent de première importance particulièrement pour les engins de terrassement et la machinerie agricole.

La flexibilité des canalisations peut aussi s'avérer importante lorsque ces dernières doivent atteindre des endroits difficilement accessibles. L'absorption sans fatigue des vibrations ou des chocs rencontrés lors de la marche du véhicule représente un autre avantage d'une canalisation flexible. Les diamètres intérieurs de ces canalisations varient généralement entre 3/16 et 1 1/8". Sur les automobiles, elles sont habituellement en acier soudé revêtu ou en cuivre alors que sur les autres types de véhicules elles sont soit en acier soudé revêtu ou en cuivre, soit en caoutchouc synthétique. Ce dernier est habituellement renforcé de fil d'acier inoxydable et re-

couvert de coton quoique les revêtements et éléments de renforcement soient souvent fonction des conditions de pression et de température, et ainsi peuvent varier d'un type de véhicule à l'autre. Mentionnons que le caoutchouc synthétique est de plus en plus utilisé pour l'ensemble du système de freinage à air comprimé sur les véhicules lourds, et toujours pour les raccordements entre composantes d'un même véhicule (ex semi-remorques).

2.1.3 Systèmes de refroidissement, de chauffage et de conditionnement d'air

Ces systèmes ont comme fonction d'une part d'assurer la circulation de l'agent refroidissant entre le radiateur, le bloc-moteur et la chaufferette, et d'autre part, la distribution de l'air à l'intérieur du véhicule. La corrosion intérieure découlant de l'emploi d'agents refroidissant tel le glycol, l'entartrage, la chaleur, les changements de température sont les principales contraintes associées à ces systèmes.

Pour les raccordements du radiateur au bloc et du bloc à la chaufferette (\varnothing int 7/16 à 1") on utilise généralement des boyaux en caoutchouc synthétique résistants au glycol avec une carcasse tricotée ou guipée. Dans les systèmes de climatisation et de réfrigération où le fréon est utilisé comme agent réfrigérant, on emploie souvent un boyau en caoutchouc synthétique renforcé à faible taux de diffusion. Celui-ci est employé pour les types 12 et 13 de fréon alors que pour le fréon 22, on emploie des boyaux en nylon, plus résistants. Pour la distribution d'air à l'intérieur des véhicules, on utilise fréquemment des boyaux flexibles en néoprène. Quant aux véhicules tels autobus et remorques où les conduits sont plus longs, on emploie souvent l'acier galvanisé flexible ou rigide.

2.1.4 Lave-glaces

Les gicleurs sont généralement reliés au réservoir d'alimentation par un tube flexible de petit diamètre (\varnothing int 3/8 - 1/4") en caoutchouc ou en plastique (polyéthylène)

2.1.5 Systèmes hydrauliques de levage et de manutention

Les canalisations utilisées dans ces systèmes ont une fonction identique à celles employées pour la timonerie mais opèrent à des pressions beaucoup plus élevées pouvant atteindre dans certains cas 350 Kg/cm². En plus d'une très forte résistance à la pression intérieure, ces canalisations doivent dans la plupart des cas posséder une certaine flexibilité afin de satisfaire aux déplacements des parties mobiles. Elles doivent de plus être en mesure de résister aux frottements et chocs extérieurs de même qu'à diverses conditions de température et de climat.

Ces canalisations sont généralement en caoutchouc synthétique (Buna ou néoprène) renforcé de fil d'acier très robuste enroulé en spirale et recouvert d'un autre type de caoutchouc synthétique résistant au frottement.

2.1.6 Système d'échappement

Le système d'échappement comprend habituellement deux parties : la tubulure et le ou les pots d'échappement auquel s'ajoute parfois un résonateur. Il faut également ajouter les canalisations servant à la recirculation des gaz d'échappement afin d'assurer une meilleure combustion.

La tubulure doit avant tout résister aux très fortes températures et aux effets corrosifs des gaz d'échappement dont elle assure l'évacuation. Elle doit de plus résister à la corrosion externe ainsi qu'aux chocs, tout en offrant une flexibilité de façonnage. L'acier noir mince soudé longitudinalement est habituellement le matériau employé.

Quant au pot d'échappement, il s'agit essentiellement d'un tuyau muni de chicanes dont le rôle est d'étouffer le bruit des gaz brûlés. Sa principale contrainte est la résistance aux températures élevées. Il est également fabriqué à partir d'acier noir mince soudé longitudinalement.

2.1.7 Canalisations diverses pour manutention

Le déchargement ou le transbordement de produits liquides ou solides tels les produits chimiques, les produits alimentaires, les matières sèches (grains, ciment) les produits pétroliers, etc., transportés en vrac, par camion citerne ou autre véhicule similaire, nécessitent fréquemment l'emploi de canalisations.

La résistance aux produits transportés est de première importance afin d'éviter toute détérioration prématurée et surtout d'assurer une protection sûre à l'opérateur contre la contamination par les produits.

La pression intérieure, l'abrasion ainsi que les chocs et l'écrasement sont les principales contraintes à considérer. La flexibilité est également nécessaire pour faciliter la manutention et diminuer l'encombrement. Lorsqu'il s'agit de manutention de produits alimentaires, le matériau ne devra transmettre aucun goût ni odeur.

Pour les cas où il est nécessaire d'insuffler de l'air chaud dans des citernes pressurisées, le conduit devra être capable de supporter des températures de l'ordre de 170° C.

Ces canalisations sont normalement en caoutchouc synthétique dont la composition et les revêtements varient selon le type de produit transporté et selon les conditions d'opération.

Les diamètres utilisés sont généralement de 2 à 6" pour les produits alimentaires de 1 à 4" pour les produits chimiques, de 2 à 6" pour les matières sèches et de 1 à 1½" pour les produits pétroliers.

Remarquons que ces diamètres s'appliquent dans le cas des camions-citernes seulement et que les boyaux utilisés pour le chargement ou déchargement de grosses quantités, dans les ports par exemple, ont des diamètres plus importants.

2.1.8 Arbres de transmission et pièces diverses des organes moteurs

L'arbre de transmission est un axe dont le rôle est de transmettre le mouvement de rotation du moteur à l'essieu. Sa longueur ainsi que sa grosseur sont fonction du type de véhicule et des efforts prévus. Il doit avant tout résister aux efforts de torsion ainsi qu'au cisaillement.

Cette pièce peut être usinée à partir d'un tube mécanique en acier très résistant et de forte épaisseur, ou à partir d'une tige pleine. Toutefois l'emploi du tube est préféré chaque fois qu'il est possible en raison des économies de métal et également des économies d'usinage.

Les bagues, chemises de cylindres, pistons, engrenages, etc. peuvent également être fabriqués à partir de tubes mécaniques en acier dont la composition varie selon les normes à respecter.

2.1.9 Colonne de direction

Dans le cas de la colonne de direction, le tube est surtout utilisé comme enveloppe pour la tige de direction proprement dite. Quant à cette dernière, il s'agit généralement d'une tige pleine.

L'enveloppe est habituellement en acier de type serrurier de qualité 102.

2.1.10 Amortisseurs de suspension

L'amortisseur de suspension pour véhicule est généralement constitué de deux pièces dont l'une est fixe et l'autre coulissante. Ces pièces ne doivent pas présenter de rugosités intérieures et nécessitent des tolérances très serrées, tout en étant rigides et résistantes.

Elles peuvent être fabriquées à partir de tubes en acier de qualité 105 (aucun cordon intérieur) ou en acier sans soudure.

2.1.11 Autres usages

Outre les usages mentionnés précédemment, les tubes peuvent être employés pour la fabrication de sièges, comme éléments de carrosserie, de châssis, comme barres de protection et supports de cabines pour les engins de manutention et de terrassement. Dans les autobus en particulier, ils sont utilisés également comme barres d'appui ou de soutien soit verticales, soit horizontales.

Les caractéristiques habituellement recherchées pour ces types d'usages sont la

légèreté et la solidité, une gamme étendue de dimensions, la possibilité d'appliquer des revêtements très divers soit de protection, soit d'embellissement, et une facilité de façonnage. La durabilité et le coût d'achat entrent également en ligne de compte. Pour les supports de cabines ainsi que les barres de protection, la résistance aux chocs ainsi qu'à l'écrasement est particulièrement importante.

Les tubes utilisés sont généralement en acier mince soudé de qualité 102 ou 103 ou en acier inoxydable pour les ossatures de sièges et les barres de soutien, et en acier noir soudé de qualité gaz pour les supports et barres de protection où une forte résistance mécanique est nécessaire.

2.2 Bicyclettes et motocyclettes

La cadre, le guidon et sa tige, le support de selle ainsi que la fourche sont les principaux usages de tubes pour bicyclettes et motocyclettes. Pour ces derniers, il faut ajouter les amortisseurs, le système d'échappement et l'alimentation d'essence.

Les tubes du cadre doivent surtout posséder une haute résistance en tension, tout en étant relativement léger. Ils doivent également présenter une surface lisse afin d'éviter les accrocs et recevoir les revêtements appropriés : chrome, peinture, etc. De plus les tolérances exigées sont très serrées. Ces tubes sont fabriqués d'aciers alliés sans soudure, étirés à froid ou non, et aussi d'acier soudé.

On utilise également des tubes flexibles en caoutchouc synthétique ou en acier galvanisé de faibles diamètres comme conduits pour les câbles de freinage. Quant aux amortisseurs, tuyaux d'échappement et canalisations d'essence, les contraintes et les matériaux utilisés sont sensiblement les mêmes que celles décrites précédemment pour les véhicules.

2.3 Bateaux

Ce type de moyen de transport constitue sans doute celui où les usages de tubes et tuyaux sont non seulement les plus nombreux, mais aussi les plus variés. Certains sont propres à la majorité des bâtiments comme la distribution et l'évacuation d'eau, alors que d'autres sont spécifiques à certains types de navires : ex : canalisations de déchargement de solides fluidifiés.

La liste descriptive donnée ci-après couvre aussi extensivement que possible les différents types d'usages généralement rencontrés.

2.3.1 Chaudières et canalisations de vapeur

Dans les bâtiments où la puissance motrice est assurée par la vapeur, les tubes sont utilisés en grande quantité comme canalisations de circulation à l'intérieur des chaudières, dans les surchauffeurs et les condenseurs ainsi qu'à l'extérieur,

pour la distribution aux moteurs, aux échangeurs de chaleur (1), et aux divers équipements utilisant la vapeur comme force motrice (treuils, etc).

En plus d'être soumises à des températures ainsi qu'à des pressions élevées, ces canalisations doivent résister à la corrosion tant interne qu'externe, particulièrement à l'intérieur des chaudières. Les diamètres habituellement rencontrés sont de $\frac{1}{2}$ à 5", sauf dans les chaudières ignitubulaires où ils peuvent être plus grands. Remarquons que dans ce type de chaudière, la vaporisation est obtenue par l'immersion dans l'eau de tubes où circulent des gaz à haute température. Ces chaudières sont généralement de petites dimensions et sont surtout utilisées sur les bâtiments de faible tonnage. Pour les tubes de chaudières et de surchauffeurs, on emploie habituellement l'acier inoxydable ou certains alliages d'acier tels l'alliage d'acier ou chrome nickel, de molybdène et titaniun et l'acier austénitique et ferritique stabilisé au niobium.

Pour les condenseurs, différents alliages à base d'acier, d'aluminium et de cuivre sont généralement utilisés (2). Pour les circuits de distribution on emploie fréquemment des tubes en acier noir.

2.3.2 Canalisations de distribution et d'évacuation d'eau.

Sur la majorité des bâtiments d'importance existent des systèmes de distribution d'eau douce pour consommation, et d'eau salée pour les services sanitaires, pour l'évacuation des eaux usées ainsi que pour le refroidissement, la protection contre l'incendie et le lavage des ponts. Sur certains bateaux comme les cargos, ces systèmes sont relativement réduits alors que sur les paquebots par exemple, ils sont très élaborés.

