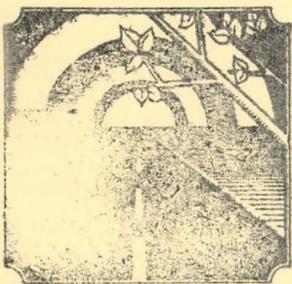


# Contrôle de la qualité des ponts et charpentes métalliques

CANQ  
TR  
GE  
ST  
103

MINISTÈRE DU QUÉBEC  
DES TRANSPORTS  
DES SOLS ET MATÉRIAUX  
QUÉBEC



Service de la Conservation des Champsées

N/D: 6.4.2

469542

# **Contrôle de la qualité des ponts et charpentes métalliques**

par

**Pierre Grenon, ing. métallurgiste**

**septembre 1974**

**MINISTÈRE DES TRANSPORTS**  
DIRECTION DE L'OBSERVATOIRE EN TRANSPORT  
SERVICE DE L'INNOVATION ET DE LA DOCUMENTATION  
700, Boul. René-Lévesque Est, 21<sup>e</sup> étage  
Québec (Québec) G1R 5H1

CANQ  
TR  
GE  
ST  
103

## AVANT-PROPOS

Le but du présent ouvrage est de rassembler en un même document les données les plus utiles au contrôle de la qualité des ponts et charpentes métalliques.

Nous savons tous cependant que la solidité et la durabilité d'une charpente d'acier ne peuvent être le fruit du seul surveillant, et que sans la compétence du fabricant et de l'équipe de montage, l'obtention de la qualité désirable est difficile, voire même impossible. Nous espérons donc que plusieurs personnes reliées plus directement au domaine de la fabrication trouveront elles aussi, à la lecture des pages qui suivent une source de renseignements utiles à l'accomplissement de leur tâche ou à la solution de quelques-uns de leurs problèmes.

Comme le champ couvert est assez vaste, il a fallu demeurer au niveau des préoccupations concrètes du chantier et tenter de conserver au document une certaine concision qui le rende facile à consulter sans pour autant nuire de façon exagérée à la clarté du texte.

Nous avons évidemment dû puiser à plusieurs sources. Parmi celles-ci, il faut mentionner les normes élaborées par divers organismes canadiens, américains ou autres, de même que plusieurs autres articles et revues techniques. Le lecteur pourra retrouver, à la fin du présent document, la liste des publications consultées, lesquelles pourraient, s'il le désire, servir éventuellement à une étude plus élaborée des sujets traités ici.

Nous avons surtout tâché de mettre à profit notre expérience concrète de chantier, c'est-à-dire, nos observations faites lors d'exécution de travaux et de mise en oeuvre. À ce sujet, il me fait plaisir de souligner la collaboration de mes collègues ingénieurs de la direction des Ponts, du service des Sols et Matériaux de même que celle des techniciens oeuvrant dans le domaine du contrôle de la qualité des ponts et charpentes métalliques.

Jé me dois également de remercier tous ceux qui m'ont fait part de leurs commentaires sur l'édition de juin 1973. Qu'il me soit permis de mentionner ici les noms de Gilles Lussier, ingénieur et métallurgiste-conseil à "Steel Company of Canada" pour ses remarques pertinentes et Pierre DeMontigny, ingénieur au service des Sols et Matériaux, dont les conseils et les suggestions au niveau de la rédaction ont été des plus appréciés.

## TABLE DES MATIÈRES

	<b>page</b>
<b>STRUCTURATION DU CONTRÔLE DE LA QUALITÉ</b>	
1.00 Considérations d'ordre général .....	1
1.01 Obligations préliminaires .....	1
1.02 Processus général du contrôle de la qualité .....	2
 <b>FABRICATION DES PONTS ET ÉLÉMENTS DE CHARPENTE</b>	
2.00 Ponts et éléments de charpente .....	4
A — Pont à tablier supérieur .....	4
B — Pont-ferme à tablier inférieur .....	4
C — Ponts suspendus .....	4
2.01 Usage des principaux aciers de construction .....	4
2.02 Caractéristiques chimiques et mécaniques des principaux aciers de construction ..	14
2.03 Nouvelle nomenclature des aciers de construction .....	14
2.04 Conditions préalables du métal de base .....	18
2.05 Découpage des pièces .....	18
2.06 Réparation des défauts .....	18
2.07 Le soudage .....	20
2.08 Procédé de soudage à l'arc avec électrodes enrobées .....	21
Choix des électrodes .....	21
Classification AWS des électrodes enrobées .....	21
a) Électrodes pour soudage d'aciers au carbone ordinaire .....	23
Choix du courant .....	23
b) Électrodes pour soudage d'aciers alliés .....	25
Conditionnement des électrodes conventionnelles .....	27
Conditionnement des électrodes à basse teneur d'hydrogène .....	27
Électrodes mouillées .....	28
2.09 Soudage à l'arc submergé .....	28
Conditions du fondant .....	28

Propriétés des électrodes à arc submergé .....	30
2.10 Soudage à l'arc sous atmosphère gazeuse.....	30
Propriétés du métal d'apport des électrodes.....	30
2.11 Soudage à l'arc avec électrode fourrée.....	30
Propriétés du métal d'apport des électrodes.....	33
2.12 Précautions concernant le soudage à l'arc.....	33
2.13 Métal à souder et choix du procédé .....	33
2.14 Température de soudage .....	34
2.15 Soudage des goujons.....	34
Vérification du procédé.....	37
Essais de pliage et examens visuels .....	37
2.16 Symboles de soudage et d'essais non destructifs.....	38
2.17 Pénétration de la soudure.....	38
2.18 Profils des soudures et corrections .....	40
2.19 Essais non destructifs.....	43
Radiographie.....	44
Ultrasons .....	47
"Magnétoscopie" .....	49
2.20 Spécifications des essais non destructifs.....	51
A — Radiographie sur soudures d'aboutement.....	51
B — "Magnétoscopie" sur soudure en cordon.....	51
C — Ultrasons sur soudure d'aboutement et soudures d'angle à pénétration complète.....	52
2.21 Critères d'acceptation et de rejet des défauts dans la soudure.....	53
Réparations des soudures défectueuses .....	54
2.22 Tolérances dimensionnelles .....	54
Cas No 1 — Tolérances de rectitude pour une colonne fabriquée par soudage....	55
Cas No 2 — Tolérances sur cambrure spécifiée pour une poutre.....	55
Cas No 3 — Tolérance de courbure d'une poutre soudée.....	55
Cas No 4 — Tolérance sur le centrage de l'âme des poutres fabriquées par	

soudage .....	56
Cas No 5 — Gauchissement et défaut d'équerrage.....	56
Cas No 6 — Gauchissement à l'appui.....	56
Cas No 7 — Tolérances sur la hauteur des poutres.....	57
Cas No 8 — Torsion.....	57
Cas No 9 — Parallélisme des semelles des poutres soudées.....	57
Cas No 10 — Tolérances d'ajustement entre les sections de poutrelles en compression exerçant une friction en compensation de la réduction du nombre de boulons dans le joint.....	58
Cas No 11 — Tolérances sur la pose des raidisseurs.....	58
Cas No 12 — Tolérances de planéité de l'âme des poutres fabriquées par soudage.....	59
2.23 Distorsion et traitement thermique.....	61
Traitement thermique de détente .....	61
2.24 Dilatation et contraction des poutres d'acier.....	62
2.25 Boulonnage.....	64
A — Boulons, écrous et rondelles .....	64
Identification des boulons à haute tension.....	65
Propriétés mécaniques des boulons .....	66
Mode d'utilisation des boulons .....	66
B — Perçage des pièces métalliques.....	66
C — Serrage des boulons.....	67
Calibrage des boulonneuses.....	67
Contrôle du serrage des boulons.....	68
 <b>PROTECTION ANTIROUILLE</b>	
3.00 But et genre de procédés.....	69
3.10 Aciers résistant à la corrosion atmosphérique .....	69
3.20 Application de peintures sur les charpentes métalliques.....	71
A — Application au moment de la construction .....	72
B — Application lors de l'entretien.....	72

	<b>page</b>
Surveillance à exercer au cours de l'application de peintures.....	73
3.30 Galvanisation.....	74
Galvanisation à chaud.....	74
Contrôle de la galvanisation à chaud.....	75
Recommandations particulières.....	75
3.40 Métallisation.....	76
Application du procédé.....	77
Contrôle de la métallisation.....	77

## **APPENDICE**

Conversion des degrés Fahrenheit en degrés Celsius.....	78
Conversion des degrés Celsius en degrés Fahrenheit.....	78
Propriétés des métaux les plus usuels.....	78
Facteurs de conversion.....	79
A — Conversion des mesures métriques aux mesures anglaises.....	79
B — Conversion des mesures anglaises aux mesures métriques.....	79
Guide pour évaluer la facilité de soudage des aciers.....	80
Dureté des aciers.....	80

## **GLOSSAIRE**

A — Équivalence du français à l'anglais.....	81
B — Équivalence de l'anglais au français.....	83

<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>85</b>
---------------------------	-----------

---

## STRUCTURATION DU CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

### 1.00 CONSIDÉRATIONS D'ORDRE GÉNÉRAL

On dit souvent que les grandes réalisations sont le fruit d'un travail d'équipe et que le travail de l'individu, pour être réellement profitable doit s'harmoniser avec celui de l'ensemble. Il s'agit là d'un principe reconnu depuis longtemps sur les grands chantiers de construction. Et chacun qui y travaille, qu'il soit au service de la partie patronale ou de la partie contractante, doit constamment avoir présent à l'esprit le but ultime de l'équipe qui est de réaliser un ouvrage solide, durable et conforme aux désirs du propriétaire.

C'est cependant au technicien ou à l'équipe de contrôle qu'incombe de façon plus explicite le rôle d'évaluer la qualité des ouvrages tout au long de leur déroulement et d'assurer une concordance impeccable entre l'ouvrage projeté et le travail de réalisation.

### 1.01 OBLIGATIONS PRÉLIMINAIRES

Avant toute opération de contrôle de la qualité proprement dit, le technicien responsable doit inclure dans son programme d'action les étapes suivantes:

**a)** L'étude des plans et devis pour connaître les catégories d'acier utilisé et les spécifications de ces aciers.

**b)** La vérification à savoir si les plans et les devis particuliers utilisés à l'usine de fabrication ont reçu l'approbation finale du maître d'œuvre.

**c)** La tenue à date d'un journal des opérations, comportant toutes les références nécessaires à l'exécution du travail: ingénieurs responsables et contremaîtres avec adresses et numéros de téléphone, liste de destinations des copies de rapports.

**d)** L'étude des devis et normes reliés à l'exécution du contrat.

**e)** La vérification de la compétence du personnel préposé à l'exécution des travaux envisagés, particulièrement de la compétence des soudeurs, suivant les normes reconnues.

**f)** La présentation de rapports à intervalles réguliers décrivant le progrès des opérations, les essais effectués, les recommandations faites et les résultats obtenus en mentionnant leur degré de conformité aux normes utilisées.

## **1.02 PROCESSUS GÉNÉRAL DU CONTRÔLE DE LA QUALITÉ**

Le processus général de contrôle de la fabrication des éléments de structure métalliques en usine ou en chantier comporte de la part du surveillant les responsabilités et devoirs suivants:

**a)** Identification des matériaux utilisés à l'aide du numéro de coulée gravé sur les pièces. Ce numéro doit correspondre à celui du certificat de l'aciérie.

**b)** Vérification au moyen des certificats de coulée, si les aciers ou alliages destinés au projet sont conformes aux plans et spécifications, et, dans le cas de doute sur leur conformité, échantillonnage de ces matériaux pour les soumettre aux essais mécaniques et chimiques nécessaires à leur acceptation ou à leur refus.

**c)** Examen visuel des matériaux pour vérifier si ceux-ci n'ont pas été endommagés pendant leur transport ou leur manutention.

**d)** Vérification des défauts de laminage de l'acier structural dans le but de déterminer si ces défauts n'excèdent pas les tolérances permises par les spécifications.

**e)** Vérification de la précision et de la qualité du travail exécuté lors du traçage et du découpage.

**f)** Vérification si les pièces épousent bien les formes demandées par les plans au mo-

ment du formage.

**g)** Surveillance des opérations de réparation et de détente thermique.

**h)** Vérification du poinçonnage, de l'alésage, du forage, du soudage, du pliage, etc., de toutes les pièces.

**i)** Inspection soignée des pièces dans le but de déceler les défauts qui n'apparaissent qu'au moment du façonnage (stries, piqure, etc...).

**j)** Vérification si la fabrication des pièces par soudage ou autrement est faite selon les plans et devis, notamment en ce qui concerne leur longueur, l'emplacement des trous et l'assemblage.

**k)** Vérification et inspection des rivets et des boulons ainsi que des procédés de rivetage et de boulonnage.

**l)** Vérification de la soudure et du soudage, tout en s'assurant que les joints ont été éprouvés au moyen d'essais non destructifs: particules, magnétiques, liquides pénétrants, ultrasons, rayons-X ou autres.

**m)** Une fois les pièces terminées, vérification de leurs dimensions en regard des cotes indiquées sur les dessins d'usine; vérification également des pièces composantes et de l'état de leur surface.

**n)** Vérification de la qualité du nettoyage des pièces avant l'application de couches protectrices.

**o)** Contrôle de la qualité des substances protectrices et mesure de leur taux d'application selon les prescriptions des devis en usage.

## FABRICATION DES PONTS ET ÉLÉMENTS DE CHARPENTE

### 2.00 PONTS ET ÉLÉMENTS DE CHARPENTE

Les dessins qui suivent permettent d'illustrer certains types de ponts métalliques et quelques-uns de leurs principaux éléments de charpente.

#### A — Pont à tablier supérieur

Fig. 1: vue en plan et en élévation

Fig. 2: coupe à l'appui et coupe en travée

Fig. 3: joint de chantier et coupe d'une poutre

Fig. 4: poutre caisson

#### B — Pont-ferme à tablier inférieur

Fig. 5: plan supérieur, vue en élévation, plan inférieur

Fig. 6: connexion, coupe transversale

#### C — Ponts suspendus

Fig. 7: pont suspendu à câbles paraboliques

Fig. 8: pont suspendu à haubans

### 2.01 USAGE DES PRINCIPAUX ACIERS DE CONSTRUCTION

Les aciers les plus couramment utilisés pour les structures métalliques correspondent aux normes suivantes:

#### **ASTM A36** "Acier de charpente"

Cette norme concerne les profilés, tôles fortes et barres en acier au carbone destinés aux charpentes rivetées, boulonnées ou soudées de ponts et d'immeubles, et pour usage général dans les charpentes.