Le matériau utilisé doit offrir une très bonne résistance à la corrosion, spécialement dans le cas de transport d'eau salée, tout en résistant aux pressions de service, ces dernières étant toutefois peu élevées. Un autre facteur important est la résistance à la chaleur étant donné que les canalisations sont fréquemment placées aux endroits où les températures sont élevées, soit en raison des installations propres aux bâtiments soit en raison des climats où ceux-ci sont affectés (climat tropical). La facilité de pose ainsi que le poids sont également des caractéristiques non négligeables lorsque les quantités de tubes employées sont importantes.

L'acier noir ou galvanisé a depuis longtemps été le matériau le plus souvent employé pour ces types de canalisations en raison de sa bonne tenue à la chaleur et à la corrosion tout en étant facile à poser et d'un coût avantageux.

-
- (1) Dans la plupart des cas, la vapeur est utilisée pour le réchauffement des circuits d'eau chaude servant au chauffage à l'intérieur du navire.
- (2) Pour une description plus élaborée concernant les tubes de condenseurs, voir le chapitre XXI "Équipements industriels", sous-section 2.1.2

Lorsque les conditions nécessitent une très bonne résistance à la corrosion, on emploie des tuyaux en fonte, quoique leur usage soit fortement limité en raison de leur poids et de leur fragilité.

Depuis quelques années, les plastiques se sont implantés dans le domaine maritime pour toutes sortes d'usages et en particulier pour la tuyauterie.

En effet, les sociétés de normalisation ont en général approuvé l'utilisation du CPV comme matières de tuyauterie dans les navires. Sa très bonne résistance à la corrosion, l'élimination de la corrosion électrolytique, sa légèreté, la facilité de pose et de manutention et la façon dont il réduit les coûts d'installation et d'entretien sont tous des avantages non négligeables pour les constructeurs. Dans certains cas les canalisations en CPV ont été installées en un nombre de jours égal au nombre de semaines nécessaires pour des canalisations similaires en acier.

Son bas coefficient d'écoulement est aussi intéressant puisqu'il demande moins de puissance de pompage. Son principal désavantage toutefois est sa sensibilité à la chaleur, ce qui limite son utilisation aux systèmes d'eau froide, et aux endroits où la température demeure modérée. La règle no. 3 du registre Lloyd stipule en effet qu'en général les tuyaux en plastique ne doivent pas être utilisés lorsqu'ils peuvent être sujets à des températures supérieures à 49°C ou inférieures à 0°C. Son utilisation est donc restreinte aux parties des réseaux situés au-dessus du pont de franc-bord, et aux canalisations d'eau pour les installations de conditionnement d'air. Il est exclus des services essentiels à la sécurité comme la protection contre l'incendie, les canalisations principales et auxiliaires de circulation d'eau, etc.

Le cuivre et le plomb peuvent également être employés. Leur usage est toutefois limité, le premier en raison surtout de son coût élevé, le deuxième en raison de son poids.

2.3.3 Tuyauteries de cargaison et de ballast

Ces tuyauteries sont employées pour les opérations de manutention des produits, liquides ou solides fluidifiés, ainsi que pour le remplissage ou la vidange des ballasts.

Elles doivent surtout être très résistantes à la corrosion, tant intérieure qu'extérieure et offrir un fort coefficient de sécurité. Les matériaux utilisés sont habituellement l'acier noir ou galvanisé soudé ou l'acier moulé. Ce dernier s'est avéré particulièrement résistant à la corrosion et très facilement soudable. Pour la tuyauterie de pont, on emploie souvent un revêtement à base d'aluminium comme élément additionnel contre la corrosion.

Les diamètres des tuyaux pour ces usages varient généralement de 4 à 12 pouces suivant le type et l'importance des bâtiments.

2.3.4 Conduits électriques

L'utilisation des conduits électriques dans les navires répond sensiblement aux mêmes besoins que dans le bâtiment, c'est à dire de protéger les fils ou câbles électriques contre les chocs extérieurs, les acides et vapeurs corrosives et autres conditions de même nature.

Les contraintes d'utilisation ainsi que les matériaux employés sont également similaires sauf l'amiante-ciment qui est d'application peu courante.

Il faut souligner ici l'avantage que peut représenter l'emploi du conduit en PVC en raison de sa légèreté. Cette dernière caractéristique le rend en effet très intéressant pour les types de navires où les conduits sont employés en grande quantité. Ainsi on a employé environ 100 kilomètres de ces conduits dans la construction du paquebot Queen Elizabeth II, ce qui s'est traduit par une économie de poids importante si l'on considère que 3 mètres de conduits de 3" en PVC pèse environ 5 kilos comparativement à 11 pour l'aluminium et 30 pour l'acier.

2.3.5 Système de ventilation

Le renouvellement de l'air ainsi que l'évacuation de l'air vicié est de toute première importance dans la plupart des bâtiments. Le système de ventilation est nécessaire pour assurer l'aération des locaux de l'équipage et/ou des passagers, ainsi que l'évacuation des gaz ou fumées de la salle des machines, des garages (ferry) ou autres endroits du même genre.

Il est également nécessaire pour la cargaison, spécialement lorsque celle-ci est de nature explosive ou nocive. Ainsi sur les pétroliers l'évacuation des gaz inertes est primordiale afin d'éviter les dangers d'explosion pouvant découler de l'accumulation de ces gaz dans les citernes.

Ces systèmes sont généralement constitués de gaines ou de tuyaux selon leur localisation et les gaz ou vapeurs évacuées. Dans ce dernier cas, les conduits doivent résister à la corrosion intérieure souvent élevée qui y est associée tout en offrant également une bonne résistance à la corrosion extérieure.

Le matériau utilisé est habituellement l'acier noir quoique le plastique peut l'être également dans certains cas.

2.3.6 Mains courantes, gordes corps et échelles

Ces usages peuvent impliquer des quantités relativement importantes de tubes suivant les bâtiments. Les tubes employés sont habituellement en acier noir soudé galvanisé. Ils peuvent également être en aluminium ou en acier inoxydable dans les cas où l'on recherche un effet esthétique.

2.3.7 Mâts

Les mâts servent soit à porter les installations radio-électriques, soit à embarquer et débarquer les marchandises (mâts de charge). Ils doivent être d'une grande robustesse, et très rigides, de façon à supporter les diverses charges imposées tout en résistant aux intempéries.

Ils sont généralement constitués d'un tube en acier épais, pour les mâts de charge, et en acier ou en alliage d'aluminium pour les autres.

2.3.8 Usages divers

Les usages décrits précédemment constituent une partie importante de la consommation de tubes et tuyaux que l'on retrouve généralement sur les navires. Toutefois, de la grande diversité des bâtiments existants ainsi que de leur spécialisation de plus en plus poussée découlent des types d'usages particuliers parmi lesquels on peut mentionner :

- Les canalisations de distribution de carburant pour les engins diesels. Elles sont habituellement en acier de petit diamètre.
- Les conduits d'échappement de gaz de combustion.
- Les canalisations de systèmes de réfrigération, ou de chauffage y compris les serpentins de réfrigération ou de chauffage pour produits liquides, chimiques en particulier. Ces tuyaux peuvent être en cuivre allié, en aluminium ou en acier inoxydable.
- Canalisation de circulation interne des cargaisons liquides, de certains produits chimiques en particulier.
- Canalisation de système hydrauliques de manutention et de timonerie
- Tuyauteries de systèmes anti-roulis
- Eléments de superstructures
- Etc.

2.4 Matériel de chemin de fer

La liste des usages donnée ci-après s'applique exclusivement au matériel roulant de chemin de fer, c'est à dire les locomotives, les divers types de wagons et véhicules de service.

2.4.1 Systèmes de freinage à air comprimé

Les canalisations de freinage à air pour les véhicules de chemin de fer doivent

répondre sensiblement aux mêmes caractéristiques que dans le cas des véhicules lourds. Le système toutefois est plus élaboré et les canalisations employées sont de diamètres plus grands.

Les matériaux utilisés sont l'acier noir soudé longitudinalement pour les canalisations rigides fixées aux wagons et le caoutchouc synthétique pour les conduites de raccordement flexibles entre wagons. Ces dernières doivent être particulièrement résistantes à la flexion et aux vibrations.

2.4.2 Sièges, mains courantes, barres de protection et échelles

Les tubes sont employés pour la fabrication de l'ossature des sièges pour les wagons-passagers, les mains courantes ainsi que pour les échelles permettant d'atteindre le toit des wagons.

Dans le cas des tubes pour sièges, on emploie généralement l'acier de qualité 102 ou 103 alors que pour les mains courantes pour les wagons-passagers l'acier inoxydable est le plus souvent employé. Remarquons que des profilés en acier ou en aluminium peuvent également être utilisés pour les mains courantes.

Pour les échelles et mains courantes de wagons de marchandises, on emploie habituellement des tubes en acier noir soudé longitudinalement, galvanisé ou non. Des profilés peuvent aussi être utilisés dans certaines applications.

2.4.3 Canalisations pour wagons-citerne

Comme dans le cas des wagons-citernes, des tubes sont employés pour le déchargement des produits tels l'essence et l'huile, de nombreux produits chimiques ainsi que différents types de matières sèches.

Ces canalisations doivent dans la plupart des cas, être flexibles tout en résistant aux différents produits transportés ainsi qu'aux conditions extérieures d'opération tels le frottement, la lumière solaire, et l'abrasion.

Le matériau intérieur généralement employé est le caoutchouc synthétique (néoprène, buna). La carcasse varie selon le type de produit transporté et selon les conditions d'opération auxquelles sont soumises les canalisations. La toile de coton, les fibres synthétiques, les fils de coton et d'acier entrelacés, les plis à pneus ou de nylon guipés sont parmi les types de matériaux employés. Quant au revêtement, il s'agit généralement de caoutchouc synthétique.

2.5 Aéronautique

L'aéronautique constitue un domaine d'application relativement spécialisée pour les tubes où ils doivent répondre à des normes particulièrement sévères concernant surtout la sécurité de fonctionnement. Les principaux usages sont les suivants :

2.5.1 Canalisations de système hydraulique

Le gouvernail, les volets, le train d'atterrissage sont parmi les principaux éléments dont le fonctionnement est assuré hydrauliquement.

Les tubes employés sont soumis à des pressions intérieures pouvant atteindre 290 Kg/cm^2 et sont exposés à de nombreux efforts à basse et haute température. De plus la surface intérieure doit être absolument lisse et exempte d'éclats ou de particules de nature métallique ou oxydique en raison de la très grande pureté de l'huile dans le système et du haut degré de filtration. Celui-ci pouvant être de l'ordre de 10 microns, il s'ensuit que toute particule peut bloquer le filtre et ainsi entraîner une défaillance du système. Les diamètres extérieurs normalement rencontrés sont compris entre $1/4$ et $1\frac{1}{2}$ ".

Ces tubes sont surtout fabriqués en acier inoxydable stabilisé au niobium ou au titanium, ou en alliage de cuivre et silicone. Le titaniumallié à l'aluminium et au vanadium est aussi utilisé.

2.5.2 Canalisations de carburant

Ces canalisations doivent répondre aux mêmes caractéristiques que celles des systèmes hydrauliques. Toutefois, pour les moteurs qui nécessitent des canalisations de très haute résistance aux efforts et à l'oxydation, on peut également employer, outre les alliages mentionnés au paragraphe précédent, un alliage à base de nickel durci par vieillissement. (Ni 70%, Cr 16% et Ti, Al et Nb)

2.5.3 Autres usages

Parmi les autres usages possibles mentionnons les suivants :

- Système de dégivrages
- Système de pressurisation
- Système d'eau
- Conduits électriques
- Éléments de charpente (ossature d'ailes...)

2.6 Autres usages

2.6.1 Convoyeurs à rouleaux

Ces convoyeurs, motorisés ou à gravité, sont utilisés largement dans le transport des marchandises pour les travaux d'assemblages, et pour l'entreposage mobile

de différents types de contenants à fond plat. Les rouleaux doivent surtout être robustes, et aussi résister à la rouille et à la corrosion.

Ils sont généralement faits de tubes soudés, en acier ordinaire ou galvanisé, ou de tubes d'aluminium extrudé.

Ces tubes doivent toutefois subir un façonnage supplémentaire consistant en un formage à la matrice de leurs extrémités afin d'offrir des rebords doux et unis tout en procurant un logement ferme aux roulements.

2.6.2 Appareils divers de manutention

Les tubes sont utilisés comme ossature ou bras de traction ou supports dans une foule d'appareils de manutention, surtout des chariots, dont les formes sont adaptées au type de produit à transporter. Parmi ces appareils mentionnons :

- Les diables ou petits chariots à deux roues
- Les chariots d'épicerie
- Les portes-plateaux
- Les chariots plate-forme
- Les chariots à échelle intégrée
- Les escabeaux mobiles avec ou sans main courante
- Etc.

Les tubes employés doivent être robustes, de façonnage facile, et se prêter facilement à des revêtements extérieurs, soit de chrome, soit de peinture. Les diamètres varient d'une façon générale de $\frac{1}{2}$ à 2".

Ils sont le plus souvent en acier noir soudé, ou en aluminium. L'acier inoxydable est également utilisé pour les appareils de manutention d'hôpitaux entre autres.

Les profilés en acier et en aluminium ainsi que le bois peuvent remplacer le tube spécialement pour les châssis.

2.6.3 Élévateurs

Les tubes sont utilisés uniquement dans le cas des élévateurs hydrauliques où ils servent de pistons ainsi que de coffrage pour le piston. Ces élévateurs sont utilisés principalement dans les bâtiments de faible hauteur (4 étages) pour le transport de personnes, et des marchandises, ainsi que dans les ateliers d'entre-

tion pour le levage des véhicules. Ils sont également utilisés pour des applications particulières où il est nécessaire d'élever de fortes charges sur de faibles hauteurs.

Selon la hauteur de course et le type d'élevateur, le piston peut être d'une pièce ou télescopique.

Les tubes employés doivent être d'une grande rigidité et posséder une haute résistance mécanique. De plus ils doivent avoir une surface très lisse afin de faciliter l'emboîtement, et offrir une grande précision d'usinage.

L'acier inoxydable est habituellement utilisé et pour le piston et pour le coffrage en raison de sa robustesse et surtout de l'uniformité et du poli de sa surface.

CHAPITRE XXIII
MOBILIER ET SERRURERIE

1. DEFINITION

Ce chapitre couvre les pièces de mobilier et articles d'ameublement de toutes sortes, les produits d'architecture et d'ornement ainsi que les éléments de charpente mobiles ou semi-fixes. En sont toutefois exclus les éléments de charpente fixes, qui sont traités au chapitre portant sur l'industrie du bâtiment.

2. USAGES

2.1 Mobilier

L'industrie du mobilier tant domestique qu'institutionnel et de bureau fait de plus en plus appel au tube comme élément d'ossature. Parmi les pièces de mobilier où le tube est utilisé avec avantage, mentionnons les suivantes :

- chaises et tables de différents modèles, pliantes ou non, pour usages domestiques, de bureau ou institutionnels (hôpitaux, écoles etc.)
- sièges
- cadres de lits
- porte-manteaux
- lampes (supports)
- cendriers (supports)
- tabourets (de cuisine ou de bar)
- bibliothèques
- dessertes
- établis
- bancs
- porte cartes

L'acier, l'acier inoxydable et l'aluminium sont les principaux matériaux utilisés pour les tubes de mobilier.

L'acier, sous forme de tube mince soudé électriquement, est le plus couramment employé en raison des nombreux avantages qu'il offre tant au fabricant de mobilier qu'à l'utilisateur, notamment :

- Légèreté et solidité, grâce aux propriétés des sections creuses et aux caractéristiques mécaniques élevées de l'acier.

- Bonne adaptation d'un matériau homogène et parfaitement défini aux fabrications en grande série sur machines automatiques.
- Gammes très étendue de qualités (101, 102, 103, 105) de formes (rondes, carrées, rectangulaires, profilées avec une ou deux ailettes longitudinales, géométriques, telles ovales, hexagonales, triangulaires, trapézoïdales), et de dimensions.
- Possibilité d'appliquer des revêtements très divers dont le rôle est à la fois de protéger le métal et de l'embellir : peintures, cadmium, émail opaque ou transparent, gaine de plastique, chrome, nickel.
- L'absence d'aspérité le rend sûr et esthétique. Il est facile à façonner et se prête à toutes les recherches du "design" contemporain.
- Economie et durabilité

L'acier inoxydable, surtout de type 302 (Cr 17%, Ni 7%, C 0.12%) est parfois préféré en raison de sa belle apparence et de la finesse de son grain, du peu d'entretien qu'il nécessite et aussi parce qu'il ne se dégrade pas avec le temps ni ne se corrode. Ces derniers avantages ont fait du tube d'acier inoxydable celui qui est le plus utilisé (souvent obligatoirement) pour le mobilier d'hôpitaux, de cabinets de professionnels de la santé et également de restauration. Il est également disponible dans une large gamme de formes, dimensions et qualités. Il est toutefois plus coûteux.

Quant au tube d'aluminium, son utilisation s'est limitée jusqu'à maintenant aux chaises et tables pliantes de jardin ou de plage, aux supports de parasol et autres articles du même genre, appelés à être déplacés fréquemment et pour lesquels la légèreté prime.

2.2 Echafaudages

L'échafaudage est une construction de nature temporaire constituée essentiellement de passerelles ou plates-formes soutenue par une charpente (boulins, écoperches) et dont le rôle est d'assurer la circulation des ouvriers et du matériel pour les travaux d'érection ou d'entretien en hauteur. L'échafaudage est également employé à diverses fins comme structure temporaire de soutien. Parmi les nombreuses applications, mentionnons les suivantes :

- Etais dans la construction de bâtiments importants comme les hangars d'aviation, par exemple.
- Passerelle destinée au montage de lourdes charpentes métalliques
- Tribune démontable

- Echafaudage de ravalement
- Sapine de levage
- Parapluie de protection
- Estacade de déchargement

Les caractéristiques recherchées pour les éléments constitutifs sont la résistance aux charges (compression et flexion) et au cisaillement, la rigidité, la flexibilité d'usages, la facilité et la rapidité de montage et de démontage. La sécurité, et entre autres l'incombustibilité, ainsi que la résistance à la corrosion sont également recherchés.

L'échafaudage étant un ensemble d'éléments joints les uns aux autres, les pièces de joints ou raccords sont extrêmement importantes étant donné que la rigidité de l'ensemble repose en grande partie sur eux. Ceux-ci doivent être particulièrement résistants au cisaillement, à l'arrachement et au glissement.

Les éléments de charpente sont généralement en tubes d'acier soudés longitudinalement, de type gaz, revêtu ou non, en raison surtout de leurs caractéristiques mécaniques, de leur entretien facile, de leur incombustibilité, et aussi de leur coût avantageux. Les diamètres nominaux habituellement rencontrés sont 1 1/4" (33/42) et 1 1/2" (40/49). Pour les échafaudages de petites dimensions appelés à être déplacés fréquemment en cours d'utilisation, le tube d'aluminium est également employé en raison surtout de son faible poids. Il n'est toutefois que rarement utilisé à des fins de soutènement temporaire.

2.3 Casiers de stockage

Employés dans une foule de secteurs pour l'entreposage des marchandises, les casiers de stockage doivent avant tout résister à de fortes charges ainsi qu'aux chocs des appareils de manutention.

La flexibilité, la facilité et la rapidité de montage et démontage, l'incombustibilité, l'esthétique, l'entretien facile ainsi que le coût constituent les autres facteurs à considérer.

Les éléments constitutifs peuvent être sous forme de profilés ou de tubes. Lorsque ces derniers sont employés, ils sont généralement en acier soudé, revêtu ou non, de forme ronde, carrée ou rectangulaire dépendant du type de casier, de son usage ainsi que de l'endroit où il est installé.

2.4 Cloisons métalliques fixes ou semi-fixes et étagères

Les tubes sont employés comme charnières pour les cloisons métalliques de bureaux et pour les étagères. Ces tubes, généralement de forme carrée ou rectangulaire, subissent quelques transformations afin de mieux répondre à leur utilisation finale: perçage d'ouvertures, soudure de linguets, etc. Ils sont la plupart du temps en acier mince soudé électriquement. Les diamètres et les épaisseurs varient selon l'importance de la structure et des charges à supporter.

Pour certains étagères, l'acier inoxydable et l'aluminium peuvent également être employés, le premier en raison de son fini extérieur, le deuxième en raison surtout de sa légèreté.

2.5 Étais et étrépillons

Les étais et étrépillons sont employés pour soutenir temporairement les coffrages verticaux ou horizontaux, les parois de tranchées ou de galeries de mines, des murs, des pièces lourdes, etc.

Ils sont généralement constitués de tubes d'acier noir soudé de différentes dimensions auxquels sont ajoutés divers accessoires tels vis et trous de réglage, consoles, fourches, poignées, plateaux, etc.

L'utilisation de la forme tubulaire en acier permet d'avoir des étais télescopiques de différentes dimensions facilement et rapidement réglables par vis ou goupilles tout en offrant une haute résistance aux charges et une grande rigidité. Ils ont de plus l'avantage d'être relativement légers et de mise en oeuvre rapide.

En plus des étais et étrépillons, les tréteaux, les trépieds, les auvents protecteurs et les taquets d'échafaudage sont souvent constitués d'éléments tubulaires en acier soudé.

2.6 Usages divers

2.6.1 Echelles

Les montants sont habituellement de forme rectangulaire alors que pour les barreaux transversaux la forme ronde est la plus rencontrée. Le tube d'aluminium remplace de plus en plus le bois comme élément constitutif en raison de sa légèreté, de sa résistance et de sa facilité d'entretien. L'acier est rarement utilisé en raison de son poids.

2.6.2 Clôtures

Le tube est fréquemment employé comme élément de support, vertical ou horizontal, dans la construction de différents types de clôtures, et en particulier les clôtures en treillis de fil de fer. Ces tubes sont habituellement en acier, soudé, noir ou galvanisé, de type gaz.

Matériel de camping

En raison de nombreux avantages qu'il offre le tube est l'élément le plus couramment utilisé comme ossature de tente. Mentionnons entre autres la flexibilité et la facilité de montage grâce à l'emboîtement, le peu d'encombrement, la légèreté, ainsi que les bonnes caractéristiques mécaniques offertes par la forme tubulaire.

L'acier mince soudé électriquement de même que certains alliages d'aluminium sont parmi les matériaux les plus souvent employés.

D'autres pièces de matériel de camping peuvent également être constituées en partie de tubes, tels chaises et tables pliantes, supports de réchauds, etc.

2.6.3 Matériel sportif et de loisirs

Les usages des tubes dans ce domaine se divisent en deux catégories : la première où les tubes doivent répondre à des normes bien précises et à des formes particulières tels le matériel de gymnastique (barres parallèles, trapèzes, etc.) bâtons de ski, de golf, raquettes de tennis, etc. et l'autre où le tube sert plutôt de charpente, entre autres pour les tremplins, escarpolettes, labyrinthes et autres équipements de terrains de jeux.