#### **CSA G40.8** "Aciers de construction avec facteur de résilience accru"

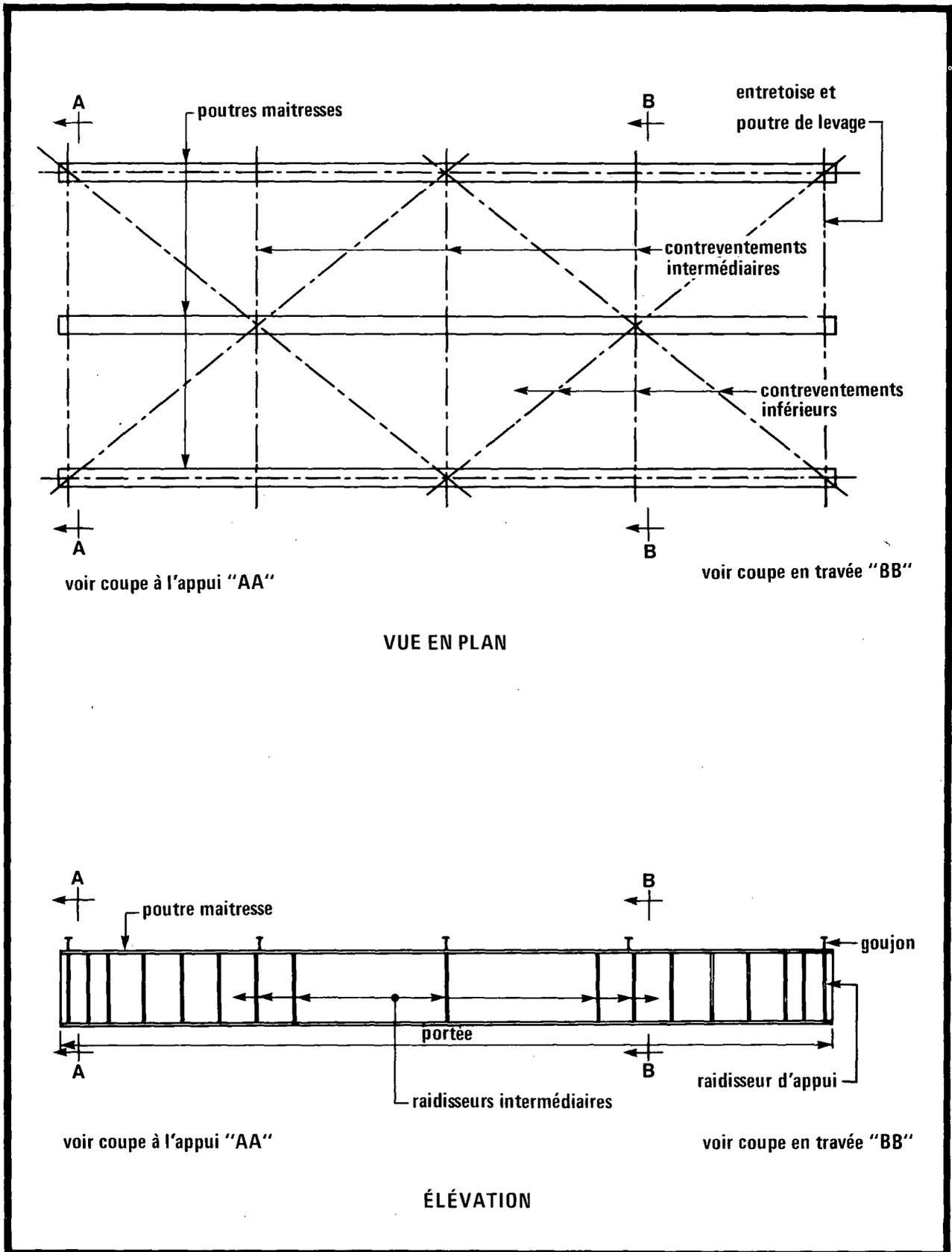


FIGURE 1 – PONT À TABLIER SUPÉRIEUR

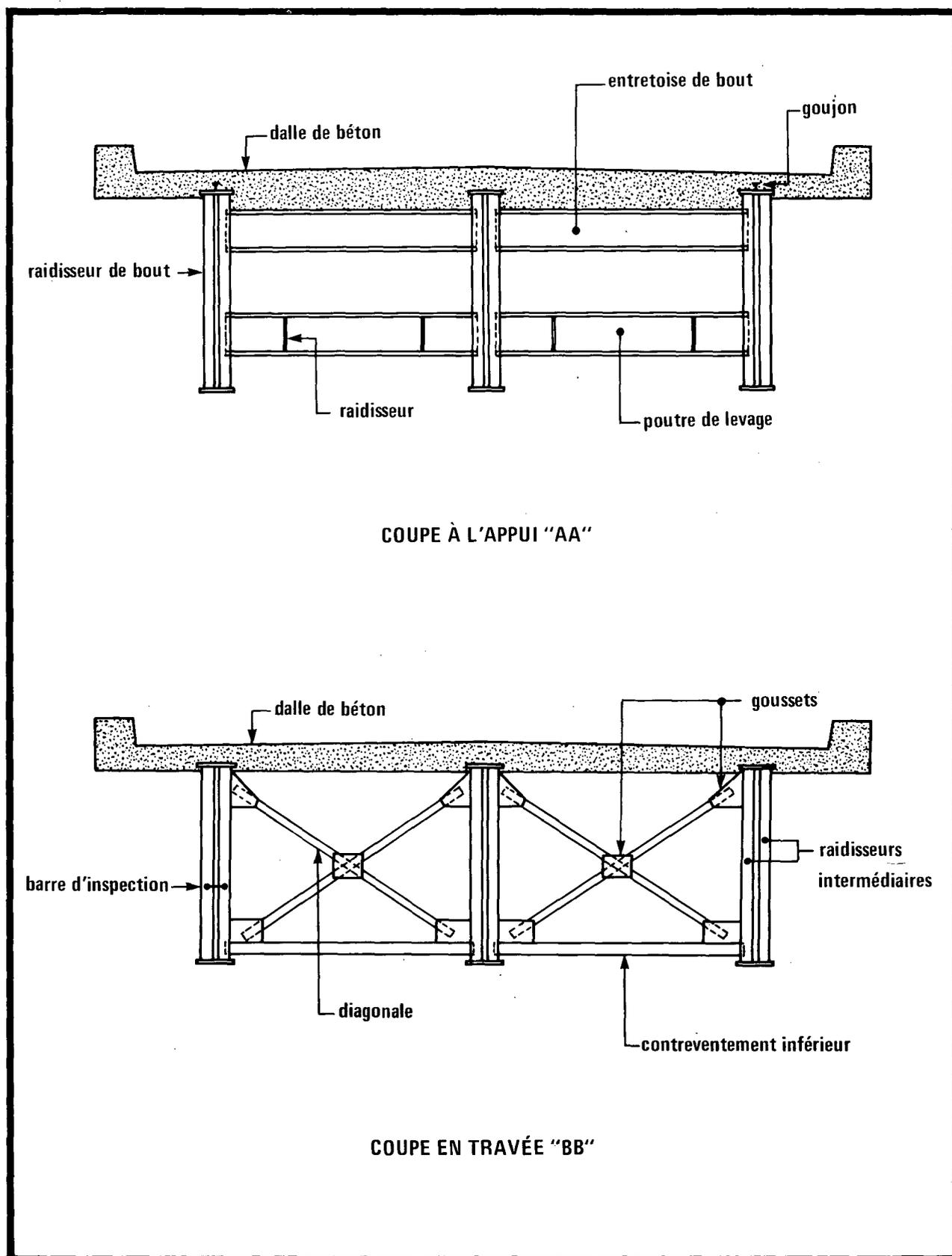
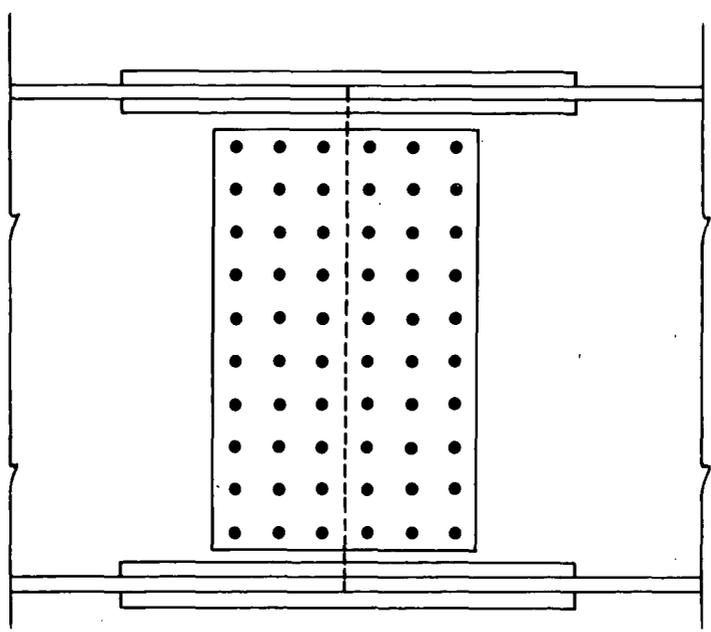
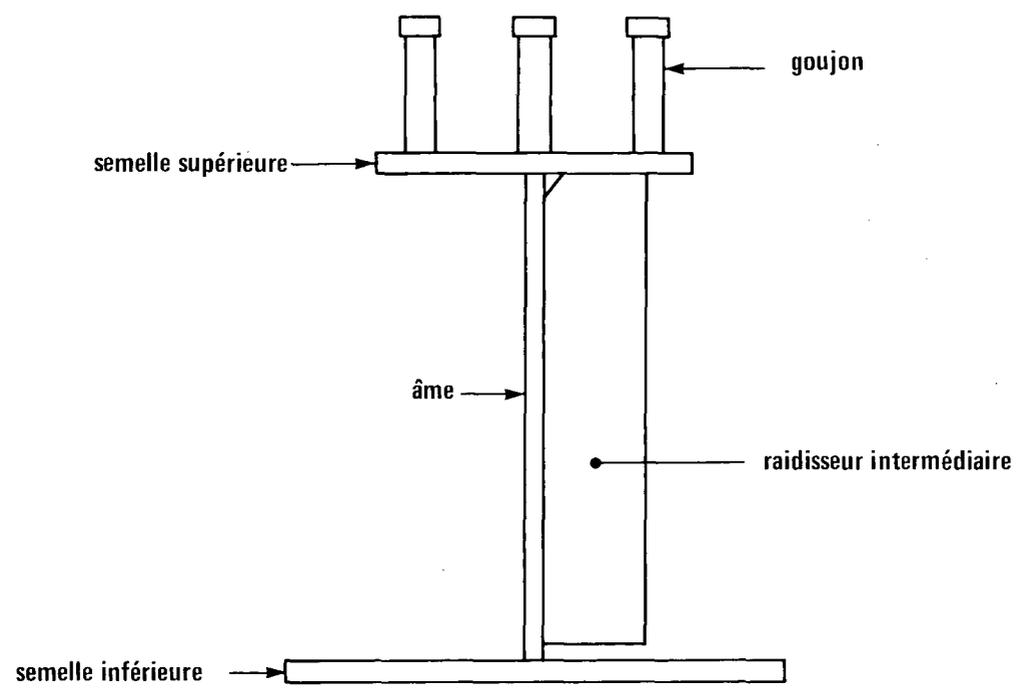


FIGURE 2 – PONT À TABLIER SUPÉRIEUR



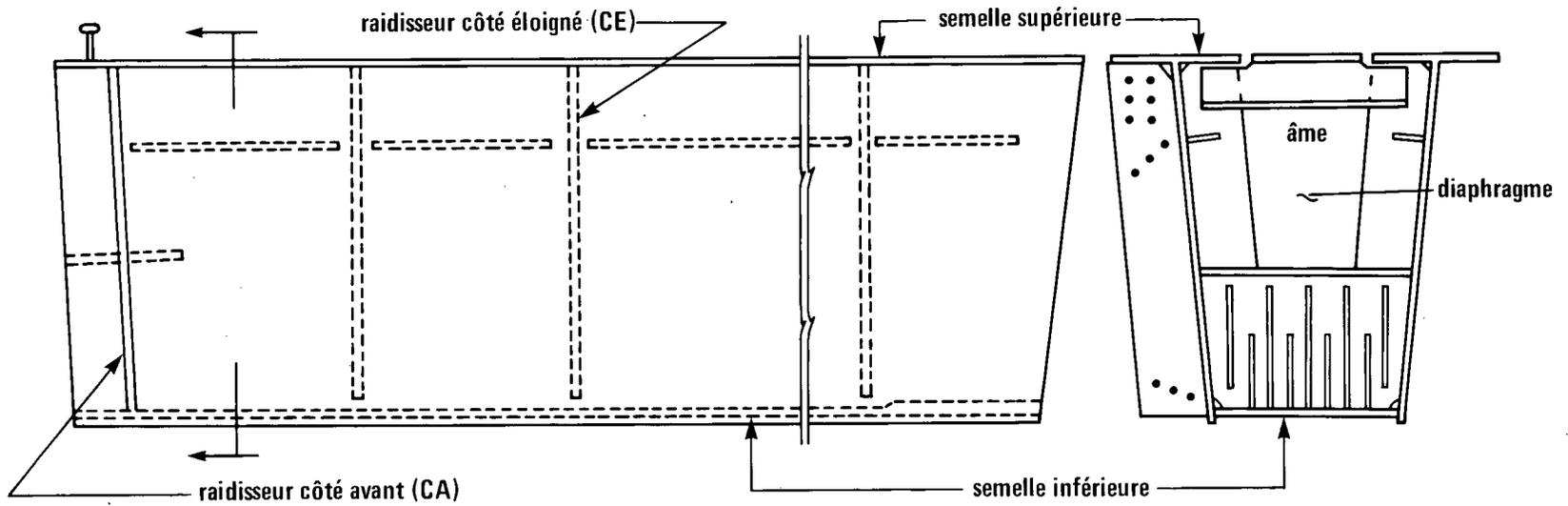
JOINT DE CHANTIER (VUE EN ÉLÉVATION)



COUPE TRANSVERSALE D'UNE POUTRE

FIGURE 3 – PONT À TABLIER SUPÉRIEUR

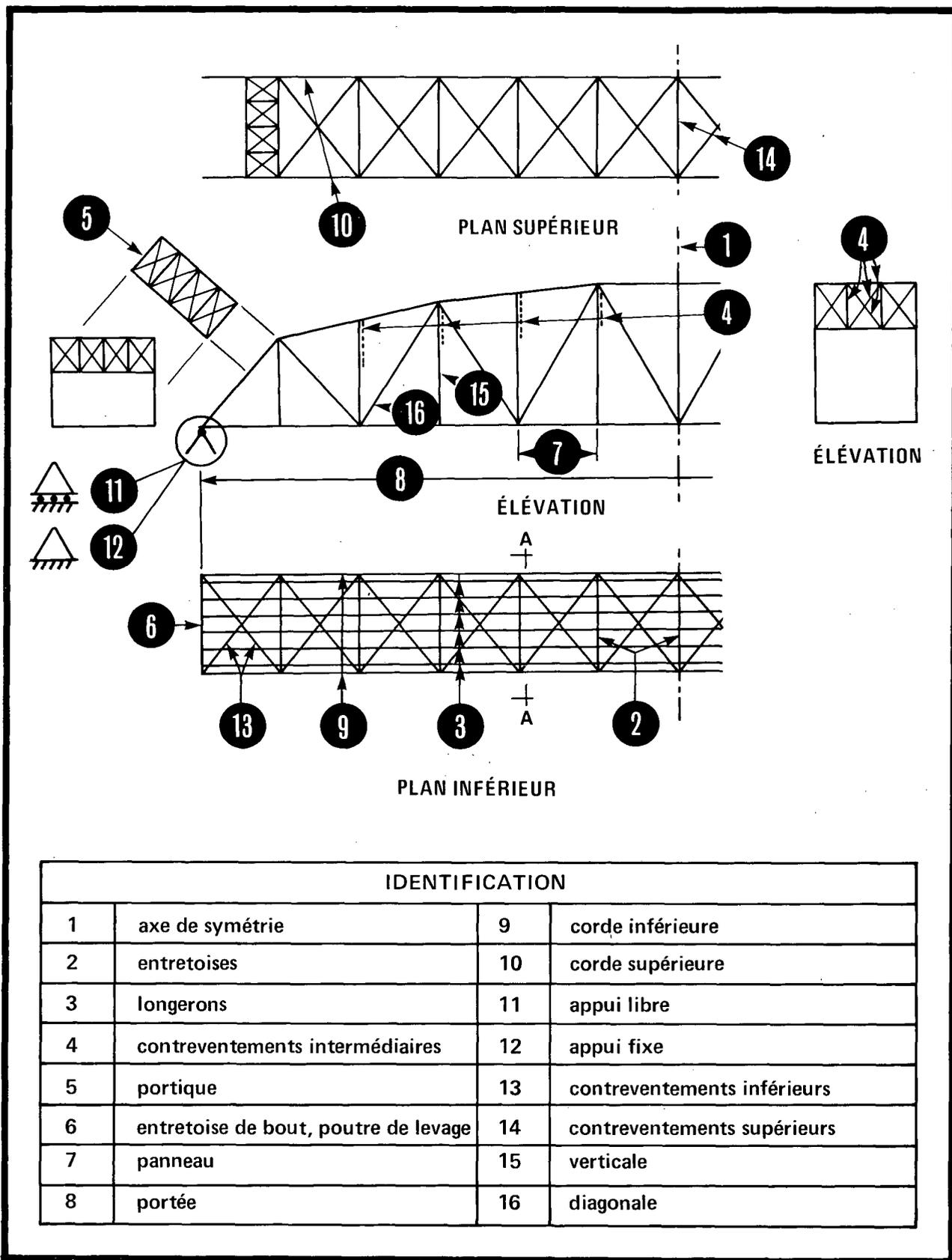
POUTRE CAISSON



ÉLEVATION

PROFIL

FIGURE 4 – PONT À TABLIER SUPÉRIEUR



IDENTIFICATION			
1	axe de symétrie	9	corde inférieure
2	entretoises	10	corde supérieure
3	longerons	11	appui libre
4	contreventements intermédiaires	12	appui fixe
5	portique	13	contreventements inférieurs
6	entretoise de bout, poutre de levage	14	contreventements supérieurs
7	panneau	15	verticale
8	portée	16	diagonale