Les tubes répondant aux besoins de la première catégorie doivent allier légèreté et résistance à la flexion et à la compression tout en respectant des tolérances souvent très serrées. Les matériaux employés sont dans la plupart des cas des alliages d'acier inoxydables ou d'aluminium.

Concernant la deuxième catégorie, les caractéristiques recherchées sont sensiblement identiques à celles prévalant pour les éléments de charpente en général (échafaudage, etc.) quoiqu'une attention particulière doit être apportée au fini extérieur, (surface lisse traitement anticorrosif). Le tube d'acier type "gaz" est celui qui répond le mieux à ces caractéristiques tout en étant très économique.

2.6.4 Eléments de bâti

Comme élément de bâti le tube se substitue aux pièces moulées en fonte grise, aux poutres et cornières, utilisées de façon conventionnelle dans la fabrication de machinerie et autres équipements mécaniques. Parmi les avantages de l'emploi de la forme tubulaire, mentionnons en plus de la robustesse et de la légèreté la simplification des dessins, la rapidité et la facilité de calcul des efforts associées à la forme carrée ou rectangulaire, la diminution des temps de soudage et d'assemblage, ainsi que la facilité d'entretien. Il existe une foule de types de machineries et d'installations où le tube peut être employé comme élément de bâti ou de renforcement parmi lesquelles on peut mentionner :

- Machines-outils pour découpage de métaux
- Machines-outils pour façonnage de métaux
- Refroidissoirs
- Tables d'éjection
- Machinerie pour la fabrication de bidons
- Machinerie pour la fabrication de verres
- Machinerie pour la fabrication de briques
- Machinerie pour la fabrication de papier
- Machinerie pour la fabrication de sacs
- Machinerie pour la fabrication de plaques
- Machinerie pour la fabrication de peinture
- Machinerie pour la fabrication de chaussures
- Machinerie pour la fabrication de cartons
- Machinerie d'impression
- Laminoirs
- Equipement de fonderies
- Machineries textiles
- Equipement d'inspection et de contrôle
- Equipement de transformation de produits alimentaires
- Equipement de moulage du caoutchouc
- Machinerie à couler sous pression
- Presses à extrusion
- Equipement de forgeage
- Cylindres fendeurs
- Equipement d'étiquetage et d'emballage
- Equipement de buanderie
- Machines à bois
- Machines à métaux
- Equipement de transformation des hydrocarbures
- Machinerie de traitement du minerai
- Equipement de sablage
- Machinerie pour systèmes de traitements des eaux usées
- Equipement de cisailage, d'équarissage et d'estampage de plaques
- Machines à tricoter
- Equipement de soudure

Pour ces applications, où la robustesse, la légèreté, la facilité et la rapidité de façonnage priment, on emploie habituellement le tube dit de construction en acier laminé à chaud (ASTM A7, A36, A501-64) et soudé longitudinalement, de forme carrée ou rectangulaire.

2.6.5 Supports

En tant que support vertical, le tube est employé à de nombreuses fins, tant intérieures qu'extérieures; parmi ces dernières, citons les supports de feux de circulation, de panneaux de signalisation, d'enseignes, lampadaires et potences d'éclairage.

Pour ces applications, le tube doit être en mesure de supporter les charges qui lui sont imposées tout en résistant aux intempéries, les vents en particulier, et aux effets de la corrosion. Pour les supports cylindriques, rectangulaires ou autres formes géométriques de diamètre constant, le tube d'aluminium ou d'acier est couramment utilisé. Dans le cas de l'acier, le tube est zingué à l'intérieur et, à l'extérieur, on lui applique fréquemment des laques ou peintures pour fins décoratives et de protection additionnelle. Quant aux potences tronçonniques, elles sont faites à partir de plaques coupées aux bonnes dimensions, matricées et ensuite soudées longitudinalement.

Pour obtenir le même effet, on utilise parfois des sections de tubes de différents diamètres dont le principal avantage est d'être télescopique.

PARTIE III
L'EVOLUTION TECHNOLOGIQUE

CHAPITRE XXIV

EVOLUTION TECHNOLOGIQUE

1. GENERALITES

Dans le secteur des tubes et tuyaux, comme dans plusieurs autres secteurs d'ailleurs, il est nécessaire de distinguer au niveau des techniques celles qui sont reliées aux matériaux et celles qui se rapportent aux procédés de fabrication.

Cette distinction est importante puisque les deux groupes évoluent à un rythme différent et le plus souvent sans relation directe.

Bien que différents en nature, ces deux ensembles de techniques ont toutefois un point commun, à savoir que leur évolution a été, dans le passé, fortement sinon uniquement orientée par les besoins.

Ces besoins, peu nombreux et simples au début (transport de l'eau, égouts) se sont rapidement développés avec l'essor de la révolution industrielle: industrie du cycle, chaudières à vapeur, industries de l'automobile, pétrochimique, chimique, etc.

Ce développement rapide des besoins et l'accroissement de leur complexité ont nécessité des quantités sans cesse croissante de tubes ainsi que des matériaux mieux adaptés aux contraintes à satisfaire. Cette évolution a abouti aujourd'hui à l'emploi de toute une gamme de matériaux et d'alliages ainsi qu'à plusieurs procédés de fabrication.

Compte tenu de l'évolution récente et de la situation actuelle, nous présentons ci-après les principales orientations qui nous semblent les plus probables concernant l'évolution technologique du secteur des tubes et tuyaux d'ici 1980, selon qu'elles concernent les matériaux ou les procédés de fabrication.

2. LES MATERIAUX

La technologie des matériaux a essentiellement pour but la recherche de nouveaux matériaux ou alliages destinés à mieux satisfaire les besoins.

Durant les cent dernières années, à part les matières plastiques et l'aluminium, rares sont les nouveaux matériaux qui furent utilisés pour la fabrication de tubes et tuyaux la plupart de ceux utilisés étant connus il y a déjà fort longtemps. Par contre concurremment au développement rapide de la métallurgie apparurent sur le marché une grande variété d'alliages, chacun étant destiné à satisfaire des conditions de service particulières. C'est ainsi qu'on vit apparaître les aciers inoxydables, particulièrement bien adaptés aux besoins de l'industrie alimentaire, les divers

alliages de cuivre destinés à mieux répondre aux conditions de service sévères et variées rencontrées dans les appareils de transfert de chaleur, les aciers alliés au chrome-molybdène utilisés pour la fabrication des tubes mécaniques où la résistance s'avère primordiale, les alliages de nickel et d'aluminium pour résister à des conditions de corrosion particulières. Concernant l'acier au carbone, toute une gamme de nuances fut créée chaque fois afin d'obtenir un matériau offrant une meilleure combinaison qualité/prix pour un usage donné.

Dans le domaine des matériaux métalliques, une des découvertes les plus intéressantes sans doute des trente dernières années est celle de la fonte ductile dont les propriétés physiques, en particulier la résistance en tension et la ductilité, sont largement améliorées par rapport à la fonte grise. A l'heure actuelle d'ailleurs, la fonte ductile est de plus en plus employée et il est à prévoir qu'au cours des prochaines années la fonte grise disparaîtra complètement au profit de la fonte ductile dans la fabrication de tubes et tuyaux. Déjà un des principaux producteurs canadiens de tuyaux en fonte a annoncé son intention de cesser toute fabrication de tuyaux en fonte grise.

Certains autres métaux ont également fait leur apparition sur le marché. Il s'agit entre autres du columbium et du zirconium dont l'emploi pour les tubes a surtout été amené par le besoin de tubes extrêmement résistants à la corrosion et à la chaleur associé au développement des centrales nucléaires.

Malgré ces nombreux développements, il n'existe pas de matériau parfait. Certes on a obtenu des alliages plus résistants et mieux adaptés aux besoins mais souvent l'amélioration d'une propriété est compensée par une dégradation d'une autre. Aussi à l'heure actuelle, si le choix d'un matériau pour tuyauterie opérant à faible pression, à température modérée et dans un milieu corrosif ne pose pratiquement aucun problème, il en va tout autrement lorsque les conditions deviennent plus sévères.

Dans ce dernier cas le choix d'un matériau est souvent le fruit d'un compromis obligatoire mais non toujours satisfaisant. Aussi croyons-nous qu'au cours des prochaines années, d'ici 1980 du moins, on assistera à une continuation de la recherche de nouveaux alliages de plus en plus spécialisés par rapport à leur emploi et aussi moins coûteux. Déjà on peut prévoir l'arrivée sur le marché d'un nouvel alliage de cuivre, désigné sous le nom d'alliage 194 par la "Copper Development Association". Cet alliage, peu coûteux, a l'avantage de pouvoir être mis au rond et d'être soudé par induction à haute fréquence, ce qui, allié à son excellente combinaison de propriétés chimiques et physiques, en fait un matériau de premier ordre pour les tubes d'échangeurs et autres appareils de transfert de chaleur.

Pour ces types d'appareils d'ailleurs deux autres développements d'importance sont à prévoir au cours des années à venir. Il s'agit d'une part des tubes à ailettes et d'autre part d'une découverte récente, le "tube de chaleur" ou "heat pipe".

Les tubes à ailettes intérieures ou extérieures intégrées ne sont pas nouveaux,

mais leur emploi dans le passé a surtout été limité en raison de son coût élevé. dû aux difficultés de fabrication à certaines applications particulières où leur coefficient de transfert de chaleur beaucoup plus élevé que celui des tubes conventionnels s'avérait particulièrement nécessaire. Toutefois l'amélioration récente des techniques de fabrication pour ces tubes permet d'envisager une utilisation plus marquée au cours des années à venir. Quant au "tube de chaleur", fruit de la recherche spatiale, il s'agit d'un appareil de transfert de chaleur dont le principe d'opération fondamental est le suivant : le transfert de chaleur par vapeur est utilisé pour transférer l'énergie d'une section d'évaporation à une section de condensation en milieu fermé. Le retour du condensat est obtenu par effet capillaire au travers d'une mèche à fines pores. L'appareil est scellé et ne requiert aucune énergie extérieure pour son fonctionnement sauf celle nécessaire au transfert. Cet appareil, qui n'est pas à proprement parler un tube au sens général où on l'entend, est compact, léger et lors des expériences a produit des transferts de chaleur 15 000 fois supérieurs à ceux des meilleurs métaux. Bien que n'ayant pas encore fait son apparition sur le marché, ce tube est prêt pour la production commerciale et il n'est certes pas faux de croire qu'aux cours des prochaines années, il deviendra un concurrent sérieux des appareils de transfert conventionnels pour de nombreuses applications, ce qui entrainera un impact correspondant sur les quantités de tubes employés dans ces appareils conventionnels.

Toujours dans le domaine des matériaux métalliques, il est de plus en plus question d'employer certains alliages d'acier à haute résistance pour la fabrication des tuyaux de pipe-line. Non employés dans le passé, les aciers alliés à haute résistance deviennent de plus en plus considérés vu les conditions de service toujours plus sévères, en particulier les pressions internes, et aussi les dangers sérieux que représente la construction de pipe-lines de fortes dimensions et fonctionnant à haute pression pour l'écologie et le milieu.

Une autre innovation d'intérêt pour l'avenir est l'emploi de tubes en aluminium allié pour le forage des puits pétroliers. Bien que connu depuis 1961, l'usage du tube de forage en aluminium allié ne s'est réellement développé qu'au cours des trois dernières années. Utilisé de façon extensive pour le forage de plus de 100 puits en Amérique Latine, ce tube s'est révélé plus économique que le tube en acier couramment utilisé et ce en raison surtout de sa légèreté et de sa résistance à la fatigue. Il est à prévoir au cours des années qui viennent une utilisation accrue du tube d'aluminium quoique d'ici 1980, sa consommation sera encore de loin inférieure à celle du tube d'acier.

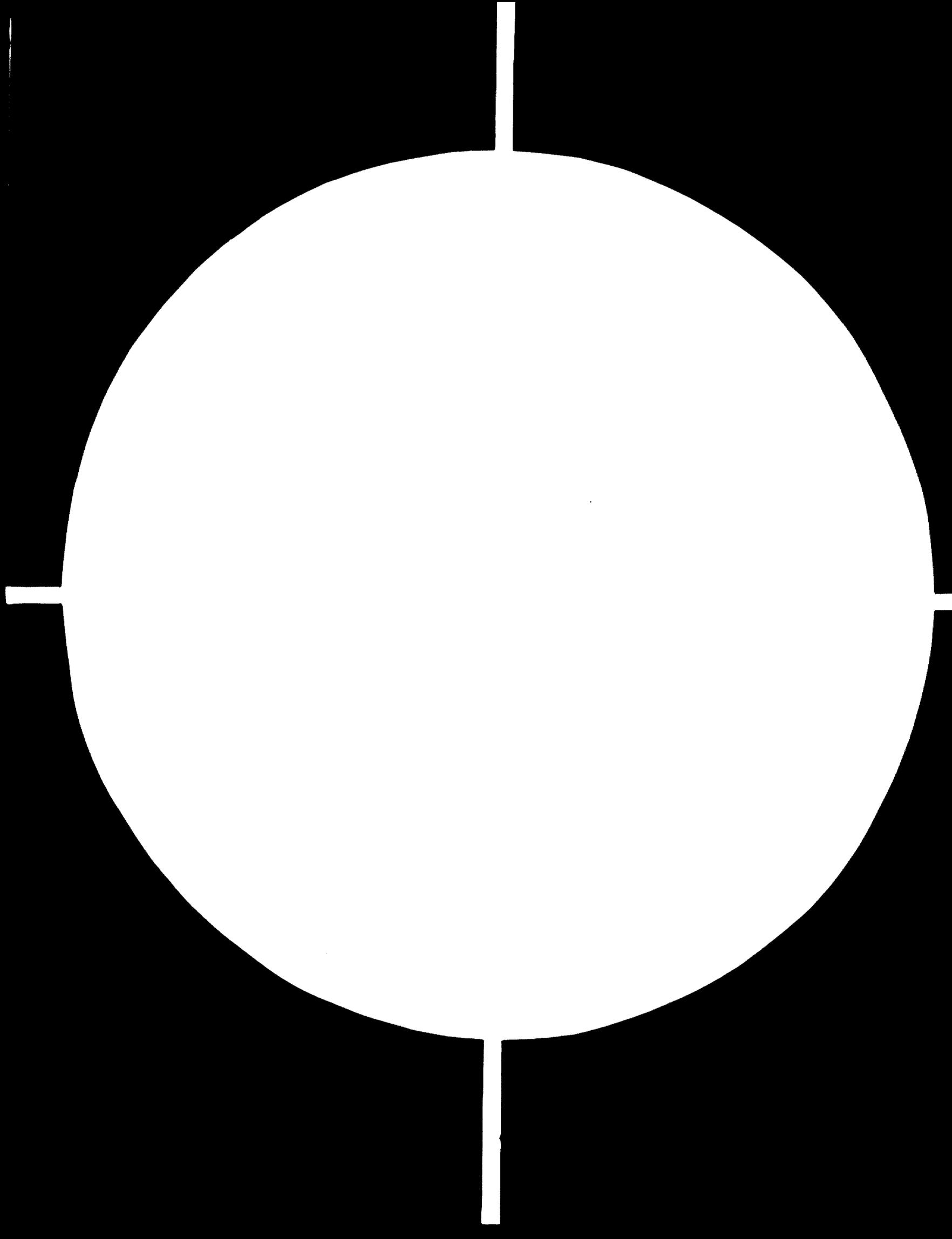
Mentionnons finalement l'emploi de plus en plus fréquent de formes creuses, carrées ou rectangulaires au lieu des formes en I et en H couramment utilisées dans les charpentes.

L'apparition de nouveaux matériaux et alliages sur le marché, a souvent pour effet d'entraîner une diminution de l'emploi des autres matériaux. C'est le cas en particulier du plomb dont l'utilisation a continuellement diminué depuis une quinzaine d'années et nous anticipons qu'il disparaîtra presque complètement au cours

C-723



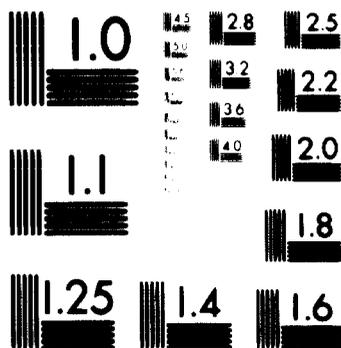
79.01.17



4 OF 4

07660

F



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS 1963-A

24x
B

des cinq ou six prochaines années pour être remplacé définitivement par le cuivre, le CPV, l'acier et la fonte.

L'évènement le plus important dans le secteur des tubes et tuyaux au cours des trente dernières années fut sans contredit le développement des matières plastiques et leur emploi en tuyauterie. Les plastiques constituent en effet les seuls matériaux vraiment nouveaux à apparaître sur le marché des tubes et tuyaux depuis longtemps.

Bien que connues depuis les débuts des années quarante, les matières plastiques n'ont réellement fait leur apparition sur le marché des tubes qu'au milieu des années cinquante.

Les polyéthylène et le CPV furent parmi les premiers à être utilisées pour la fabrication des tuyaux. Depuis on a assisté à l'arrivée sur le marché de toutes une gamme de résines et de composés dont plusieurs ont disparu presque aussi rapidement qu'elles étaient apparues.

Malgré les belles promesses d'avenir qu'on accordait aux plastiques il y a quinze ans, leur emploi en tuyauterie a été lent à démarrer, en raison de la forte concurrence, du peu d'expérience et aussi parce que les tuyaux en plastique affichaient de mauvaises caractéristiques mécaniques et un mauvais comportement à la chaleur.

Depuis, avec le développement de la normalisation et la découverte de résines plus résistantes à la chaleur (CPVC) et aux chocs, leur emploi s'est accru en particulier dans le domaine de la plomberie, de sorte qu'à l'heure actuelle et au cours des années à venir, il est permis de croire à une généralisation de l'emploi des plastiques dans le bâtiment pour les canalisations d'eau chaude et froide (CPV, CPVC) pour l'évacuation des eaux usées (CPV, ABS), et pour les conduits électriques (CPV, PE). Pour les canalisations secondaires et les branchements des réseaux de gaz, on fera de plus en plus appel aux tuyaux en polyéthylène.

Dans l'industrie, on peut prévoir une utilisation accrue des tuyaux en résines renforcées de fibres de verre pour les systèmes d'égouts et d'évacuation de déchets industriels, ainsi que pour le transport de produits chimiques hautement corrosifs où ils déplaceront graduellement les tuyaux en grès.

Un autre domaine où ces résines sont appelées à être utilisées davantage est celui des hydrocarbures où on les emploie déjà pour les tuyaux de "casing", de "tubing" et de "line-pipe", et où on prévoit à brève échéance leur utilisation comme tuyaux de pipeline.

Une autre innovation intéressante et qui a de fortes chances d'utilisation au cours des prochaines années est le tuyau en polyester renforcé de fibres de verre semi-vulcanisé. Celui-ci peut être enroulé à la façon d'un boyau d'incendie en longueurs continues pouvant atteindre 150 mètres et être déroulés sur chantier où

l'on termine sa vulcanisation à la vapeur en moins de 60 minutes.

3. LES PROCÉDES DE FABRICATION

Concernant les procédés de fabrication, il est assez difficile de prévoir les innovations particulières à venir dans ce domaine, même à court terme. Si on se base sur l'expérience récente toutefois, on peut s'attendre au perfectionnement des techniques de soudage en particulier pour les métaux qui dans le passé étaient fabriqués habituellement par extrusion tels l'aluminium et le cuivre. De même il est à prévoir que les nouvelles techniques apparues au cours des dernières années comme le soudage au plasma et le soudage par rayon d'électron seront de plus en plus utilisées dans les nouvelles tuberries en raison de la vitesse accrue de soudage qu'elles permettent et aussi de la qualité de la soudure obtenue.

Une autre tendance est celle du développement des techniques de contrôle de la qualité plus compréhensives et plus strictes.

Dans le domaine des plastiques, on expérimente depuis quelques années des méthodes de fabrication mécanisées pour les tuyaux en résines renforcées, lesquelles sont actuellement presque entièrement fabriquées manuellement, et on peut s'attendre à ce qu'elles soient opérationnelles dans les prochaines années. Une telle éventualité réduirait considérablement le coût de fabrication qui freine actuellement l'emploi plus généralisé de ces tuyaux, et permettrait en même temps l'obtention d'une meilleure uniformité des produits.

Un autre développement très intéressant est l'avènement prochain sur le marché d'usines transportables pour la fabrication de tuyaux en acier allant jusqu'à un diamètre de 48 pouces. Déjà les premiers essais de ce type d'usine ont été effectués au Canada au milieu de 1971.

La technique de soudage prévue est celle à moyenne fréquence à arc submergé et on prévoit faire un usage particulier du laser. Ce nouveau concept éliminerait ainsi le problème de transporter les tuyaux de grands diamètres, peu maniables, sur de longues distances et réduirait ainsi au minimum la fatigue du métal due au transport des tuyaux.

Une telle usine, selon leurs promoteurs, aurait une capacité de fabrication de 3 kilomètres par jour. Elle fonctionnerait pendant trois mois au même endroit avant d'être arrêtée pendant cinq jours pour son démantèlement le long de la conduite. Son coût serait cependant plus élevé qu'une usine stationnaire de même capacité.

ANNEXE

RELATIONS USAGES / PRODUITS

Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; height: 100px; display: flex; flex-direction: column; justify-content: space-around; align-items: center;"> PRODUITS USAGES </div>	ACIER							FONTE		Cuivre
	Au carbone soudé longitudinalement série forte	Au carbone soudé longitudinalement série mince	Au carbone soudé longitudinalement autres	Au carbone soudé en spirale	Au carbone sans soudure	Allié soudé et sans soudure	Inoxydable soudé et sans soudure	Grise	Ductile	
BÂTIMENT										
CANALISATIONS										
Eau froide										
- conduite principale	●									●
- colonnes montantes	●									●
- conduites d'étages	●									●
- branchements d'appareils	●									●
Eau chaude										
- conduites principales	●									●
- colonnes montantes	●									●
- conduites d'étages	●									●
- branchements	●									●
- conduite de retour	●									●
Evacuation des eaux usées										
- tuyaux de chute	□		□						●	●
- tuyaux de descente des eaux ménagères	□		□					●		●
- tuyaux de descente pluviale	□		□							○
- tuyau collecteur d'appareils	□		□					□		○
- collecteur principal	□		□					●		□
Tuyaux de ventilation										
- primaire	□		□							●
- secondaire	●	●								□
Distribution de gaz										
- canalisation générale	●		●		□					●
- raccardements										●
Drainage de fondation										
Protection contre l'incendie										
- canalisations rigides	●									□
- canalisations flexibles										
CONDUITS ÉLECTRIQUES										
Habitat	●	●	●							
Industrie	●	□	●							