FIGURE 5 – PONT-FERME À TABLIER INFÉRIEUR

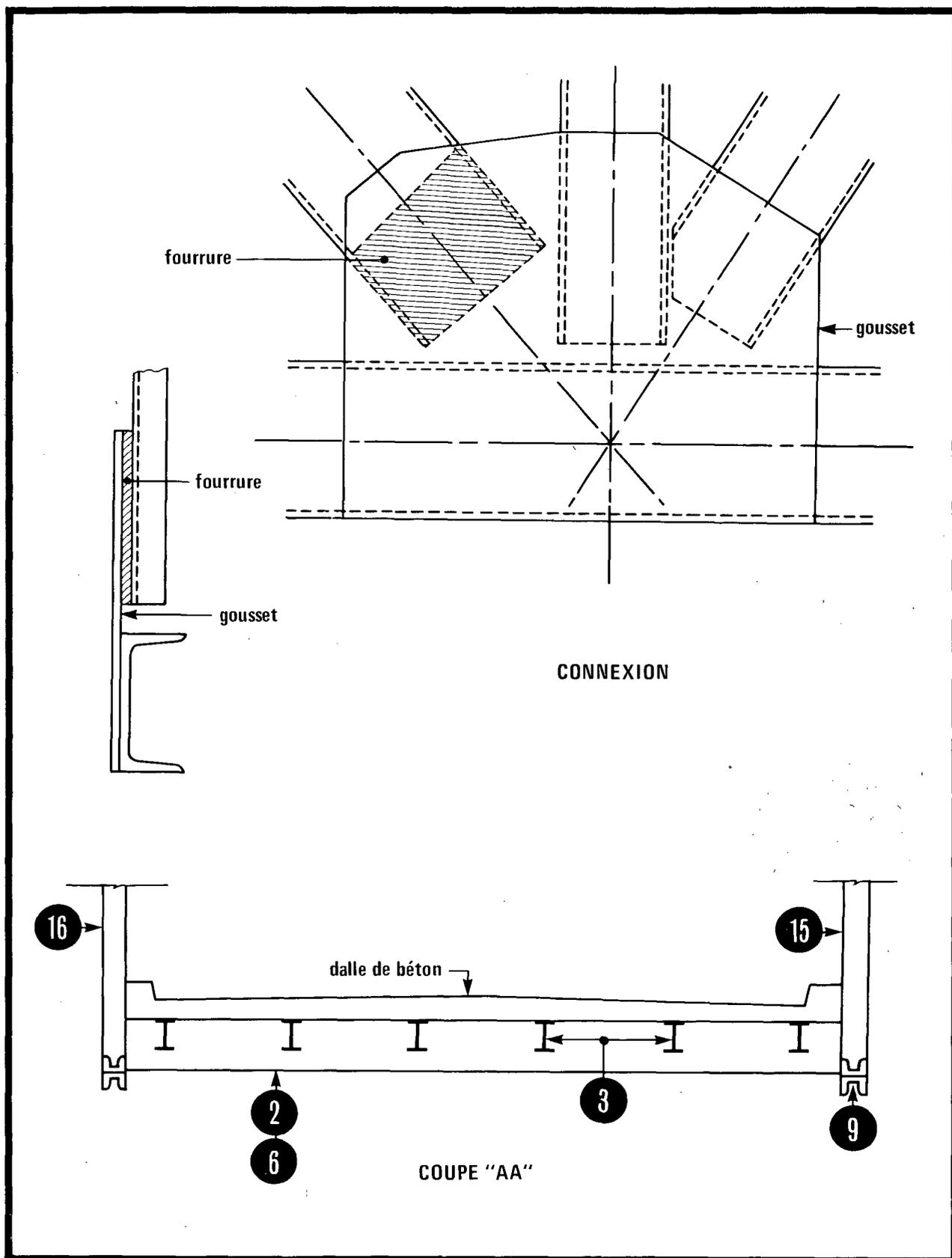


FIGURE 6 – PONT-FERME À TABLIER INFÉRIEUR

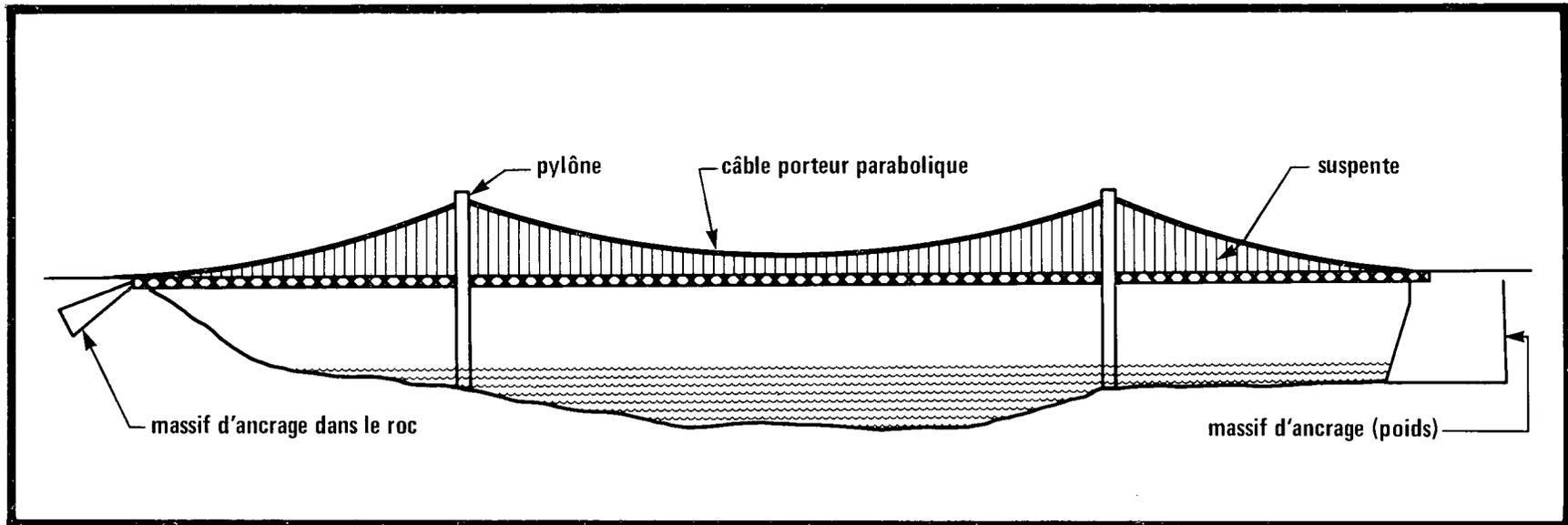


FIGURE 7 – PONT SUSPENDU À CÂBLES PARABOLIQUES

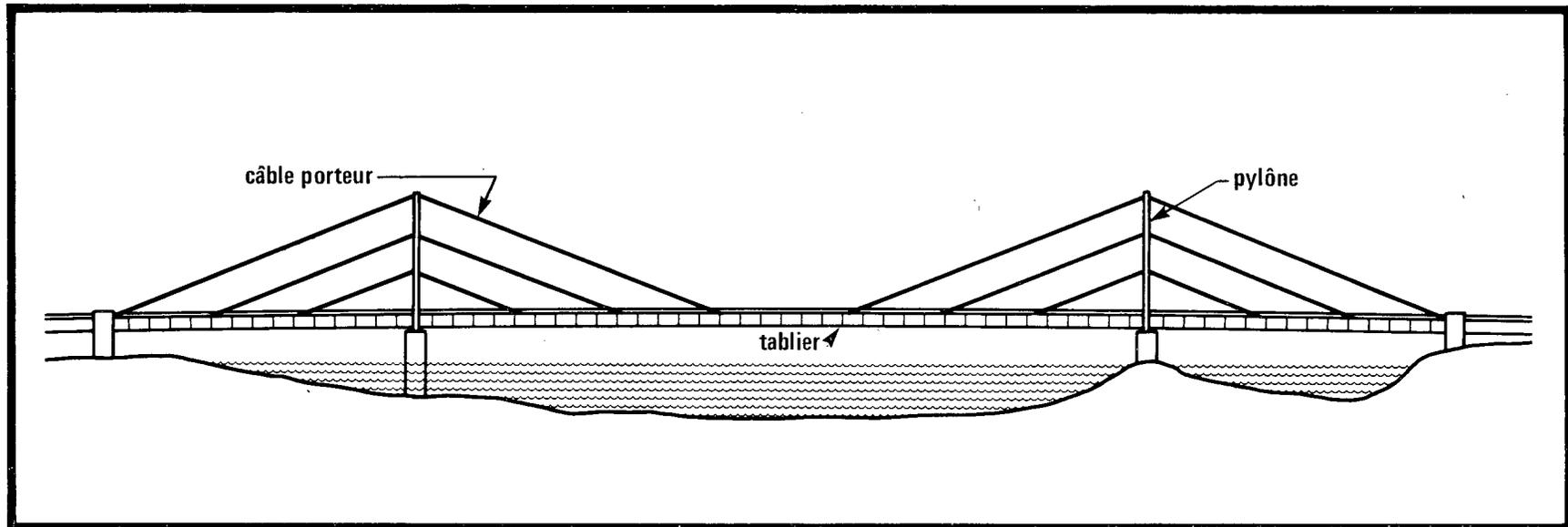


FIGURE 8 – PONT SUSPENDU À HAUBANS

Cette norme comprend deux grades d'acier, A et B, et porte sur les tôles fortes, les profilés et les barres en acier pour charpentes soudées, rivetées ou boulonnées de ponts ou autres constructions auxquelles on veut conférer une résistance supérieure au choc.

Le grade A s'utilise pour la tôle de 1 1/2 pouce maximum.

Le grade B s'utilise en épaisseur allant jusqu'à 4 pouces; cependant, s'il est utilisé pour de l'acier de moins de 1 1/2 pouce d'épaisseur, les propriétés de résistance au choc sont davantage améliorées.

**CSA G40.11** "Aciers de construction à haute résistance, faiblement alliés et à l'épreuve de la corrosion atmosphérique".

Ces aciers faiblement alliés et de résistance élevée, sont produits en deux catégories distinctes: grade A et grade B. Ils s'utilisent pour charpentes soudées, boulonnées ou rivetées dans les cas où la résistance à la corrosion et la réduction du poids de la charpente revêtent une importance particulière. Ces aciers ont une composition chimique qui leur procure une certaine résistance à la corrosion, permettant ainsi de les utiliser sans peinture ou enduit protecteur, en atmosphère rural et en milieu industriel normal.

Le grade A ne s'emploie que pour l'acier d'au plus 1/2 pouce d'épaisseur, alors que le grade B s'emploie pour toute épaisseur allant jusqu'à 4 pouces maximum.

Le grade A est en premier lieu conçu pour donner une bonne résistance à la corrosion atmosphérique, alors que le grade B permet d'obtenir en plus une résistance au choc comparable à celle du grade B de l'acier CSA G40.8.

**CSA G40.12** "Acier d'usage général en construction"

Cette norme comprend deux grades d'acier, définis par les lettres A et B, et elle concerne les tôles fortes, les profilés et les barres pour construction soudées ou boulonnées.

Les caractéristiques du grade A permettent la fabrication de produits jusqu'à 1 1/2 pouce d'épaisseur, alors que le grade B permet d'atteindre des épaisseurs allant jusqu'à 4 pouces.

De plus, pour des matériaux de moins de 1 1/2 pouce d'épaisseur, les caractéristiques chimiques du grade B améliorent sensiblement la résistance au choc.

**ASTM A440** "Acier à résistance élevée destiné aux charpentes"

Cette norme porte sur les profilés et barres en acier de construction à résistance élevée, destinés principalement à la construction de ponts et immeubles boulonnés ou rivetés, et utilisés lorsque la réduction du poids de la structure est particulièrement importante. La résistance de cet acier à la corrosion atmosphérique est approximativement le double de celle de l'acier au carbone pour charpentes. L'application de cette norme est limitée aux matériaux de 4 pouces d'épaisseur ou moins.

**ASTM A441** "Acier à résistance élevée faiblement allié, au vanadium et au manganèse, destiné aux charpentes"

Cette norme porte sur les profilés, tôles fortes et barres en acier de construction à résistance élevée et faiblement allié, destinés aux charpentes soudées, rivetées ou boulonnées, mais principalement aux charpentes soudées de ponts et d'immeubles, dans les cas où la réduction de poids ou la durabilité ont une importance particulière. La résistance à la corrosion atmosphérique de cet acier est approximativement le double de celle de l'acier au carbone pour charpentes. L'application de cette norme convient aux matériaux de 8 pouces d'épaisseur ou moins.

**ASTM A242** "Acier faiblement allié, à résistance élevée et destiné aux charpentes"

Cette norme porte sur les profilés, tôles fortes et barres en acier faiblement allié à résistance élevée, conçus pour les charpentes rivetées, soudées ou boulonnées, et destinés principalement à servir de membrures dans les cas où la réduction de poids ou la durabilité ont une importance particulière.

Ces aciers offrent une résistance accrue à la corrosion atmosphérique qui est au moins égale au double de celle que présentent les aciers au carbone contenant du cuivre. L'application de cette norme est limitée aux matériaux de 4 pouces d'épaisseur ou moins.

## **2.02 CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES ET MÉCANIQUES DES PRINCIPAUX ACIERS DE CONSTRUCTION**

Les compositions chimiques du tableau I correspondent aux analyses à la coulée. On doit noter que les limites d'acceptabilité peuvent varier légèrement lorsque les essais sont faits sur les produits finis.

Les propriétés mécaniques du tableau II sont valables pour les aciers produits en barres et en tôles fortes de toute épaisseur. Les valeurs de ces propriétés peuvent dans certains cas être légèrement différentes pour les profilés et les barres de diverses formes.

## **2.03 NOUVELLE NOMENCLATURE DES ACIERS DE CONSTRUCTION**

L'Association Canadienne de Normalisation, mieux connue sous le sigle de CSA, a émis récemment une norme portant le numéro CSA G40.21 qui comprend tous les aciers de construction usuels. Les aciers sont classés en progression géométrique selon leur limite d'élasticité, et suivant un type donné déterminant leur usage. On arrive ainsi à présenter en un seul tableau 21 classes d'acier correspondant à six types différents et dont la valeur de la limite d'élasticité peut varier de 33,000 à 100,000 livres au pouce carré.

**Le type G** correspond à des aciers servant pour la construction en général. Ces aciers répondent à des exigences minimales en tension; cependant le contrôle de leur composition chimique ne permet pas qu'on puisse les souder de façon satisfaisante dans des conditions ordinaires de chantier. Ils sont d'abord conçus pour des constructions boulonnées ou pour des pièces soudées en usine sous des conditions bien contrôlées.

**Le type W** implique des aciers conçus pour être soudés. Ces aciers répondent à des exigences minimales en tension, et conviennent aux constructions soudées dans lesquelles

TABLEAU I – COMPOSITION CHIMIQUE DES PRINCIPAUX ACIERS DE CONSTRUCTION

NORMES	C	Mn	P	S	Si	Cu	N	V	Cr	Ni
ASTM A36										
Jusqu'à 3/4"	.25 max.	—	.04 max.	.05 max.	—	* .20 min.	—	—	—	—
de 3/4" à 1 1/2"	.25 max.	.80 – 1.20	.04 max.	.05 max.	—	* .20 min.	—	—	—	—
de 1 1/2" à 2 1/2"	.26 max.	.80 – 1.20	.04 max.	.05 max.	.15 – .30	* .20 min.	—	—	—	—
de 2 1/2" à 4"	.27 max.	.85 – 1.20	.04 max.	.05 max.	.15 – .30	* .20 min.	—	—	—	—
plus de 4"	.29 max.	.85 – 1.20*	.04 max.	.05 max.	.15 – .30	* .20 min.	—	—	—	—
CSA G40.8										
grade A	.21 max.	.85 – 1.50	.030 max.	.045 max.	.35 max.	—	.008 max.	—	—	—
grade B	.19 max.	.85 – 1.50	.030 max.	.045 max.	.15 – .35	—	.008 max.	—	—	—
CSA G40.11										
grade A	.16 max.	.75 max.	.05 – .16	.05 max.	.15 – .75	.25 – .60	—	—	.30 – 1.25	.30 – .90
grade B	.20 max.	.75 – 1.35	.04 max.	.05 max.	.15 – .30	.20 – .60	—	.01 – .10	.70 max.	.90 max.
CSA G40.12										
grade A jusqu'à 7/8"	.22 max.	1.50 max.	.04 max.	.05 max.	.30 max.	—	—	—	—	—
grade A plus de 7/8"	.22 max.	1.50 max.	.04 max.	.05 max.	.15 – .30	—	—	—	—	—
grade B	.22 max.	1.50 max.	.04 max.	.05 max.	.15 – .30	—	—	—	—	—
ASTM A440	.28 max.	1.10 – 1.60	.04 max.	.05 max.	.30 max.	.20 min.	—	—	—	—
ASTM A441	.22 max.	.85 – 1.25	.04 max.	.05 max.	.30 max.	.20 min.	—	.02 min.	—	—
ASTM A242										
Type 1	.15 max.	1.00 max.	.15 max.	.05 max.	—	.20 min.	—	—	—	—
Type 2	.20 max.	1.35 max.	.04 max.	.05 max.	—	.20 min.	—	—	—	—

\* si spécifié

TABLEAU II – PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES PRINCIPAUX ACIERS DE CONSTRUCTION

NORMES	RUPTURE lb/po.ca.	LIMITE D'ÉLASTICITÉ lb/po.ca.	ALLONGEMENT 8" %	ALLONGEMENT 2" %
ASTM A36	58,000 à 80,000	36,000 min.	20 min.	23 min.
CSA G40.8				
jusqu'à 5/8"	65,000 à 85,000	40,000 min.	20 min.	—
5/8" à 1"	65,000 à 85,000	38,000 min.	20 min.	23 min.
1" à 1 1/2"	65,000 à 85,000	36,000 min.	20 min.	23 min.
1 1/2" à 4" (grade B seulement)	65,000 à 85,000	36,000 min.	18 min.	23 min.
CSA G40.11				
grades A et B	70,000 à 95,000	50,000 min.	19 min.	21 min.
CSA G40.12				
jusqu'à 1 1/2"	65,000 min.	44,000 min.	20 min.	—
1 1/2" à 2 1/2"	65,000 min.	40,000 min.	18 min.	23 min.
2 1/2" à 4"	65,000 min.	36,000 min.	18 min.	23 min.
ASTM A440				
jusqu'à 3/4"	70,000 min.	50,000 min.	18 min.	—
3/4" à 1 1/2"	67,000 min.	46,000 min.	18 min.	21 min.
1 1/2" à 4"	63,000 min.	42,000 min.	18 min.	21 min.
ASTM A441				
jusqu'à 3/4"	70,000 min.	50,000 min.	18 min.	—
3/4" à 1 1/2"	67,000 min.	46,000 min.	18 min.	21 min.
1 1/2" à 4"	63,000 min.	42,000 min.	18 min.	21 min.
4" à 8"	60,000 min.	40,000 min.	—	21 min.
ASTM A242				
jusqu'à 3/4"	70,000 min.	50,000 min.	18 min.	—
3/4" à 1 1/2"	67,000 min.	46,000 min.	18 min.	21 min.
1 1/2" à 4"	63,000 min.	42,000 min.	18 min.	21 min.

la résistance au choc à basse température n'est pas une considération majeure. Ces aciers peuvent servir dans la construction d'édifices, pour membrures de ponts en compression etc...

**Le type T** correspond à des aciers soudables pour emploi à basse température. Ces aciers répondent à des exigences minimales en tension et sont conçus pour des constructions soudées où l'on désire obtenir une plus grande résistance au choc à basse température. On peut citer comme application possible les membrures de ponts soumises à des contraintes de tension.

**Le type R** comprend des aciers résistants à la corrosion atmosphérique. Ces aciers ont une résistance à la corrosion atmosphérique qui est environ quatre fois supérieure à celle des aciers au carbone ordinaires. Ces aciers peuvent être soudés facilement dans l'intervalle d'épaisseur prévue par la norme. Parmi leurs divers emplois possibles, on peut mentionner les toitures à l'état non peint, les pans de mur, et diverses membrures légères, où la résistance au choc à basse température n'est pas une considération importante.

**Le type A** comprend des aciers de structure résistants à la corrosion atmosphérique avec propriétés améliorées à basse température. Ces aciers ont une résistance à la corrosion atmosphérique d'environ quatre fois celle des aciers au carbone ordinaires. Ils peuvent être facilement soudés suivant les conditions normales et possèdent une grande résistance au choc à basse température. Ils peuvent être utilisés pour les ponts et autres domaines critiques à **l'état non peint**.

**Le type Q** correspond à un acier faiblement allié fabriqué en tôles fortes à l'état trempé et revenu. Cet acier possède une résistance en traction très élevée à la limite d'élasticité, de même qu'une bonne résistance au choc. Il convient tout spécialement aux ponts ou autres structures semblables. Même si cet acier peut être facilement soudé, le soudage et les techniques de fabrication, qui sont d'importance fondamentale, ne doivent pas aller à l'encontre des propriétés du métal, spécialement dans les zones affectées par la chaleur.

Le tableau III permet d'établir les correspondances entre les spécifications actuelles soit de la "Canadian Standard Association" ou de "l'American Society for Testing and Materials" et la nouvelle spécification CSA G40.21.

On peut noter à titre d'exemple que dans la nouvelle spécification le grade 38W est un acier dont la limite d'élasticité est de 38,000 livres au pouce carré et dont les qualités de soudabilité et de résistance au choc sont spécifiées par **le type W**. Ce même acier a les caractéristiques des aciers CSA G40.8A et ASTM A36.

## **2.04 CONDITIONS PRÉALABLES DU MÉTAL DE BASE**

Les tôles fortes destinées à la fabrication de poutres doivent être lisses et avoir une surface uniforme et exempte de fissures, de déchirures ou d'autres défauts qui nuiraient à la qualité et à la résistance de la soudure. Les parties directement en contact avec le métal d'apport doivent être exemptes d'écailles épaisses, de scories, de rouille, d'humidité, de graisse ou d'autres substances étrangères qui empêcheraient un soudage approprié ou produiraient des fumées nuisibles. On doit en particulier voir à ce que toute calamine fine et résistante et toute substance adhérente en général soient enlevées à la ligne de soudage âme-semelle.

## **2.05 DÉCOUPAGE DES PIÈCES**

Les tôles de faibles dimensions et d'épaisseur restreinte en particulier peuvent être découpées par cisailage. Les tôles fortes et de grandes dimensions sont découpées au moyen du chalumeau. Les surfaces ainsi découpées ne doivent pas présenter un indice de rugosité supérieur à 1,000 micro-pouces selon la norme canadienne CSA B95 "Surface Texture".

En outre, spécialement en ce qui concerne les tôles fortes, il est de la plus haute importance de s'assurer du bon angle de découpage des pièces afin de pouvoir obtenir les espaces et les angles spécifiés aux plans pour le soudage.

## **2.06 RÉPARATION DES DÉFAUTS**

TABLEAU III – COMPARAISON ENTRE LES NORMES ACTUELLES ET LA NOUVELLE NORME CSA G40.21

QUALITÉ	LIMITE D'ÉLASTICITÉ (1,000 lb/ po.ca.)								
	33	38	42	44	50	55	60	70	100
G	G 40.4 G 40.5 D A 36 A 283 D				G 40.14		G 40.14		
W	G 40.4	G 40.8 A A 36	G 40.17 gr. 42 A 500 B	G 40.12 A A 572 gr. 45	G 40.16 gr. 50 G 40.17 gr. 50 A 572 gr. 50	G 40.16 gr. 55 G 40.17 gr. 55	A 572 gr. 60	A 572 gr. 70	
T		G 40.8 B A 36 KFG*		G 40.12 B A 572 gr. 45 KFG*	A 572 gr. 50 KFG*		A 572 gr. 60 KFG*	A 572 gr. 70 KFG*	
R					G 40.11 A A 242 type A				
A					G 40.11 B A 588				
Q									G 40.18 A 514

\*KFG : acier calmé et à grain fin.

Lors du découpage des tôles fortes, certains défauts provenant de soufflures et d'inclusions de toute sorte apparaissent sous formes de fissures ou de discontinuités. S'il se présente des discontinuités dont la longueur est supérieure à un pouce, on doit vérifier leur profondeur à l'aide de l'appareil à ultrasons ou par sondage mécanique. Si cette profondeur est supérieure à 1/4 de pouce, on doit alors buriner, meuler ou fondre l'endroit défectueux et corriger par soudage en utilisant une baguette de soudure appropriée aux caractéristiques du métal.

Par ailleurs, si l'appareil à ultrasons révèle des discontinuités supérieures à 1 pouce et situées à moins d'un pouce du bord de la pièce à souder, on doit procéder à la réparation de ces défauts à la façon décrite plus haut pour les défauts visibles à l'oeil nu.

On ne peut tolérer cependant que les défauts représentent plus de 4% de la surface de la tôle et que l'ensemble des discontinuités à réparer ne soit supérieur à 20% de la longueur découpée.

## **2.07 LE SOUDAGE**

Le soudage est une opération qui permet de joindre ensemble différentes pièces de métal. Il existe quelques quarante procédés de soudage qui ont chacun leurs applications particulières. Les structures métalliques pour leur part font un usage quasi exclusif des procédés de soudage à l'arc électrique. Ceux-ci seront donc étudiés ici en plus amples détails.

Disons d'abord que les conditions qui permettent de réaliser une soudure à l'arc électrique sont en premier lieu l'arc électrique lui-même en tant que source de chaleur et le métal d'apport qui permet de joindre les pièces à souder.

La composition chimique du métal d'apport doit s'apparenter à celle des pièces à souder, ou lui être supérieure. En particulier, si le métal à souder est un acier à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique, on doit s'assurer que le métal d'apport comporte une teneur en cuivre semblable à celle du métal de base. Toutefois, les caractéristiques spéciales

de résistance à la corrosion atmosphérique du métal d'apport ne sont pas obligatoires pour le soudage en une seule couche et pour les couches inférieures d'un soudage en couches multiples.

Une composition chimique appropriée du métal d'apport doit également permettre d'obtenir un joint dont les propriétés mécaniques sont égales sinon supérieures à celles du métal de base. Les propriétés mécaniques habituellement considérées sont la résistance en traction, la limite d'élasticité, la ductilité, et, si spécifiée, la résistance au choc à basse température.

## **2.08 PROCÉDÉ DE SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODE ENROBÉE** (fig. 10)

Le procédé de soudage à l'arc avec électrode enrobée est un procédé manuel. Suivant le type d'électrodes utilisées, il permet d'effectuer des soudures en toute position. Pour ce faire, cependant, il requiert de la part de l'opérateur une certification du "Bureau Canadien de la Soudure" l'autorisant à un tel travail. L'examen donne droit aux certifications suivantes (fig. 9):

**Classe "O"**: habileté à souder en position à plat, à l'horizontale, à la verticale et au plafond.

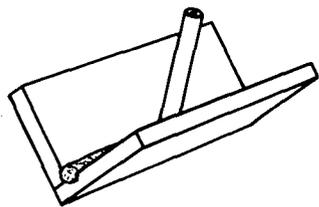
**Classe "V"**: habileté à souder en position à plat, à l'horizontale et à la verticale.

**Classe "F"**: habileté à souder en position à plat et en position horizontale.

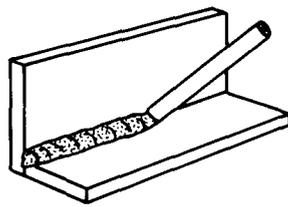
## **CHOIX DES ÉLECTRODES**

On peut dire qu'il existe une composition d'électrode correspondant à chaque cas particulier d'utilisation. Le choix des électrodes dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont les dimensions de la section à souder, la position du soudage, les propriétés désirées du métal d'apport, telles que: sa résistance à la traction, sa ductilité et sa résistance à la corrosion.

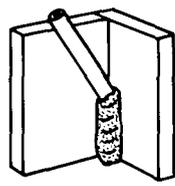
### **Classification AWS des électrodes enrobées**



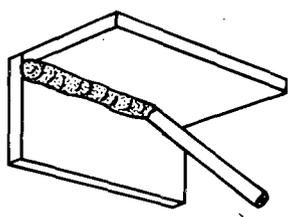
à plat



horizontale

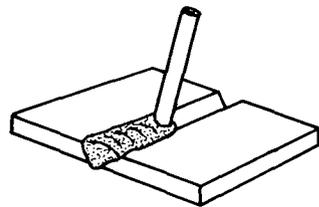


verticale

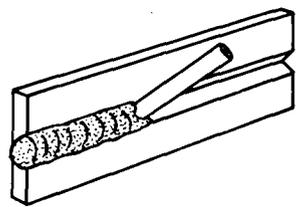


au plafond

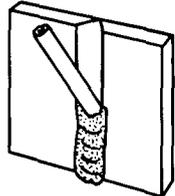
SOUDES EN CORDON



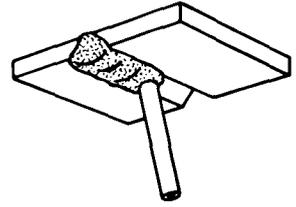
à plat



horizontale



verticale



au plafond

SOUDEURE D'ABOUTEMENT

FIGURE 9 – POSITIONS DE SOUDAGE

Les électrodes enrobées pour le soudage à l'arc se divisent en deux catégories: les électrodes pour le soudage des aciers au carbone ordinaires et les électrodes pour le soudage des aciers alliés.

### **a) Électrodes pour soudage d'aciers au carbone ordinaire**

On identifie ces électrodes au moyen de la lettre E suivie de 4 ou 5 chiffres.

Exemple: E7018

- La lettre E tient lieu du mot électrode.
- Les deux premiers chiffres s'il y a 4 chiffres ou les trois premiers chiffres s'il y a 5 chiffres, indiquent la résistance en traction en 1,000 lbs/po. car. du métal d'apport.
- L'avant-dernier chiffre indique les positions de soudage de l'électrode: le chiffre 1 indique une électrode toute position, et le chiffre 2 indique que l'électrode en question ne peut être utilisée que pour les positions à plat et à l'horizontale.
- Le dernier chiffre indique la composition de l'enrobage de l'électrode et le courant électrique à utiliser. La signification de ce dernier chiffre du code apparaît au tableau IV.

Ainsi dans l'exemple cité plus haut, l'électrode E7018 possède les caractéristiques suivantes:

E : électrode enrobée pour le soudage à l'arc

70: 70,000 lbs/po. car. de résistance en traction

1 : utilisation en toute position

8 : avec courant alternatif ou courant continu en polarité inversée.

### **Choix du courant**

On doit noter que le choix du courant dépend du travail à accomplir et des possibilités de l'appareil de soudage.

TABLEAU IV – ENROBAGES DES ÉLECTRODES ET PARTICULARITÉS DU COURANT UTILISÉ

DERNIER CHIFFRE DE LA CLASSIFICATION	SUBSTANCES PRINCIPALES D'ENROBAGE	COURANT
0	cellulose, sodium	courant continu et polarité inversée (lorsque le chiffre précédent est 1)
0	oxyde de fer	courant alternatif ou courant continu (lorsque le chiffre précédent est 2)
1	cellulose, potassium	courant alternatif ou courant continu et polarité inversée.
2	titane, sodium	courant alternatif ou courant continu et polarité normale
3	titane, potassium	courant alternatif ou courant continu et polarité normale ou inversée
4	poudre de fer, titane	courant alternatif ou courant continu et polarité normale ou inversée
5	sodium, basse teneur hydrogène	courant continu et polarité inversée
6	potassium, basse teneur hydrogène	courant alternatif ou courant continu et polarité inversée
7	poudre de fer, oxyde de fer	courant alternatif ou courant continu et polarité normale ou inversée
8	poudre de fer, basse teneur hydrogène	courant alternatif ou courant continu et polarité inversée

polarité normale → électrode au pôle négatif  
polarité inversée → électrode au pôle positif

Toutes les électrodes peuvent être utilisées avec le courant continu. Le courant continu donne de meilleurs résultats pour de faibles intensités de courant et avec des électrodes de faible diamètres. Pour le soudage en position verticale et au plafond, le courant continu utilisé avec les électrodes appropriées donne des résultats supérieurs à ce que peut donner le courant alternatif. Les électrodes utilisées en polarité normale, c'est-à-dire au pôle négatif, donnent une pénétration moindre que les mêmes électrodes utilisées en polarité inversée, c'est-à-dire électrode au pôle positif.

Le courant alternatif est surtout préféré pour le soudage de grosses pièces alors que le débit de courant est intense. On l'utilise pour le soudage à plat. La pénétration du métal d'apport avec le courant alternatif est supérieure à la pénétration avec courant continu en polarité normale, mais elle est moindre que la pénétration en polarité inversée.

### **b) Électrodes pour soudage d'aciers alliés**

L'identification de ces électrodes comporte également la lettre E suivie de 4 ou 5 chiffres. En outre, on y ajoute un tiret, une lettre, un chiffre et possiblement une autre lettre.

Exemple: E10016-D2, E9018-B3L

- La partie à gauche du tiret correspond au code déjà étudié concernant les électrodes pour soudage d'aciers au carbone ordinaires. Les caractéristiques et les prescriptions déjà vues s'appliquent également aux électrodes pour soudage d'aciers alliés.
- Le tiret n'a d'autre but que d'assurer une distinction plus nette entre les deux catégories d'électrodes.
- La lettre qui suit immédiatement le tiret indique les éléments d'alliage inclus dans l'enrobage des électrodes. Les alliages carbone/molybdène sont identifiés par "A", les alliages chrome/molybdène par "B", les alliages acier/nickel par "C", les alliages manganèse/molybdène par "D" et les autres alliages par "G".
- Quant au chiffre qui suit immédiatement les lettres A, B, C et D, il indique la composition

de l'alliage ainsi que le démontre la liste mentionnée ci-dessous:

**1) Alliages au carbone/molybdène:** pour acier laminé à froid

A1 (1/2% molybdène)

**2) Alliages chrome/molybdène:** pour acier soumis à haute température et pression élevée.

B1 (1/2% chrome, 1/2% molybdène);

B2 (1 1/4% chrome, 1/2% molybdène);

B3 (2% chrome, 1% molybdène);

B4 (2 1/4% chrome, 1/2% molybdène).