- Couramment utilisé présentement et d'ici 1980
- Couramment utilisé présentement et moins d'ici 1980
- Peu utilisé présentement et davantage
- Peu utilisé présentement et d'ici 1980

des tubes et tuyaux

Série	Cuivre	Plomb	Aluminium et alliages	Nickel et alliages	BÉTON				AMIANTE - CIMENT		Grès	MATIÈRES PLASTIQUES			
					Précontraint	Armé - tôle	Armé	Non armé	Pression	Sans pression		CPV pression	CPV sans pression	CPVC	ABS
	●	□										■			
	●	□										■			
	●	□										■			
	●	□										■			
	●	□												■	
	●	□												■	
	●	□												■	
	●	□												■	
	●	□												■	
●	●	□										■			■
●	●	□										■			■
□	○	□							●				■		■
●	□	□							●				■		■
	●	□											■		■
	□								●				■		■
	●											▲			
	●														
	□						●				□		■		
			●										■		
			●												

présentement et davantage d'ici 1980

▲ Pas utilisé présentement et possibilité d'utilisation d'ici 1980

présentement et d'ici 1980

Une absence de symbole signifie que l'emploi du matériau est nul

RELATIONS USAGES / PRODUITS

Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; height: 100px; display: flex; flex-direction: column-reverse; justify-content: center; align-items: center;"> USAGES PRODUITS </div>	ACIER							FONTE		Cuivre
	Au carbone soudé longitudinalement série forte	Au carbone soudé longitudinalement série mince	Au carbone soudé longitudinalement autres	Au carbone soudé en spirale	Au carbone sans soudure	Allié soudé et sans soudure	Inoxydable soudé et sans soudure	Grise	Ductile	
BÂTIMENT (suite)										
CHAUFFAGE										
Circulation d'eau chaude	●									●
ÉLÉMENTS DE CHARPENTE										
Structures tridimensionnelles			●		●					
Structures bidimensionnelles	●		●		●					
PIEUX DE FONDATION			●	●						
SERVICES PUBLICS										
ALIMENTATION EN EAU										
Conduites primaires			□	□				○	●	
Conduites secondaires			□	□				○	●	
Branchements			□	□				○	●	
Canalisations d'usines de traitement	●		●		●					
ASSAINISSEMENT										
Collecteurs			■	■				□	□	
Canalisations secondaires			■	■				□	□	
Branchements			■	■				■	■	
DISTRIBUTION DE GAZ										
Conduites de transmission			●	●	●				○	
Canalisations principales			●	●	●				○	□
Branchements	●		●		●				○	●
CONDUITS POUR RÉSEAUX ÉLECTRIQUES, TÉLÉPHONIQUES ET DE SIGNALISATION										
AGRICULTURE										
IRRIGATION										
Adduction			●	●					●	
Conduite primaire			●	●					●	
Canalisations secondaires enterrées	●		●	●					●	
Canalisations secondaires aériennes	●			●						
Rampes d'arrosage	●									
Canalisations souples										



● Couramment utilisé présentement et d'ici 1980

■ Peu utilisé présentement et d'ici 1980

○ Couramment utilisé présentement et moins d'ici 1980

□ Peu utilisé présentement et d'ici 1980

Matériaux des tubes et tuyaux

FONTE		Cuivre	Plomb	Aluminium et alliages	Nickel et alliages	BÉTON				AMIANTE - CIMENT		Grès	CPV pression	CPV sans pression	CPVC
Grise	Ductile					Précontraint	Armé - tôle	Armé	Non armé	Pression	Sans pression				
		●													
				■											▲
				●											
○	●					●	●								
○	●					●	●			●			■		
○	●									●			■		
												□			
□	□						●	●			□				
■	■						●	●			●			■	
								●			●			■	
	○		□												
	○		●										■		
	○												■		
											●			■	
	●														
	●					●	●			□					
	●					●	●			●					
				●									■		
				●									□		
													□		
													●		

Peu utilisé présentement et davantage d'ici 1980

▲ Pas utilisé présentement et possibilité d'utilisation d'ici 1980

Peu utilisé présentement et d'ici 1980

Une absence de symbole signifie que l'emploi du matériau est nul

RELATIONS USAGES / PRODUITS

Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> PRODUITS USAGES </div>	ACIER							FONTE		Cuivre
	Au carbone soudé longitudinalement série forte	Au carbone soudé longitudinalement série mince	Au carbone soudé longitudinalement autres	Au carbone soudé en spirale	Au carbone sans soudure	Allié soudé et sans soudure	Inoxydable soudé et sans soudure	Grise	Ductile	
FORAGE, EXTRACTION, COLLECTE										
FORAGE										
Colonne de forage						●				
Tube - masse						●				
Tige d'entraînement						●				
Canalisations										
- amenée d'eau: haute pression	●		□		□					
- amenée d'eau: moyenne pression	●		□		□					
- boue de forage: section rigide					●					
- boue de forage: section flexible					●					
- carburant	●				●					
- air comprimé	●									
- commande hydraulique	●		●							
- évacuation	●									
COFFRAGE (CASING)										
Général					●	●				
Puits de repressurisation					●	●				
Puits d'évacuation d'acides					□	●				
TUBAGE (TUBING)										
Général					●	●				
Puits de repressurisation					●	●				
Puits d'évacuation d'acides					●	●				
TRANSPORT PAR PIPELINE										
EAU			●	●					●	
PÉTROLE ET PRODUITS RAFFINÉS			●	●		▲			□	
GAZ			●	●		▲			□	
SOLIDES FLUIDIFIÉS			●	●		▲				

Couramment utilisé présentement et d'ici 1980
 Peu utilisé présentement et d'ici 1980
 Couramment utilisé présentement et moins d'ici 1980
 Peu utilisé présentement et d'ici 1980

RELATIONS USAGES / PRODUITS

Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; height: 100px; display: flex; flex-direction: column; justify-content: space-around; align-items: center;"> PRODUITS USAGES </div>	ACIER							FONTE			
	Au carbone soudé longitudinalement série forte	Au carbone soudé longitudinalement série mince	Au carbone soudé longitudinalement autres	Au carbone soudé en spirale	Au carbone sans soudure	Allié et sans soudure	Inoxydable soudé et sans soudure	Grise	Ductile		Cuivre
TUYAUTERIES INDUSTRIELLES											
PROCESSUS DE TRANSFORMATION											
Industrie pétrolière			●			●	●				
Industrie chimique			●			●	●				
Industrie du caoutchouc			●			●	●				
Industrie des matières plastiques			●			●	●				
Industrie des fertilisants			●			●	●				
Industrie des pâtes et papiers			●			●	□				
Industrie textile			●			●	●				
Industrie alimentaire			□			□	●				
Industrie de l'énergie			●			●	□				□
ÉVACUATION des DÉCHETS INDUSTRIELS				●					□		
CANALISATIONS DE SERVICE											
Eau	●		●						●		●
Gaz	●				●						●
Vapeur	●				●						
Air comprimé	●				●						
Eau de refroidissement	●		●	●					□		
ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS ET PIÈCES DIVERSES											
APPAREILS de TRANSFERT de CHALEUR											
Tubes de chaudières			●		●	●	●				□
Tubes de surchauffeurs			●		●	●	●				□
Tubes de réchauffeurs			●		●		●				○
Tubes d'économiseurs			●		●		●		□		
Tubes d'échangeurs			●		●	●	●				
Tubes de condenseurs			●		●	●	●				●
Tubes d'évaporateurs			●		●	●	●				●

● Couramment utilisé présentement et d'ici 1980

■ Peu utilisé présentement et davantage

○ Couramment utilisé présentement et moins d'ici 1980

□ Peu utilisé présentement et d'ici 1980

Matériaux des tubes et tuyaux

FONTE		Cuivre	Plomb	Aluminium et alliages	Nickel et alliages	BÉTON				AMIANTE - CIMENT		Grès	MATIÈRES PLASTIQUES			
Grise	ductile					Précontraint	Ame - tole	Armé	Non armé	Pression	Sans pression		CPV pression	CPV sans pression	CPVC	
				●	●							□				▲
			□	●	●											
			□	●	●											
			□	●	●											
			□	●	●							□				
		□			●											
	□															
	●	●						○	○			□	□			
		●														■
	□							●	●							
		□			□											
		□			□											
	□	○			○											
		●		●	●											
		●		●	●											
		●		●	●											

SECRET

Peu utilisé présentement et davantage d'ici 1980

▲ Pas utilisé présentement et possibilité d'utilisation d'ici 1980

Peu utilisé présentement et d'ici 1980

Une absence de symbole signifie que l'emploi du matériau est nul

RELATIONS USAGES / PRODUITS

Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; height: 100px; display: flex; flex-direction: column-reverse; justify-content: center; align-items: center;"> USAGES PRODUITS </div>	ACIER						FONTE		Cuivre
	Au carbone soudé longitudinalement série forte	Au carbone soudé longitudinalement série mince	Au carbone soudé longitudinalement autres	Au carbone soudé en spirale	Au carbone sans soudure	Allié soudé et sans soudure	Inoxydable soudé et sans soudure	Grise	
ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS ET PIÈCES DIVERSES (suite)									
AUTRES APPAREILS									
Tubes de radiateurs									●
Tubes de convecteurs-plinthes									●
Tubes d'aérathermes									●
Tubes de climatiseurs									●
Tubes de chauffage radiant									●
Serpentins de chauffage						●			●
Serpentins de réfrigération	●		□		□	●			●
Tubes d'instrumentation									●
TUBES pour ÉQUIPEMENTS de SOUDAGE									
TUBES pour ÉQUIPEMENTS de NETTOYAGE									
Par aspiration									
Par soufflage									
USAGES MÉCANIQUES									
Outils			□		●	●	●		□
Pièces d'équipement			□		●	●	●		□
Robinetterie			□		●	●	●		●
Vis et boulons creux, etc...					●	●	●		●
Coussinets, bagues, etc.					●	●	●		●
MATÉRIEL DE TRANSPORT ET DE MANUTENTION									
VÉHICULES - AUTOMOBILES									
Canalisations									
- remplissage d'essence		●	●		●				
- alimentation en essence									
- section rigide					□				●
- section flexible									
- freinage									
section rigide			●		●				●
section flexible									

● Couramment utilisé présentement et d'ici 1980

○ Couramment utilisé présentement et moins d'ici 1980

■ Peu utilisé présentement et davantage

□ Peu utilisé présentement et d'ici 1980

RELATIONS USAGES / PRODUITS

Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> PRODUITS USAGES </div>	ACIER							FONTE		Cuivre
	Au carbone soudé longitudinalement série forte	Au carbone soudé longitudinalement série mince	Au carbone soudé longitudinalement autres	Au carbone soudé en spirale	Au carbone sans soudure	Allié soudé et sans soudure	Inoxydable soudé et sans soudure	Grise	Ductile	
MATÉRIEL DE TRANSPORT ET DE MANUTENTION (suite)										
- système de refroidissement										
- radiateurs										●
- raccords										
- système de chauffage et de conditionnement d'air										
- laves-glaces										
- systèmes de lavage et de manutention			□			□				
- systèmes d'échappement										
- tubulures		●		□						
- pots		●		□						
Canalisations de manutention de produits divers										
Arbres de transmission					□	●				
Enveloppe de colonne de direction		●								
Amortisseurs		●			●					
Éléments de carrosserie et de châssis	■		■		■	■				
Barres de protection	●		●		●					
Supports de cabines	●		●		●					
Ossature de sièges		●					●			
Barres de soutien (autobus)		●					●			
BICYCLETTES										
Cadre						●				
Guidon						●				
Tige de guidon						●				
Enveloppe de câbles de freinage										
MOTOCYCLETTES										
Cadre						●				
Guidon						●				
Tige de guidon						●				
Amortisseurs						●				
Canalisations d'essence										
Systèmes d'échappement		●			□					
Enveloppe de câbles de freinage										

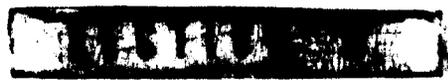


- Couramment utilisé présentement et d'ici 1980
- Peu utilisé présentement et d'ici 1980
- Couramment utilisé présentement et d'ici 1980
- Peu utilisé présentement et d'ici 1980