**3) Alliages acier/nickel:** pour acier soumis au choc à basse température.

C1 (2 1/2% nickel);

C2 (3 1/2% nickel);

C3 (1% nickel).

**4) Alliages manganèse/molybdène:** pour pièces coulées en acier au molybdène.

D1 (1 1/2% manganèse, 1/4% molybdène);

D2 (1 3/4% manganèse, 1/4% molybdène).

**Alliages de la catégorie "G".**

On peut mentionner ici l'électrode E8018-G utilisée spécialement pour le soudage des aciers résistant à la corrosion atmosphérique.

— L'identification des électrodes pour aciers alliés, à l'exception de celles du groupe "G" peut comporter un "L" à la toute fin du code. La lettre "L" signifie alors que le métal dont est constitué l'électrode possède une faible teneur en carbone, ne dépassant pas 0.05%.

**Exemple d'identification des électrodes pour aciers alliés**

Soit l'électrode E9018-B3L

- E : électrode enrobée pour le soudage à l'arc
- 90: 90,000 lbs/po. car. de résistance à la traction
- 1 : utilisation en toute position
- 8 : avec courant alternatif ou courant continu en polarité inversée.
- B3: enrobage contenant 2% chrome et 1% de molybdène
- L : centre métallique de l'électrode à faible teneur de carbone, soit .05 maximum.

### **Conditionnement des électrodes conventionnelles**

Les électrodes E6010 ont un degré d'humidité normal de 3% à 5%, les électrodes E6011 de 2% à 4% alors que les électrodes E6012, E6013 et E6020 ne doivent pas avoir une humidité supérieure à 1%. Pour une opération satisfaisante, ces électrodes peuvent être maintenues dans un four à 100 degrés Fahrenheit. Si un séchage est nécessaire, on doit les porter à une température comprise entre 250 et 300 degrés Fahrenheit pendant une heure. Il faut toutefois éviter d'abaisser le degré d'humidité en bas de l'humidité normale, ce qui pourrait affecter le procédé de soudage et causer de la porosité.

### **Conditionnement des électrodes à basse teneur d'hydrogène**

Les électrodes à basse teneur d'hydrogène doivent toujours avoir un degré **d'humidité inférieur à 0.3%**. Elles doivent être achetées dans des contenants hermétiquement scellés.

Chaque contenant ne doit être ouvert que pour utilisation immédiate des électrodes. Une fois le contenant ouvert, les électrodes doivent être gardées dans un four de séchage à une température de 250 degrés Fahrenheit pour éviter toute absorption d'humidité.

Il est à noter que les électrodes E60XX et E70XX ne doivent pas séjourner plus de quatre heures à l'air libre; de même en est-il des électrodes E80XX qui ne doivent pas séjourner plus de deux heures, les électrodes E90XX plus d'une heure et les électrodes E100XX et E110XX plus d'une demi-heure.

Si les boîtes d'électrodes ne sont pas hermétiquement scellées ou si un séchage est

nécessaire, en raison d'une exposition prolongée des électrodes à l'air libre, il faut alors procéder comme suit:

Les électrodes E60XX et E70XX doivent être portées au four de séchage à une température comprise entre 450 et 500 degrés Fahrenheit pour au moins deux heures.

Les électrodes E80XX, E90XX, E100XX et E110XX doivent séjourner pendant au moins une heure dans un four de séchage à une température de 700 à 800 degrés Fahrenheit.

Après ce séchage à haute température, les électrodes doivent être conservées dans un four à une température d'au moins 250 degrés Fahrenheit, jusqu'au moment de leur utilisation.

### **Électrodes mouillées**

Dans les conditions ordinaires de chantier, les électrodes qui ont été mouillées ou qui ont trempé dans l'eau, sont irrécupérables et doivent être mises au rebut.

## **2.09 SOUDAGE À L'ARC SUBMERGÉ (figure 11)**

Ce procédé de soudage comporte un distributeur automatique du métal d'apport en fil constituant l'électrode. L'oxydation du métal fondu lors du passage de l'arc est prévenu par un fondant granulaire. Le soudage à l'arc submergé est un procédé semi-automatique ou complètement automatique. Il s'applique surtout aux pièces de grandes dimensions en position à plat ou horizontale.

### **Conditions du fondant**

Le fondant utilisé pour le soudage à l'arc submergé doit être sec et libre de toute substance contaminante. Si l'on découvre que le fondant contient quelque humidité, avant de l'utiliser, on doit le faire sécher au four à une température de 250 degrés Fahrenheit pendant au moins une heure. Un fondant mouillé ne doit jamais être utilisé, non plus que le fondant qui est déjà entré en fusion lors d'une précédente opération de soudage.

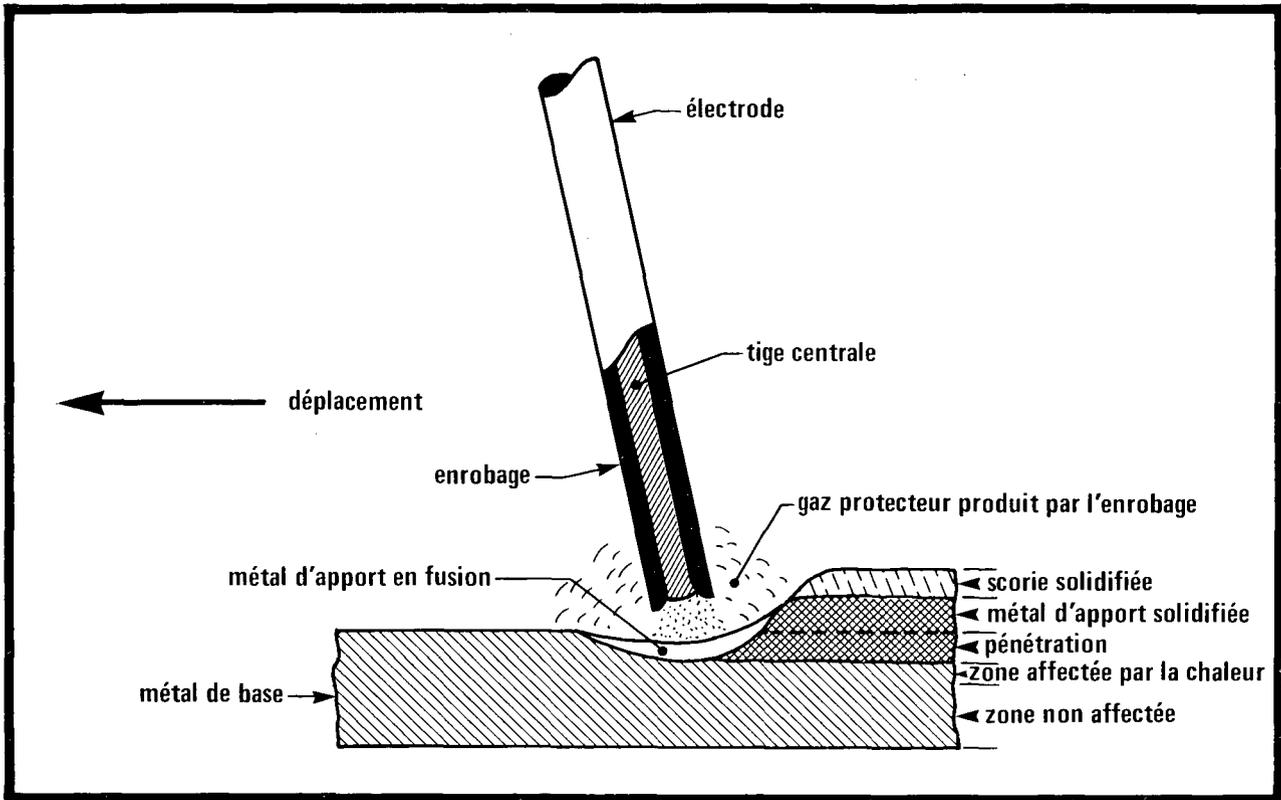


FIGURE 10 – SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODE ENROBÉE

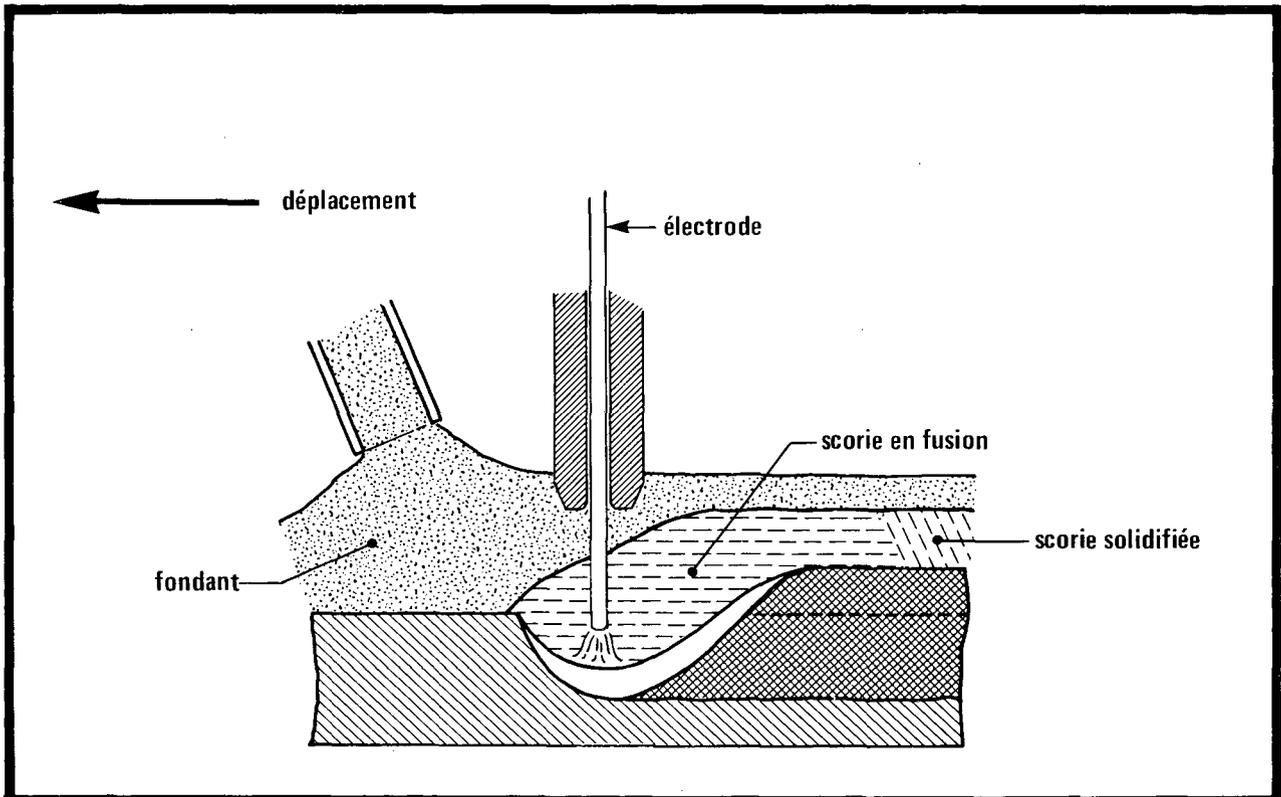


FIGURE 11 – SOUDAGE À L'ARC SUBMERGÉ

### **Propriétés des électrodes à arc submergé**

Les électrodes pour le soudage à l'arc submergé doivent avoir des propriétés chimiques et mécaniques comparables à celles des électrodes enrobées décrites au chapitre précédent. Il faut en particulier que le procédé de soudage avec ces électrodes permette la déposition d'un métal d'apport dont les propriétés mécaniques correspondent à celles décrites au tableau V.

## **2.10 SOUDAGE À L'ARC SOUS ATMOSPHÈRE GAZEUSE** (figure 12)

Ce procédé est automatique ou semi-automatique, puisque l'appareil comporte un distributeur automatique du métal d'apport en fil constituant l'électrode. Un gaz inerte, tel que: argon, gaz carbonique, mélange à l'hélium, protège le métal fondu de l'oxydation, d'où le nom de procédé "MIG": "metal inert gas".

Le procédé convient bien pour le soudage de feuilles minces; il peut être utilisé pour des feuilles aussi minces que .020", mais il n'est pas recommandable pour des tôles de plus de 1/2 pouce d'épaisseur. Il peut s'utiliser en diverses positions tout comme le procédé à arc enrobé. Il est particulièrement sensible aux courants d'air qui peuvent chasser les gaz prévenant l'oxydation du métal fondu. Il n'est donc pas conseillé d'utiliser ce procédé à l'extérieur. Par contre, il a certains avantages sur le procédé à arc enrobé: électrode continue ne demandant aucun temps d'arrêt pour changer d'électrode, aucune scorie à enlever entre les couches de soudure.

### **Propriétés du métal d'apport des électrodes**

Le métal d'apport de ces électrodes doit avoir une composition chimique et des propriétés mécaniques correspondant à celles des électrodes à arc enrobée.

## **2.11 SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODE FOURRÉE** (figure 13)

Ce procédé existe à l'état semi-automatique ou automatique. Tout comme le procédé à arc sous atmosphère gazeuse, il comporte un distributeur automatique de l'électrode de soudage. L'électrode tubulaire contient un fondant qui prévient l'oxydation du métal fondu lors

TABLEAU V – PROPRIÉTÉS DU MÉTAL D'APPORT DES ÉLECTRODES POUR SOUDAGE À ARC SUBMERGÉ

PROPRIÉTÉS	GRADE F80	GRADE F90	GRADE F100	GRADE F110
TRACTION À LA RUPTURE (lb/po.ca.) MINIMUM	80,000	90,000	100,000	110,000
LIMITE D'ÉLASTICITÉ (lb./po.ca.) MINIMUM	65,000	78,000	90,000	98,000
ALLONGEMENT EN 2 PO. (0/o) MINIMUM	18	17	16	15
RÉSILIENCE (lb. x pi.) MINIMUM à 0° F  (Essai Charpy, entaille en "V")	20	20	20	20

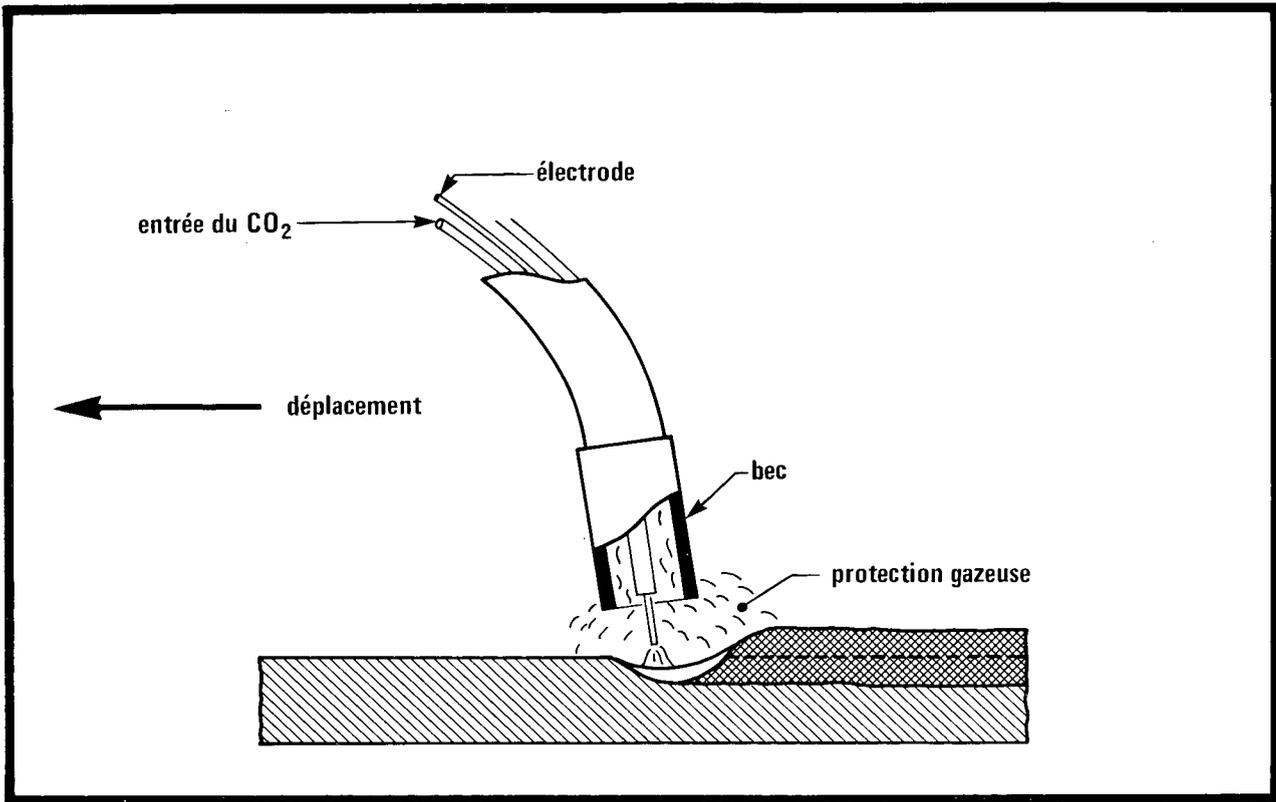


FIGURE 12 – SOUDAGE À L'ARC SOUS ATMOSPHÈRE GAZEUSE (PROCÉDÉ "MIG")

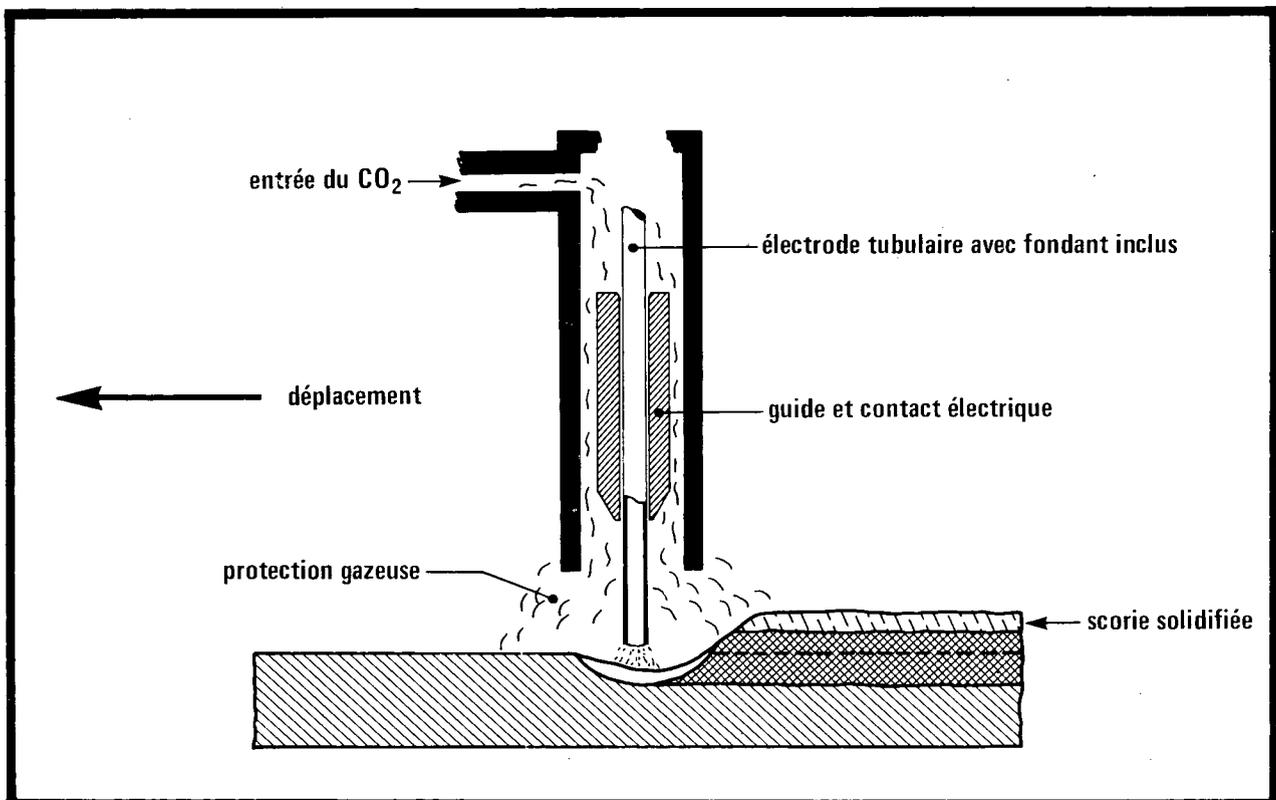


FIGURE 13 – SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODE FOURRÉE

du passage de l'arc électrique.

Le procédé peut s'utiliser avec ou sans gaz protecteur additionnel. Cependant, l'emploi d'un gaz protecteur améliore de beaucoup la qualité du soudage en favorisant davantage la pénétration du métal d'apport dans la pièce à souder.

### **Propriétés du métal d'apport des électrodes**

Le métal d'apport doit avoir une composition chimique et des propriétés mécaniques correspondant à celles des électrodes à arc enrobées.

## **2.12 PRÉCAUTIONS CONCERNANT LE SOUDAGE À L'ARC**

L'aspect technique assez complexe des divers procédés de soudage à l'arc ne doit pas nous faire oublier l'aspect sécuritaire du travail.

On doit voir de façon générale à ce que l'ensemble de l'équipement fonctionne selon les recommandations des manufacturiers.

La pièce où s'effectue le soudage doit être suffisamment ventilée pour éviter l'accumulation de gaz nocifs. Il faut en particulier porter des lunettes avec verres filtrants appropriés. Cette recommandation s'applique en premier lieu au soudeur, mais elle doit être également mise en pratique par le surveillant qui veut examiner de plus près le travail de l'arc électrique lors du soudage ou du coupage de l'acier.

S'il y a des doutes quant à l'aspect sécuritaire des procédés utilisés, on doit se référer à la norme W117 de l'Association Canadienne de Normalisation: "Code for Safety in Electric and Gas Welding and Cutting Operations".

## **2.13 MÉTAL À SOUDER ET CHOIX DU PROCÉDÉ** (tableau VI)

Le choix du procédé de soudage dépend pour une bonne part de la disponibilité du matériel de soudage, de la géométrie des pièces à souder et jusqu'à un certain point, de l'al-

liage à souder.

Cependant, quel que soit le procédé choisi, le but à atteindre reste le même. Les catégories d'électrodes correspondent d'un procédé à l'autre et permettent un soudage équivalent de chacun des métaux de base. Le tableau VI qui suit permet d'établir cette correspondance.

## **2.14 TEMPÉRATURE DE SOUDAGE**

On ne peut faire aucun soudage lorsque la température ambiante est inférieure à 0 degré Fahrenheit à moins de construire un abri approprié à l'exécution du travail.

Lorsque la température du métal est inférieure à 32 degrés Fahrenheit, il faut au préalable réchauffer les pièces de métal jusqu'à une température d'au moins 70 degrés Fahrenheit et les maintenir à cette température pendant toute l'opération de soudage.

Quand un préchauffage du métal de base est requis comme le suggère le tableau VII qui suit, la surface sur laquelle est déposée la soudure doit au moins atteindre la température prescrite sur une distance égale à l'épaisseur de la pièce à souder, mais cette distance ne doit en aucun cas être inférieure à 3 pouces de part et d'autre de la soudure.

Les températures prescrites au tableau VII sont des minima, mais on doit noter que les températures de préchauffage et de maintien lors du soudage ne doivent pas dépasser 400 degrés Fahrenheit. Pour le soudage d'acier trempé et revenu, on doit s'en tenir à la procédure recommandée par le fabricant.

## **2.15 SOUDAGE DES GOUJONS**

Les goujons tels que montrés à la figure 14 sont soudés à la semelle supérieure des poutres d'acier au moyen d'un équipement automatique pour servir de joints entre l'acier et le béton. Leurs dimensions doivent être spécifiées aux plans. Les propriétés mécaniques de l'acier de ces goujons doivent être comme suit:

TABLEAU VI – PROCÉDÉS DE SOUDAGE À L'ARC ÉLECTRIQUE

MÉTAL DE BASE	ÉLECTRODE ENROBÉE	ARC SUBMERGÉ	SOUS ATMOSPHÈRE GAZEUSE	ÉLECTRODE TUBULAIRE
G 40.4 A 36	AWS A5.1 ou A5.5 E60XX ou E70XX	AWS A5.17 F6X ou F7X-EXXX	AWS A5.18 E70S-X ou E70U-1	AWS 5.20 E60T-X ou E70T-X (excepté 2 et 3)
A 242. A441 G40.8 G40.12	AWS A5.1 ou A5.5 E70XX (basse teneur hydrogène)	AWS A5.17 F7X - EXXX	AWS A5.18 E70S-X ou E70U-1	AWS 5.20 E70T-X (excepté 2 et 3)
G40.8 G40.11 A572 gr. 65	AWS A5.5 E80XX (basse teneur hydrogène)	Grade F80	Grade E80S	Grade E80T
A514 G40.18	AWS A5.5 E110XX (basse teneur hydrogène)	Grade F110	Grade E110S	Grade E110T

TABLEAU VII – PRÉCHAUFFAGE MINIMUM ET TEMPÉRATURE DE MAINTIEN EN °F

ÉPAISSEUR (po.) DE LA PIÈCE LA PLUS ÉPAISSE AU POINT DE SOUDAGE.	SOUDAGE A L'ARC AVEC ÉLECTRODES ENROBÉES AUTRES QU'À BASSE TENEUR D'HYDROGÈNE.	SOUDAGE A L'ARC AVEC ÉLECTRODE ENROBÉES A BASSE TENEUR D'HYDROGÈNE. SOUDAGE À L'ARC SUBMERGÉ. SOUDAGE À L'ARC SOUS ATMOSPHERE GAZEUSE. SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODES TUBULAIRES.		SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODES ENROBÉES À BASSE TENEUR D'HYDROGÈNE. SOUDAGE À L'ARC SOUS ATMOSPHERE GAZEUSE. SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODES TUBULAIRES.	SOUDAGE À L'ARC SUBMERGÉ AVEC FONDANT CONTENANT DES ÉLÉMENTS D'ALLIAGE.
	ASTM:  A 36  CSA:  G40.4	ASTM: A36 A242 A441 A572 gr.42,45,50  CSA: G40.4 G40.8 G40.12	ASTM:  A572 gr.55,60,65	ASTM:  A514  CSA:  G40.18	ASTM:  A514  CSA:  G40.18
jusqu'à 3/4	70	70	70	70	70
3/4 à 1 1/2	150	70	150	125	200
1 1/2 à 2 1/2	225	150	225	175	300
plus de 2 1/2	300	225	300	225	400

Résistance à la traction: 60,000 lb/po. car. min.

Striction à la rupture: 50% min.

Allongement à la rupture: 20% min.

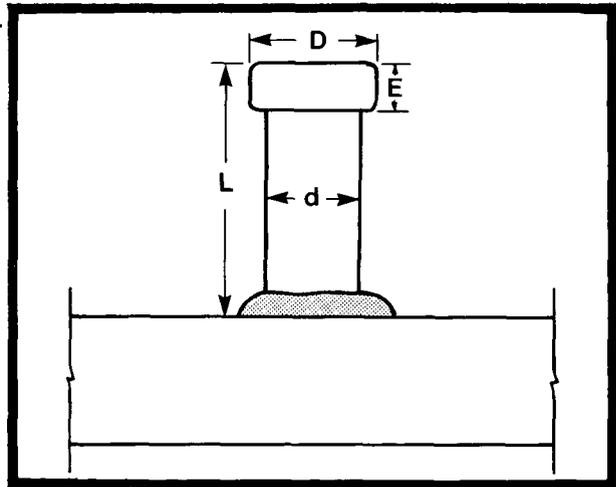


FIGURE 14 – SOUDAGE DES GOUJONS

### Vérification du procédé

On doit voir à ce que les goujons soient exempts de graisse, de rouille ou autres substances qui pourraient affecter le soudage.

Les surfaces où on doit souder les goujons doivent être sèches et nettoyées de toutes substances étrangères par brossage ou meulage.

Le soudage doit généralement s'effectuer à une température excédant 32 degrés Fahrenheit. Toutefois, on peut souder à une température inférieure à 32 degrés Fahrenheit, à condition d'accroître le taux des essais de pliage décrit ci-après.

Notons qu'on ne doit pas souder les goujons à une température inférieure à 0 degré Fahrenheit ou quand la surface du métal est mouillée, ou encore lorsqu'il pleut ou qu'il neige.

### Essais de pliage et examens visuels

Pour s'assurer d'un soudage adéquat, les deux premiers goujons sont pliés à 30 degrés avec un marteau après refroidissement complet du métal. Par la suite, on soumet au pliage au moins un goujon à tous les cents goujons.

De plus, si l'examen visuel révèle une faiblesse dans le cordon de soudure sur le pour-

tour de certains goujons, on doit leur faire subir l'essai de pliage suivant la position la plus désavantageuse, c'est-à-dire pliage du côté opposé au cordon défectueux.

Les goujons qui subissent un décollage ou qui montrent des fissures sont remplacés par de nouveaux goujons qui doivent, eux aussi, être soumis aux essais.

## 2.16 SYMBOLES DE SOUDAGE ET D'ESSAIS NON DESTRUCTIFS

Pour éviter les descriptions trop élaborées sur les plans, on utilise un certain nombre de symboles qui permettent de décrire les particularités de préparation des joints avant soudage.

Les figures 15 a, b, c, d, e et 16 a, b, c, d illustrent par étapes l'utilisation des symboles les plus couramment rencontrés dans le soudage des structures métalliques.

Les figures 17 a, b et c ont trait aux essais non destructifs. On les symbolise par les abréviations suivantes:

**R-X** : indique que le joint soudé doit être radiographié;

**U-S** : indique qu'il doit y avoir essai aux ultrasons;

**P-M** : indique qu'il doit y avoir essai au magnétoscope ou "particules magnétiques".

L'ampleur des essais non destructifs est indiquée en pourcentage sur la flèche; si l'essai est spécifié pour une longueur donnée, le flèche pointe le milieu de cette longueur et sa mesure apparaît à la suite du symbole de l'essai: exemple: P-M25 pi. signifie qu'il y a essai au magnétoscope sur une longueur de 25 pieds.

## 2.17 PÉNÉTRATION DE LA SOUDURE

Les pièces assemblées par soudage à l'arc présentent une pénétration du métal d'apport au point de jonction à des degrés divers. Cette pénétration n'est toutefois possible que s'il y a fusion superficielle du métal de base dans la zone de soudage.