RELATIONS USAGES / PRODUITS

Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; height: 100px; display: flex; flex-direction: column-reverse; justify-content: center; align-items: center;"> USAGES PRODUITS </div>	ACIER							FONTE		Cuivre
	Au carbone soudé longitudinalement série forte	Au carbone soudé longitudinalement série mince	Au carbone soudé longitudinalement autres	Au carbone soudé en spirale	Au carbone sans soudure	Allié soudé et sans soudure	Inoxydable soudé et sans soudure	Grise	Ductile	
MATÉRIEL DE TRANSPORT ET DE MANUTENTION (suite)										
BATEAUX										
Tubes de chaudière			●		●	●	●			
Tubes de surchauffeurs			●		●	●	●			
Tubes de condenseurs			●		●	●	●			●
Tubes d'échangeurs			●		●	●	●			●
Canalisations de distribution de vapeur	●		●							
Canalisations										
- eau douce										
- froide	●									□
- chaude	●									□
- eau salée										
services sanitaires	●								□	
protection contre l'incendie	●									
lavage de pants	●									
refroidissement	●									□
Tuyauteries de cargaisons	●		●		●					
Conduits électriques	●	□	●							
Conduits de ventilation			●							
Mains - courantes	●						●			
Gardes - corps	●									
Échelles	●									
Mâts de charge			●		●					
Autres mâts			●		●					
Canalisations diverses										
- alimentation en carburant	●		●		●					□
- serpentins de réfrigération et de chauffage							●			●
- circulation interne de cargaison liquide							●		□	
- systèmes hydrauliques de timonerie et manutention	●		●		●					
- systèmes anti-raulis	●				●					



- Couramment utilisé présentement et d'ici 1980
- Couramment utilisé présentement et moins d'ici 1980
- Peu utilisé présentement et davantage
- Peu utilisé présentement et d'ici

des tubes et tuyaux

Ductile	Cuivre	Plomb	Aluminium et alliages	Nickel et alliages	BÉTON				AMIANTE - CIMENT		Grès	MATIÈRES PLASTIQUES			
					Précontraint	Armé - tôle	Armé	Non armé	Pression	Sans pression		CPV pression	CPV sans pression	CPVC	ABS
	●		□	□											
	●		□	□											
	□														
	□											●		▲	
□		□											▲	▲	▲
	□														
			●										▲		
			●												
	□														
	●		●									●			
□			■												

SECRET

● se présentent et davantage d'ici 1980

▲ Pas utilisé présentement et possibilité d'utilisation d'ici 1980

□ se présentent et d'ici 1980

Une absence de symbole signifie que l'emploi du matériau est nul

RELATIONS USAGES / PRODUITS

Concurrence, évolution technologique et produits concurrentiels des tubes et

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100%; height: 100%; display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> PRODUITS USAGES </div>	ACIER							FONTE		Cuivre
	Au carbone soudé longitudinalement série forte	Au carbone soudé longitudinalement série mince	Au carbone soudé longitudinalement autres	Au carbone soudé en spirale	Au carbone sans soudure	Allié soudé et sans soudure	Inoxydable soudé et sans soudure	Grise	Ductile	
MATÉRIEL DE TRANSPORT ET DE MANUTENTION (suite)										
MATÉRIEL DE CHEMIN DE FER										
Système de freinage à air comprimé										
- conduits rigides	●		●		●					
- conduits flexibles										
Canalisations pour wagons-citernes										
Conduits électriques		●	●							
Ossatures de mobilier		●								
Barres de soutien et mains-courantes										
- wagons - passagers							●			
- wagons-marchandises	●									
Échelles	●									
Barres de protection	●									
AÉRONAUTIQUE										
Canalisations										
- systèmes hydrauliques de timonerie							●			●
- carburant							●			●
- systèmes de dégivrage							●			
- pressurisation et conditionnement d'air										●
- eau										
Conduits électriques		□								
AUTRES USAGES										
Rouleaux de convoyeurs		●								
Élévateurs										
- coffrage							●			
- piston							●			
Ossature, barres de traction et supports de chariots divers										
- général	●	●	●		●					
- sanitaire							●			

● Couramment utilisé présentement et d'ici 1980

■ Peu utilisé présentement et davantage

○ Couramment utilisé présentement et moins d'ici 1980

□ Peu utilisé présentement et d'ici

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100%; height: 100%; display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> USAGES PRODUITS </div>	ACIER							FONTE		Cuivre
	Au carbone soudé longitudinalement série forte	Au carbone soudé longitudinalement série mince	Au carbone soudé longitudinalement autres	Au carbone soudé en spirale	Au carbone sans soudure	Allié soudé et sans soudure	Inoxydable soudé et sans soudure	Grise	Ductile	
MOBILIER ET SERRURERIE										
ÉLÉMENTS D'OSSATURE DE ...										
Chaises										
- rigides		●					●			
- pliantes		●					●			
Tables										
- rigides		●					●			
- pliantes		●					●			
Sièges										
- rigides		●					●			
- pliants		●					●			
Lits		●					●			
Portes-manteaux		●					□			
Lampes		●					□			
Cendriers		●					□			
Tabourets		●					□			
Bibliothèques		●					□			
Desserts		●					□			
Établis		●								
Bancs		●								
Portes-cartes		●								
ÉCHAFAUDAGES ET STRUCTURES										
TEMPORAIRES DE SOUTIEN										
Grandes dimensions	●									
Petites dimensions	●									
ÉTAIS	●									
ÉTRESILLONS	●									
TRÉTAUX	●									
TRÉPIEDS	●									
AUVENTS PROTECTEURS	●									
TAQUETS	●									



- Couramment utilisé présentement et d'ici 1980
- Couramment utilisé présentement et moins d'ici 1980
- Peu utilisé présentement et d'ici 1980
- Peu utilisé présentement et d'ici 1980

Avantages et désavantages des principaux matériaux employés dans la fabrication de tubes et tuyaux

Matériaux	Avantages	Désavantages
Acier et Alliages		
Acier au carbone		
- faible teneur	<p>Hautement ductile Bonne robustesse Se plie facilement Très bonne résistance à la pression et à la chaleur Se soude facilement Grande disponibilité de dimensions et de nuances Revêtement facile Très bonnes caractéristiques mécaniques</p>	<p>Rouille facilement Résistance modérée à la corrosion</p>
- moyenne teneur	<p>Moins grande ductilité Plus grande dureté Plus difficile à souder que l'acier à faible teneur Très bonne résistance à la pression et à la chaleur Grande disponibilité de dimensions de formes et de nuances Revêtement facile</p>	<p>Rouille facilement Résistance modérée à la corrosion Moins facile à souder que l'acier à faible teneur</p>
Aciers alliés	<p>Meilleures propriétés physiques et mécaniques que les aciers au carbone. Résistance à la corrosion légèrement améliorée Longévité accrue Résistance à la pression très élevée (1000 bars) Très bonne résistance à la chaleur</p>	<p>Assez difficiles à souder</p>

Avantages et désavantages des principaux matériaux employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)

Matériaux	Avantages	Désavantages
<p>Aciers inoxydables</p> <p>- Type 304</p> <p>- Type 316 et 317</p> <p>- type 321</p> <p>- Type 347</p>	<p>Excellente résistance à la corrosion par divers produits Très bonne résistance à la fatigue mécanique Bonne ductilité Très bonne résistance à pression et à la chaleur Grand choix d'alliages Dureté élevée et bonne résistance à l'abrasion Très bonnes caractéristiques mécaniques Bonne conductibilité thermique Choix assez élevé de dimensions et de formes</p> <p>Résiste à la corrosion par divers produits Résiste à des températures élevées et à la fissuration Ne nécessite pas de traitement thermique de recuit après soudage</p> <p>Possèdent la plus grande résistance à la corrosion des aciers inoxydables</p> <p>Meilleure résistance à hautes températures (décarburation moins élevée)</p> <p>Décarburation moins élevée que le type 321</p>	<p>Coût élevé Résistance moins bonne à la corrosion en milieu oxydant Nécessite souvent un traitement à chaud après soudage pour résistance à la corrosion</p> <p>Pas recommandé pour les acides oxydants Coût plus élevé que type 304</p> <p>Coût très élevé</p>
<p><u>Fonte</u></p> <p>Grise</p>	<p>Grande résistance à la corrosion et à l'usure</p>	<p>Supporte peu ou pas les déformations plastiques</p>

Avantages et désavantages des principaux matériaux employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)

Matériaux	Avantages	Désavantages
<p>Ductile</p>	<p>Facile à mouler Aptitude aux revêtements extérieurs et intérieurs</p> <p>Caractéristiques mécaniques très améliorées par rapport à fonte grise Très facile à usiner Plus résistante que l'acier à la corrosion et à l'usure Résiste bien aux attaques des sols, aux variations de température, aux chocs et aux surpressions Bonne résistance à la pression (40 bars)</p>	<p>Cassante Poids élevé Pose relativement délicate</p> <p>Lourd à manipuler Coût modérément élevé</p>
<p><u>Cuivre et alliages</u></p>	<p>Très ductile et très malléable Très bonne résistance aux eaux corrosives Conductibilité électrique et thermique élevée Grand choix de formes et d'alliages Gamme étendue de pressions de service (160 bars) Faible résistance à l'écoulement Bonne durée de vie Caractéristiques mécaniques moyennes</p>	<p>Ne se soude pas à lui-même Forme un couple galvanique élevé au contact de métaux moins nobles Coût élevé</p>
<p>Admiralty</p>	<p>Moins coûteux que les autres alliages de cuivre</p>	<p>Mauvais comportement en milieu corrosif, ce qui limite son emploi aux applications sous conditions normales</p>
<p>Laiton aluminium</p>	<p>Très bonne résistance à l'attaque par cavitation et aux vitesses élevées</p>	

Avantages et désavantages des principaux matériaux employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)

Matériaux	Avantages	Désavantages
Cuivre-nickel	<p>Résistance et ductilité élevées à haute températures Très bonne résistance à plusieurs types de corrosion</p>	<p>Plus coûteux que le laiton et autres alliages de cuivre</p>
<u>Plomb</u>	<p>Résiste bien aux eaux dures, à l'eau de mer, à l'air salin ainsi qu'à plusieurs agents chimiques Facile à façonner Se soude aisément Faible résistance à l'écoulement</p>	<p>Poids élevé Coût relativement élevé Pose modérément facile Faible résistance à la pression (12 bars) Mauvaise résistance en tension Résiste mal à la chaleur</p>
<u>Aluminium et alliages</u>	<p>Légèreté Très bonne résistance à la corrosion en atmosphères industrielles Bon conducteur de la chaleur et de l'électricité Ses caractéristiques mécaniques s'améliorent avec les baisses de température Résistance moyenne à la pression Grand choix de formes Facilité de façonnage</p>	<p>Se raie facilement et résiste mal aux vibrations répétées et aux chocs Mauvaise résistance à la chaleur (85°C) Soumis à la corrosion galvanique Relativement difficile à souder Gamme de diamètre généralement limité à 12 pouces</p>
<u>Nickel et alliages</u>	<p>Résistance très élevée à la corrosion dû à plusieurs acides déaérés Très bonne résistance à haute température Très bonnes caractéristiques mécaniques</p>	<p>Sujet à la corrosion intergranulaire. Pas recommandable en milieu oxydant Coût élevé Gamme de dimensions réduite</p>

Avantages et désavantages des principaux matériaux employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)