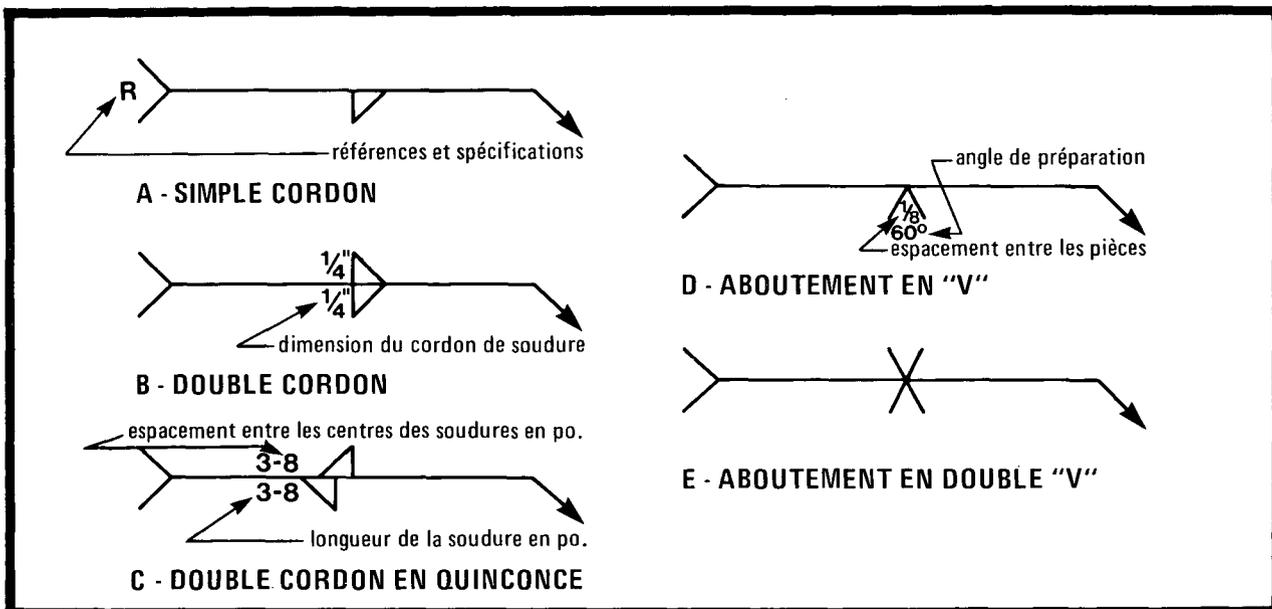


FIGURE 15- SYMBOLES DE SOUDAGE

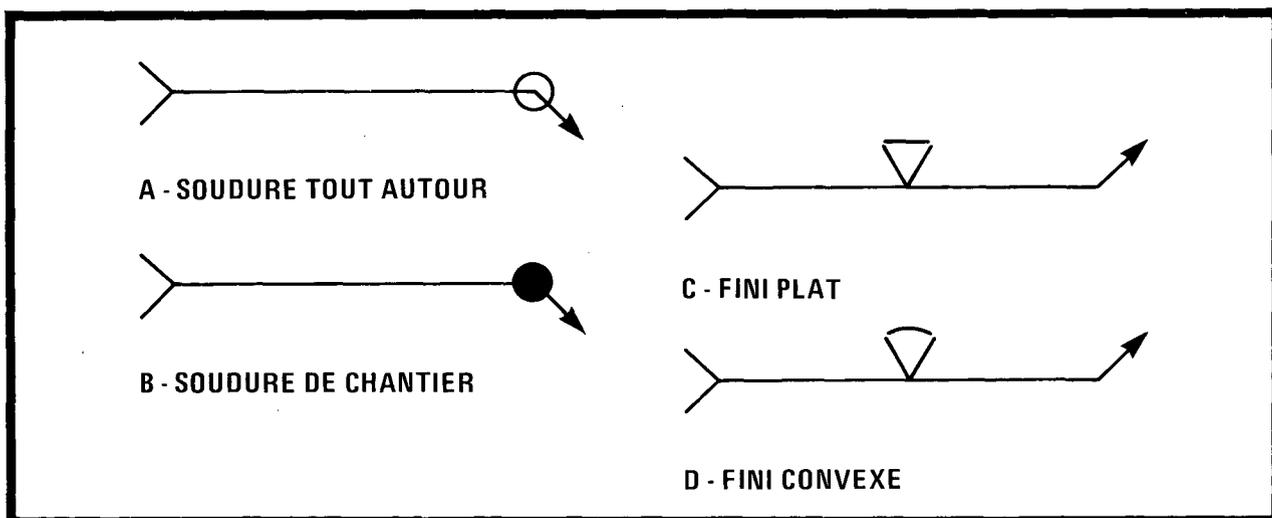


FIGURE 16 - LOCALISATION ET FINIS DE SOUDAGE

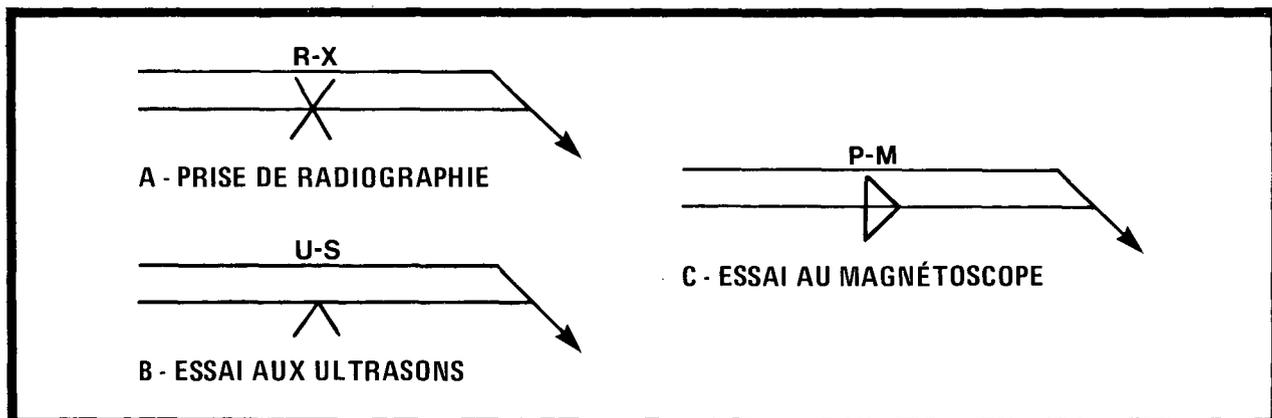


FIGURE 17 - SYMBOLES D'ESSAIS NON DESTRUCTIFS

Dans les conditions normales d'opération, si la préparation géométrique des sections mises en présence l'une de l'autre permet au métal d'apport de s'introduire complètement au point de jonction, nous obtenons une soudure à pénétration complète (figure 18).

Par contre, si les devis n'exigent pas une préparation géométrique qui permette au métal d'apport d'entrer complètement en contact avec le joint, nous obtenons une soudure à pénétration incomplète (figure 19).

## 2.18 PROFILS DES SOUDURES ET CORRECTIONS

L'examen visuel est à la base même du contrôle de la qualité des soudures. Les figures 20 et 21 qui suivent permettent d'établir les principaux défauts de profil en regard des profils de soudure acceptables.

Le contrôle de ces profils est en partie établi au moyen d'instruments de mesure d'allure plus ou moins compliquée, qui permettent de trouver les dimensions de la soudure, la gorge, la patte et la convexité.

Les défauts observés doivent être corrigés selon les méthodes suivantes:

**a)** S'il y a recouvrement ou excès de convexité, la correction s'obtient en enlevant l'excès de métal déposé.

**b)** S'il y a concavité excessive, dimensions insuffisantes de la soudure et caniveaux, on procède à un parfait nettoyage de la soudure et on fait suivre d'un dépôt adéquat.

Sont jugés tolérables, les caniveaux dont la profondeur maximale ne dépasse pas  $1/20$  de l'épaisseur de la tôle et dont le produit de la longueur par la profondeur ne dépasse pas l'épaisseur du métal. Les caniveaux adjacents sont considérés comme un seul caniveau si leur séparation est moindre que six fois la longueur du plus court caniveau.

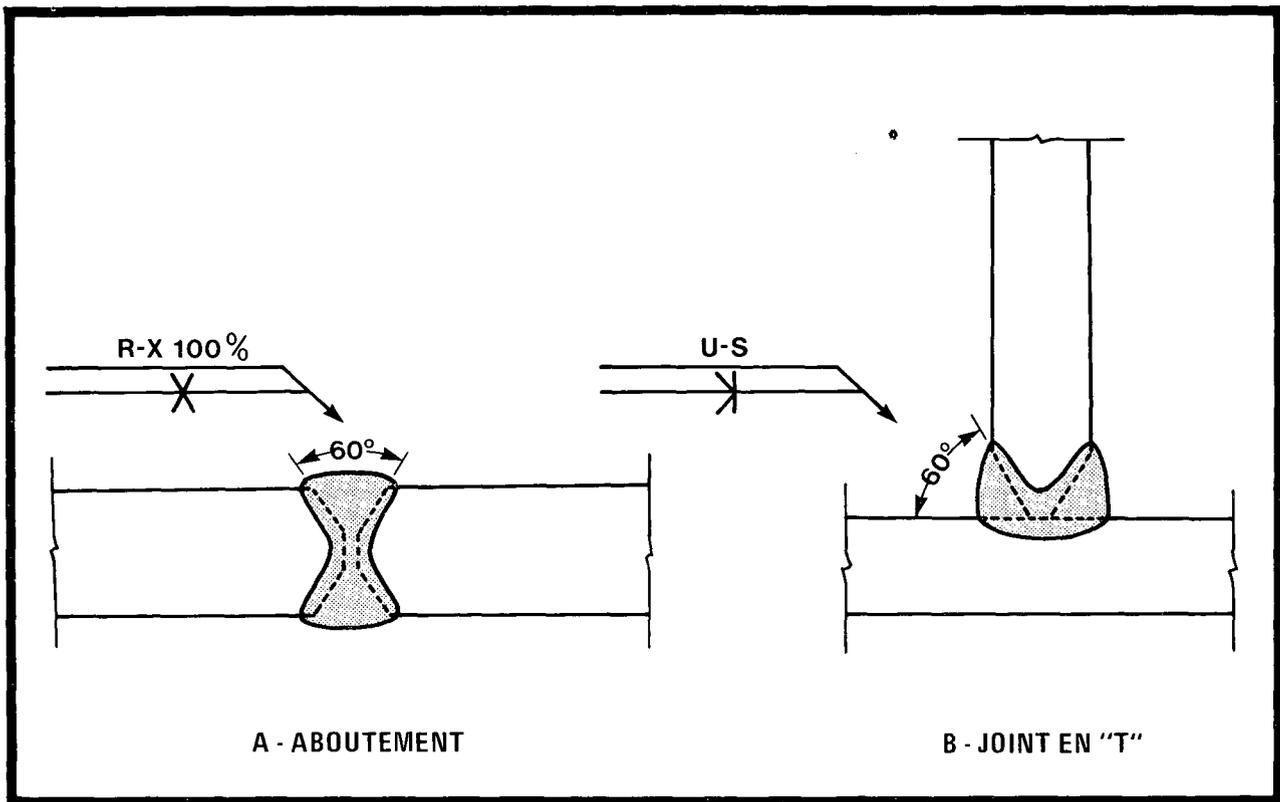


FIGURE 18 – SOUDURE À PÉNÉTRATION COMPLÈTE

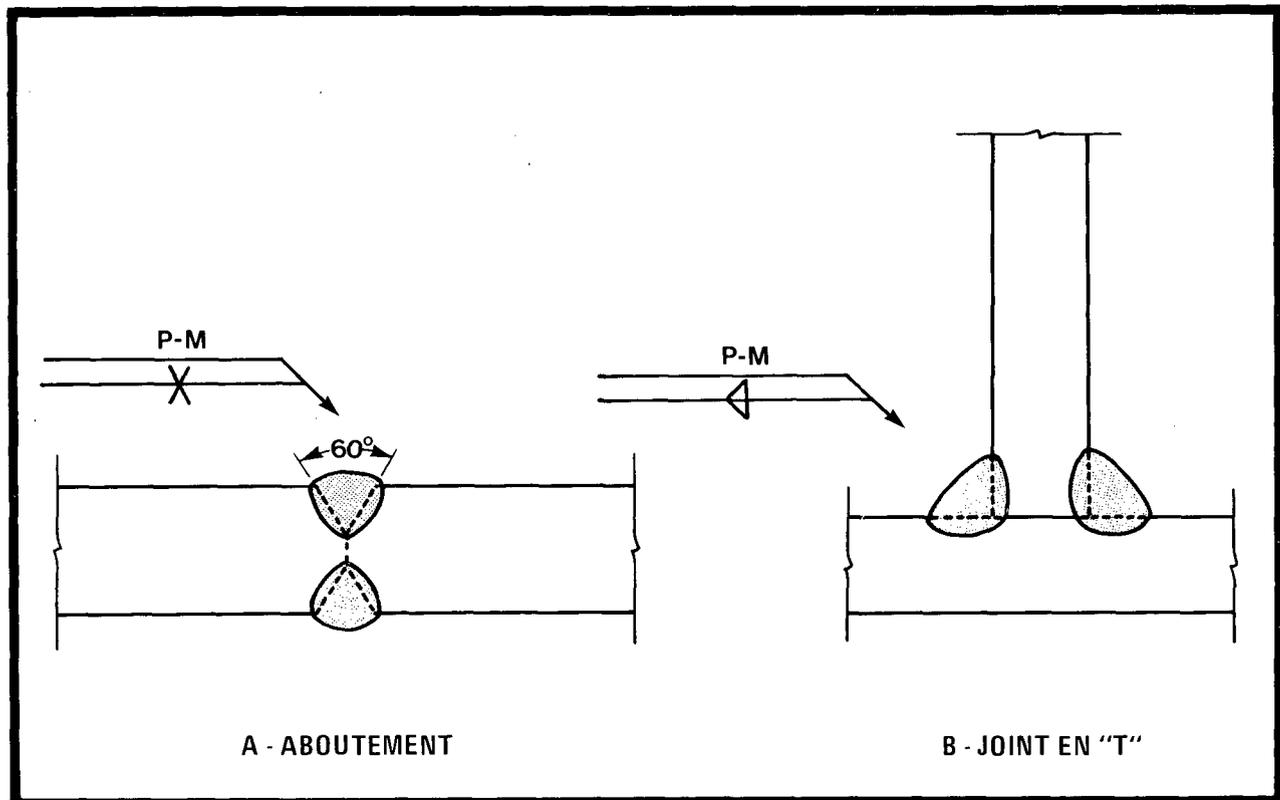


FIGURE 19 – SOUDURE À PÉNÉTRATION INCOMPLÈTE

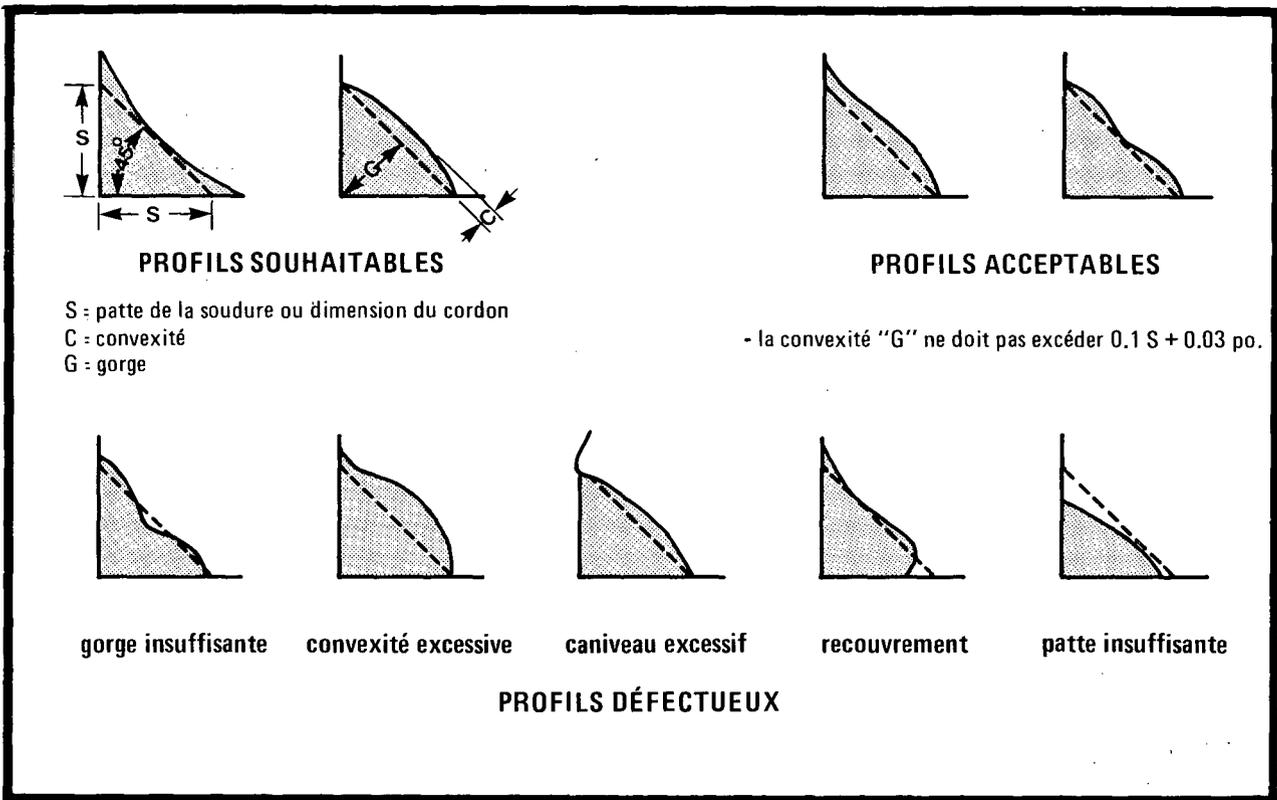


FIGURE 20 – SOUDURE EN CORDON

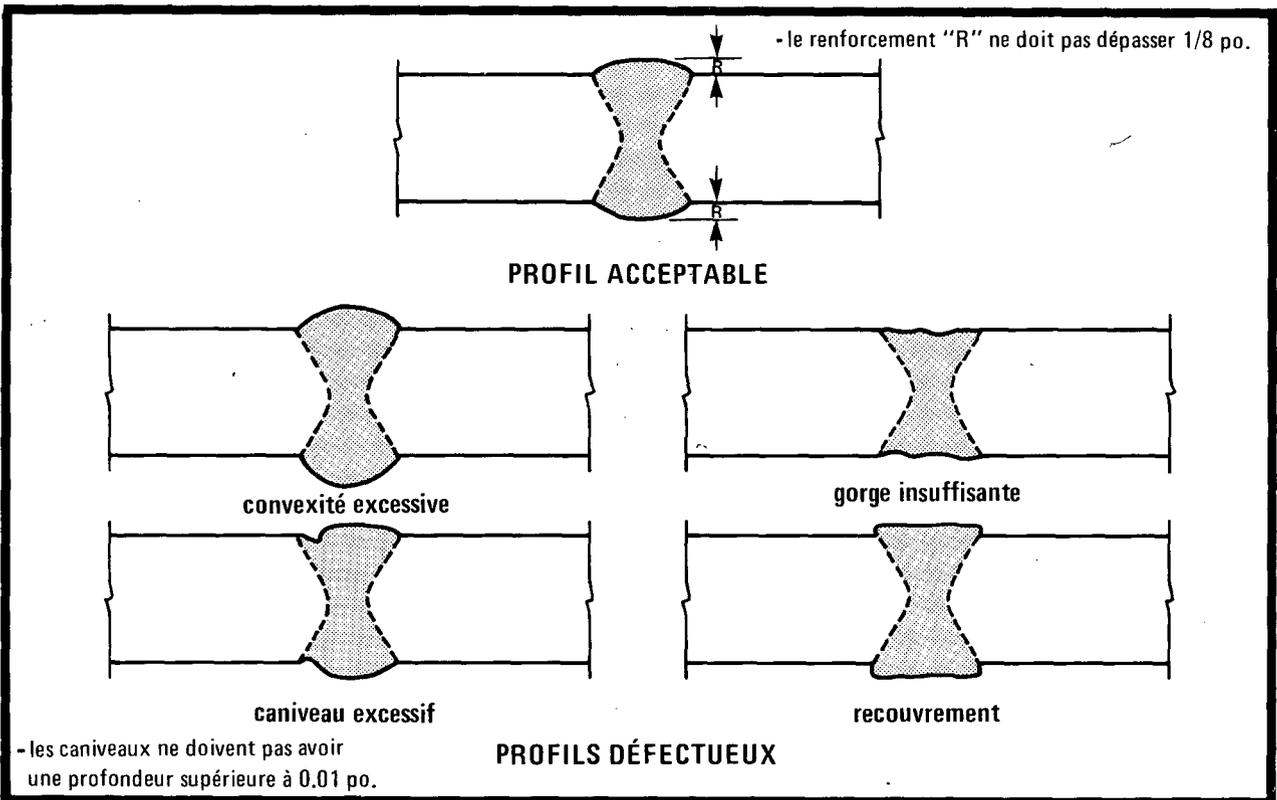


FIGURE 21 – SOUDURE BOUT À BOUT

c) Si l'on décèle de la porosité, des inclusions de scories, une fusion incomplète ou des fissures, on enlève les parties non acceptables et l'on reprend la soudure.