Matériaux	Avantages	Désavantages
Nickel pur	<p>Très bonne résistance à la pression Bonne soudabilité Façonnage relativement facile</p> <p>Résistance élevée à la corrosion Employé lorsque contenu en cuivre du Monel s'avère indésirable Se comporte très bien en milieu réducteur</p>	<p>Mauvais comportement en milieu oxydant</p>
Monel	<p>Meilleure résistance que le nickel pur Très bonne résistance à la corrosion par les acides déaérées, solutions caustiques, alcalies, produits alimentaires et autres substances organiques</p>	<p>Mauvais comportement en milieu oxydant</p>
Inconel	<p>Résiste bien aux solutions tant réductrices qu'oxydantes à hautes températures, ce qui le rend souvent préférable au nickel ou au Monel</p>	
Hastelloy B	<p>Très bonnes caractéristiques mécaniques à hautes températures Résistance élevée à la corrosion</p>	
Hastelloy C	<p>Très bonne résistance aux agents fortement oxydants</p>	<p>Est obtenu par moulage seulement</p>
<u>Titanium</u>	<p>Excellente résistance à la corrosion Très bonne résistance à l'abrasion et à l'érosion par cavitation S'emploie fréquemment comme revêtement intérieur</p>	<p>Coût élevé Disponibilité limitée</p>

Avantages et désavantages des principaux matériaux employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)

Matériaux	Avantages	Désavantages
<u>Tantalum</u>	<p>Très bonne résistance aux acides nitriques et autres acides où les alliages d'acier et ceux de nickel ne peuvent être utilisés S'emploie fréquemment comme revêtement intérieur</p>	<p>Résiste mal aux alcalis Coût extrêmement élevé Disponibilité très limitée</p>
<u>Zirconium</u>	<p>Très bonne résistance à l'eau et à la vapeur circulant à très hautes températures Bonnes caractéristiques mécaniques à hautes températures S'emploie fréquemment comme revêtement intérieur</p>	<p>Coût élevé Disponibilité limitée</p>
<u>Béton</u>	<p>Se moule facilement Imperméable à l'eau Durée de vie très longue. Bonne résistance à la corrosion et à la tuberculisation Sa résistance à l'écoulement diminue avec l'âge Bonne robustesse Très bonne résistance à l'écrasement et aux chocs Coût relativement peu élevé Aucune dilatation ni contraction Assemblage facile Peut recevoir divers types de revêtements</p>	<p>Très lourd, ce qui entraîne des difficultés de manutention, de transport et de pose Résiste mal à la corrosion causée par l'acide sulfurique dégagé par les gaz d'égout Rigidité</p>

Avantages et désavantages des principaux matériaux employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)

Matériaux	Avantages	Désavantages
Précontraint	Bonne résistance à la pression (28 bars), et aux efforts de flexion Grands diamètres disponibles (2000 mm)	Sujet à la corrosion électrolytique
Âme tôle	Résiste très bien aux charges et aux chocs extérieurs Meilleure résistance à la pression que les tuyaux précontraints (30 bars et plus) Grands diamètres disponibles (3000 mm)	Plus lourd Plus dispendieux que les tuyaux précontraints Sujet à la corrosion électrolytique
Armé	Bonne résistance aux charges extérieures Grands diamètres disponibles (3000 mm) Choix de formes Moins coûteux que le précontraint et l'âme tôle	Résistance modérée à la pression
Non armé	Un des matériaux les moins coûteux pour tuyaux	Faible résistance à la pression interne Choix de diamètres limité (600 mm)
<u>Amiante-ciment</u>	Bonne résistance à la compression et à la traction Très faible résistance à l'écoulement Bonne résistance à la corrosion N'est pas soumis à la corrosion électrolytique. Léger, facile à poser Bonne résistance aux charges extérieures Très bonne résistance à la chaleur	Est sujet à l'attaque causée par l'acide sulfurique dégagé par les gaz d'égoûts Sujet au ramollissement dans certains sols Manutention et pose délicate Coût relativement élevé

Avantages et désavantages des principaux matériaux employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)

Matériaux	Avantages	Désavantages
<u>Grès</u>	<p>Presque complètement inerte à la plupart des produits chimiques sauf l'acide fluorhydrique Très faible résistance à l'écoulement Très résistant à l'usure par frottement Bonne résistance à la compression et à la traction Matières premières abondamment disponibles en de nombreux endroits Longue durée de vie</p>	<p>Très fragile aux chocs Résiste mal à la pression Manutention et pose délicate Procédé de fabrication nécessite beaucoup d'énergie calorifique Coût relativement élevé Rigidité</p>
<u>Matériaux plastiques</u>	<p>Résistance à de nombreux agents chimiques Insensibilité à l'attaque électrolytique Absence dans la tuyauterie de produits de corrosion et de piqûres; n'encourage pas la croissance des champignons, des algues et des bactéries Très faible résistance à l'écoulement Absence de transfert d'agents toxiques à l'eau et aux produits comestibles Durabilité, bonne résistance aux chocs et à l'abrasion; bonne tenue aux intempéries Bonne absorption des vibrations Raccordements simples Facilité de préassemblage hors chantier Légèreté</p>	<p>Pressions de service relativement basses Plage des températures de service limitée La manutention par temps froid s'avère délicate Dilatation et contraction élevées Peut être attaqué par les rayons ultra-violet Faible résistance à l'écrasement Leur légèreté peut être parfois un désavantage</p>

**Avantages et désavantages des principaux matériaux
employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)**

Matériaux	Avantages	Désavantages
CPV	Grande résistance aux produits chimiques Bonnes caractéristiques mécaniques	Résistance aux chocs modérée Résistance à la chaleur modérée (70°C) Pression de service modérée (20 bars)
CPVC	Grande résistance aux agents chimiques Grande résistance aux chocs Bonne résistance à la température (110°C)	Pressions de service modérées
CPV chargé	Moins coûteux	Ne peut être utilisé sous pression Résistance modérée aux agents chimiques Faible résistance aux chocs
PE bd	Grande résistance aux agents chimiques Grande résistance aux chocs, incassable Très flexible Transparence	Faible résistance à la température Faible résistance à la pression Faible résistance à la traction Raccordement plus difficile, ne peut être soudé au solvant
PE hd	Mêmes caractéristiques que le PEbd	sauf une pression de service légèrement plus élevée, et une plus grande rigidité; et une meilleure résistance à la traction.
Polypropylène	Le plus léger des thermoplastiques Grande résistance aux produits chimiques Bonne résistance à la température (110°C)	Difficile à raccorder, ne peut être soudé au solvant Pression de service modérée
ABS	Bonne robustesse Bonne résistance aux chocs Coût relativement modéré	Faible résistance aux agents chimiques et à la pression Résistance modérée à la chaleur (80°C)

**Avantages et désavantages des principaux matériaux
employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)**

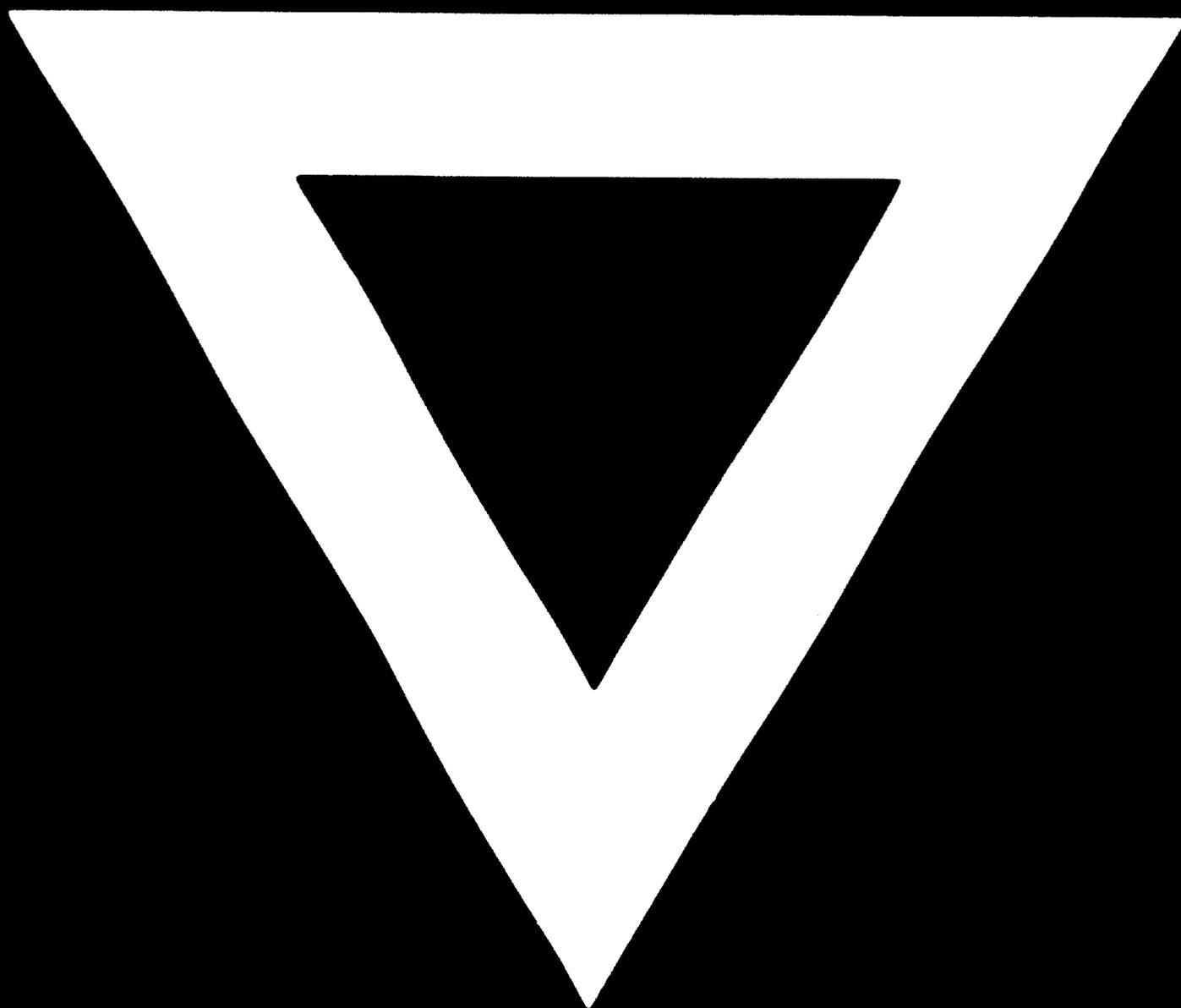
Matériaux	Avantages	Désavantages
Caoutchouc	Résistance relativement élevée à de nombreux produits chimiques Bonne résistance aux chocs et à l'abrasion Résiste très bien aux vibrations Bonne tenue aux intempéries Très faible résistance à l'écoulement Flexible, léger Supporte des pressions élevées (jusqu'à 360 bars) Très grande variété de types de construction Assemblage assez facile et rapide Disponibles en grandes longueurs	Plage de températures relativement limitée Sa flexibilité et sa légèreté limitent son emploi Résiste mal à la chaleur Coût relativement élevé
Néoprène	Excellente résistance aux intempéries Bonne résistance à l'huile Bonnes propriétés physiques	
Caoutchouc naturel	Très bonnes propriétés physiques Très bonne résistance à l'abrasion	Ne résiste pas à l'huile
Butyl	Excellente résistance aux intempéries Faible perméabilité à l'air Bonnes propriétés physiques	
Buna N	Excellente résistance à l'huile Bonnes propriétés physiques	Résistance modérée aux aromatiques
SBR	Bonnes propriétés physiques Bonne résistance à l'abrasion	Ne résiste pas à l'huile

**Avantages et désavantages des principaux matériaux
employés dans la fabrication de tubes et tuyaux (suite)**

Matériaux	Avantages	Désavantages
Verre	Très bonne résistance à une grande variété d'agents chimiques Transparence	Résiste mal à la pression Faible résistance aux chocs Coût relativement élevé Raccordement et assemblage délicats



C-723



79.01.17