Pour juger de l'acceptation de ces défauts, souvent non décelables sans l'aide d'essais non destructifs, on doit se référer au chapitre 2.21 "Critères d'acceptation et de rejet des défauts dans la soudure".

d) Si les spécifications exigent que la surface de la soudure soit à égalité avec le métal de base, le meulage doit se faire dans le sens des contraintes éventuelles de la pièce, et selon un fini de surface dont le degré de rugosité est inférieur à 250 micro-pouces (CSA B95: "Surface Texture").

## 2.19 ESSAIS NON DESTRUCTIFS

Il existe un certain nombre d'essais qui permettent de vérifier la qualité des matériaux sans en compromettre l'usage. On appelle ces essais "non destructifs" par opposition aux essais qui ne sont réalisables qu'à la suite du bris d'une portion des matériaux. Parmi cette dernière catégorie on peut mentionner: les essais de tensions, de ductilité, de pliage, de résistance aux chocs, etc....

Les essais non destructifs les plus courants pour le contrôle de la qualité des aciers et des soudures sont: la radiographie, les ultrasons et la "magnétoscopie".

En raison de la complexité des appareils et des difficultés d'interprétation des résultats, la réalisation de ces essais, pour être valable, exige la présence d'opérateurs qualifiés selon les normes reconnues par la "Société canadienne des essais non destructifs". Il est bon de souligner ici que la radiographie industrielle en particulier, en plus d'exiger des connaissances techniques approfondies, doit être réalisée selon les normes de sécurité reconnues, en raison du danger que comportent les radiations-X et gamma tant pour l'opérateur que pour les personnes dans le voisinage de l'essai.

## **Radiographie** (figure 22)

Certaines radiations ont la propriété de traverser des substances et d'être absorbées à des degrés divers selon l'épaisseur et la compacité de ces substances. Cette propriété est mise à profit en plaçant une plaque photographique sur une face de la pièce métallique sous essais et en dirigeant un faisceau de radiations sur la face opposée (figure 22).

La radiographie industrielle fait usage de deux types de radiations: les **rayons-X** produits au moyen d'un équipement électrique, et les **rayons gamma** produits par la désintégration de certains radioisotopes dont les plus couramment utilisés sont l'iridium 192 et le cobalt 60.

Quelle que soit la source de radiation utilisée, la radiographie industrielle a, sur les autres essais non destructifs, l'avantage de fournir un document permanent.

Pour tirer pleinement avantage de cette particularité, au moment de la prise de chaque radiographie, il faut s'assurer d'une identification suffisante, au moyen de lettres et de chiffres en plomb que l'on pose sur la zone à vérifier. Il doit y avoir deux marques de localisation de la prise de la radiographie sur l'acier correspondant aux deux marques apparaissant sur la radiographie après développement. En replaçant la pellicule sur la zone radiographiée, il devient ainsi possible de localiser et de corriger les défauts montrés par la radiographie.

Pour contrôler la valeur de la radiographie, les pénétromètres disposés de préférence du côté de la source permettent d'ajuster l'intensité des radiations selon l'épaisseur de la pièce à radiographier.

Les **pénétromètres** sont constitués de plaques métalliques perforées de trois trous dont les diamètres sont respectivement de deux fois, trois fois et quatre fois l'épaisseur de la plaque.

Chaque pénétromètre porte un numéro d'identification qui permet de déterminer son

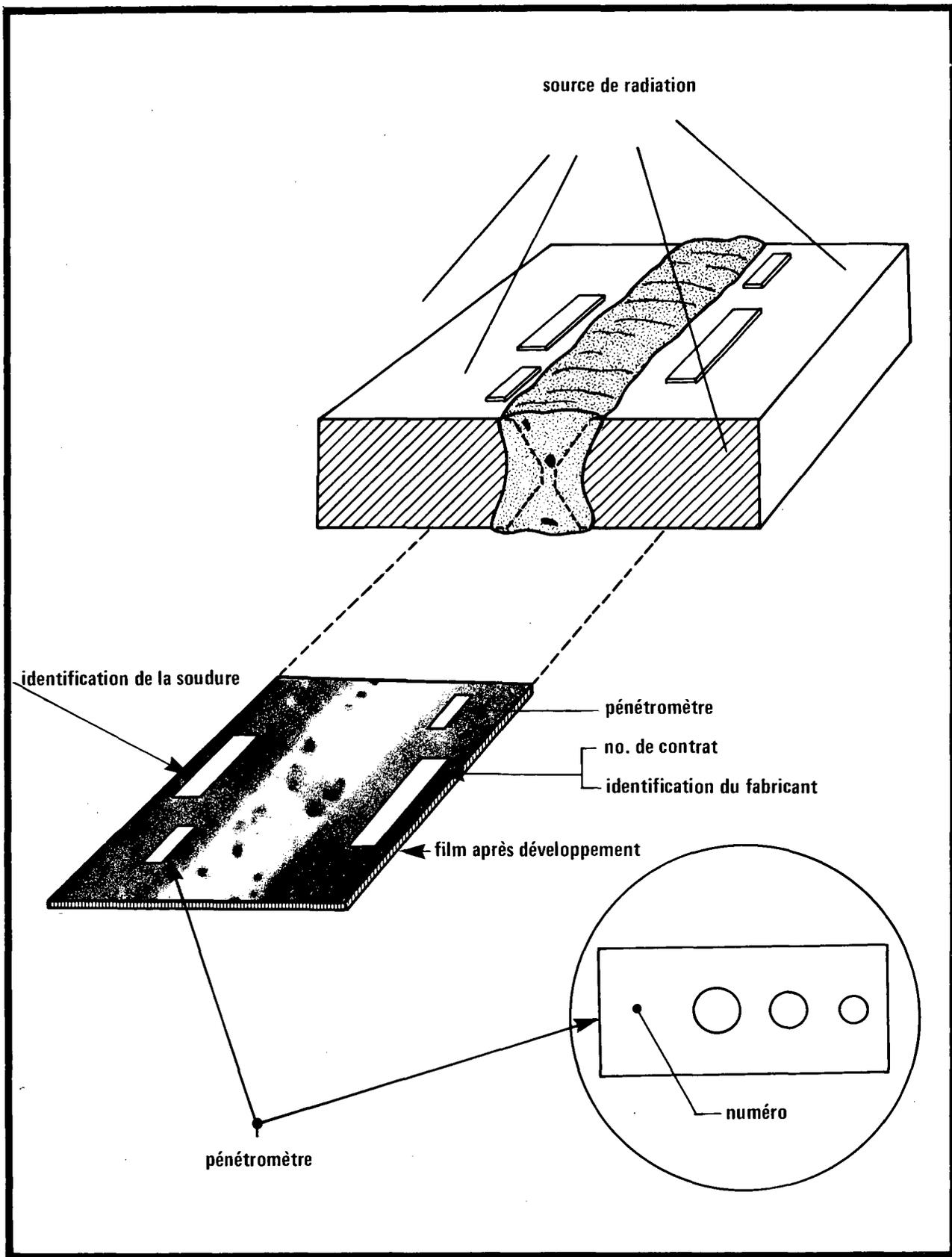


FIGURE 22 – RADIOGRAPHIE

TABLEAU VIII – DIMENSIONS DES PÉNÉTRIMÈTRES

ÉPAISSEUR (po.) A RADIOGRAPHIER	ÉPAISSEUR (po.) DU PÉNÉTRIMÈTRE "CÔTÉ SOURCE"	IDENTIFICATION DU PÉNÉTRIMÈTRE	EPAISSEUR (po.) DU PÉNÉTRIMÈTRE "CÔTÉ FILM"	IDENTIFICATION DU PÉNÉTRIMÈTRE
jusqu'à 1/4 incl.	0.005	5	0.005	5
1/4 à 3/8	0.0075	7	0.0075	7
3/8 à 1/2	0.010	10	0.010	10
1/2 à 5/8	0.0125	12	0.010	10
5/8 à 3/4	0.015	15	0.012	12
3/4 à 7/8	0.0175	17	0.015	15
7/8 à 1	0.020	20	0.017	17
1 à 1 1/4	0.025	25	0.020	20
1 1/4 à 1 1/2	0.030	30	0.025	25
1 1/2 à 2	0.035	35	0.030	30
2 à 2 1/2	0.040	40	0.030	30
2 1/2 à 3	0.045	45	0.035	35
3 à 4	0.050	50	0.040	40
4 à 6	0.060	60	0.050	50
6 à 8	0.080	80	0.060	60

épaisseur et l'intervalle d'épaisseurs correspondantes des soudures à radiographier selon le tableau VIII.

La radiographie doit laisser apparaître le numéro et le plus petit trou de chaque pénétrromètre utilisé.

### **Ultrasons** (figure 23)

Les ultrasons utilisés pour le sondage de la structure interne des métaux ont généralement une fréquence de l'ordre de 1 à 10 mégahertz.

Les appareils sont essentiellement constitués d'un générateur d'ondes ultrasoniques, d'un transmetteur, d'un récepteur d'ondes et d'un écran qui fournit les informations désirées.

La méthode d'inspection la plus usuelle est celle "d'impulsion-écho": le palpeur agit pendant une fraction de seconde comme transmetteur et l'instant d'après, comme récepteur de l'onde réfléchi. Le temps qui s'écoule entre l'émission de l'onde et la réception de l'écho permet, grâce au mécanisme électronique, de mesurer la distance entre le point d'émission et le point de réflexion sur l'écran de l'appareil.

Les ultrasons sont employés pour détecter les défauts des joints soudés, tels que fissures, porosité, inclusions de scories, manque de fusion et de pénétration. Ils sont également un excellent moyen pour découvrir les laminations ou discontinuités dans les tôles fortes.

Ils ont cependant le désavantage de ne pas fournir de documents pour référence future comme le permet la radiographie. Par contre, alors qu'on ne peut radiographier une pièce de métal sans que les deux côtés soient accessibles, les essais aux ultrasons par la méthode "impulsion-écho" permettent d'obtenir des renseignements analogues à la radiographie tout en ayant accès qu'à un seul côté de la pièce.

Cet avantage des ultrasons est principalement mis à profit pour mesurer le degré de

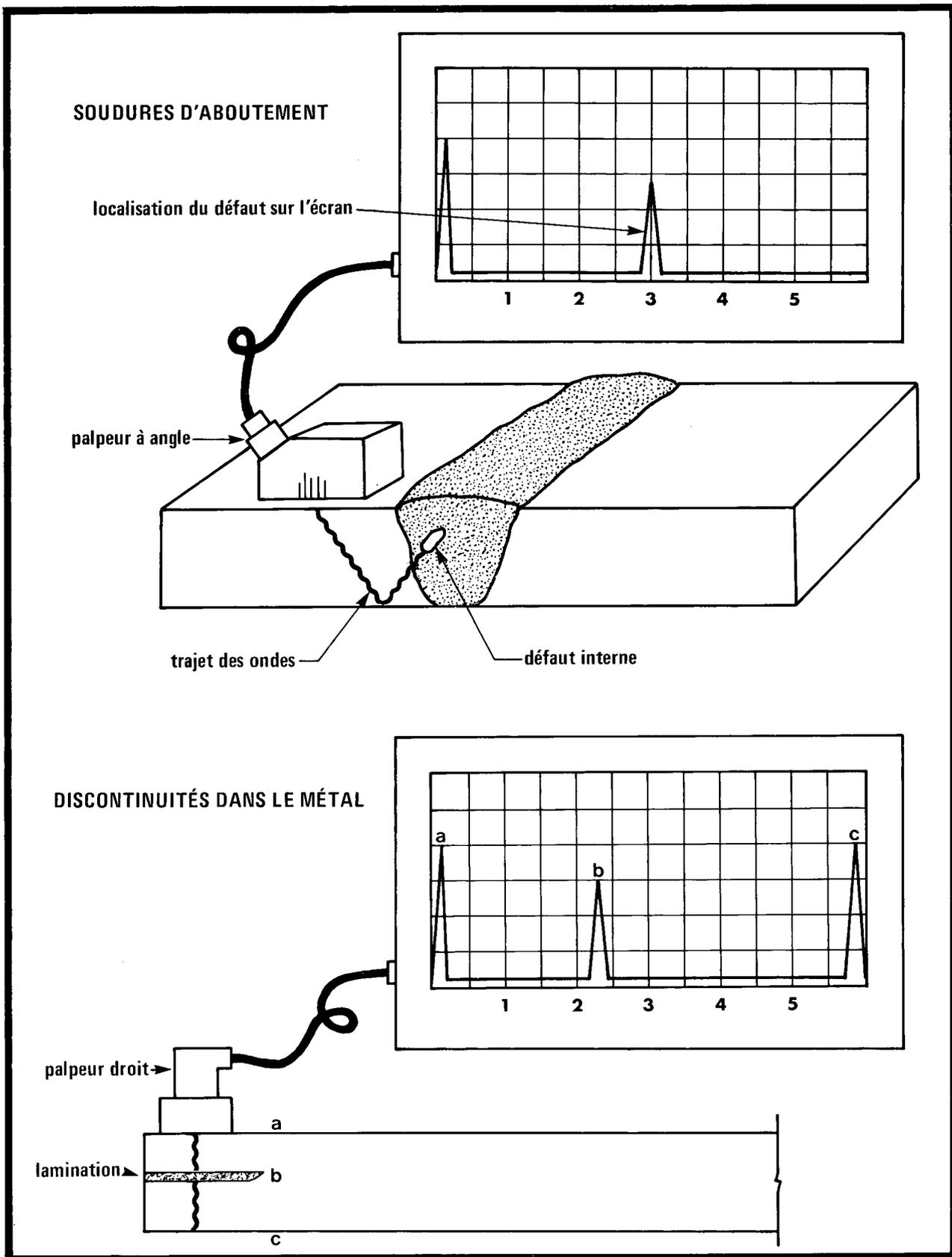


FIGURE 23 – ULTRASONS

corrosion de parois de métal; cette pratique est d'usage très courant pour vérifier l'état des réservoirs et des conduites de gaz ou de pétrole.

### **"Magnétoscopie"** (figure 24)

Ce procédé permet de déceler les défauts en surface ou au voisinage de la surface des matériaux ferromagnétiques. On ne peut donc utiliser ce mode de contrôle pour les aciers inoxydables à structure austénitique et les substances non ferreuses telles que l'aluminium et les alliages au cuivre et au magnésium.

La pièce à examiner est magnétisée au moyen du passage d'un courant de haute intensité pendant qu'on recouvre les zones à inspecter de fines particules de fer. Ces particules se concentrent selon les lignes de forces créées par le champ magnétique et dessinent ainsi le contour des discontinuités.

Il est de première importance que les pièces à examiner soient exemptes de scories ou de saletés. Un bon fini de surface permet une plus grande sensibilité de l'essai en assurant une libre circulation des particules sous l'effet du champ magnétique.

L'appareil pour essais aux particules magnétiques est essentiellement constitué d'un transformateur permettant d'obtenir un courant de haute intensité à très bas voltage; en outre, l'appareil est muni d'un rectificateur de courant qui permet selon le besoin d'obtenir un courant continu.

Le **courant alternatif** produit un flux magnétique plutôt concentré en surface et s'utilise davantage pour déceler les petites fissures de surface.

Le **courant continu** par contre, produit un flux magnétique pénétrant davantage à l'intérieur des pièces; il est plus sensible que le courant alternatif pour la détection de défauts situés légèrement sous la surface. Ce courant continu est de préférence pulsatif afin de permettre un déplacement plus facile des particules.

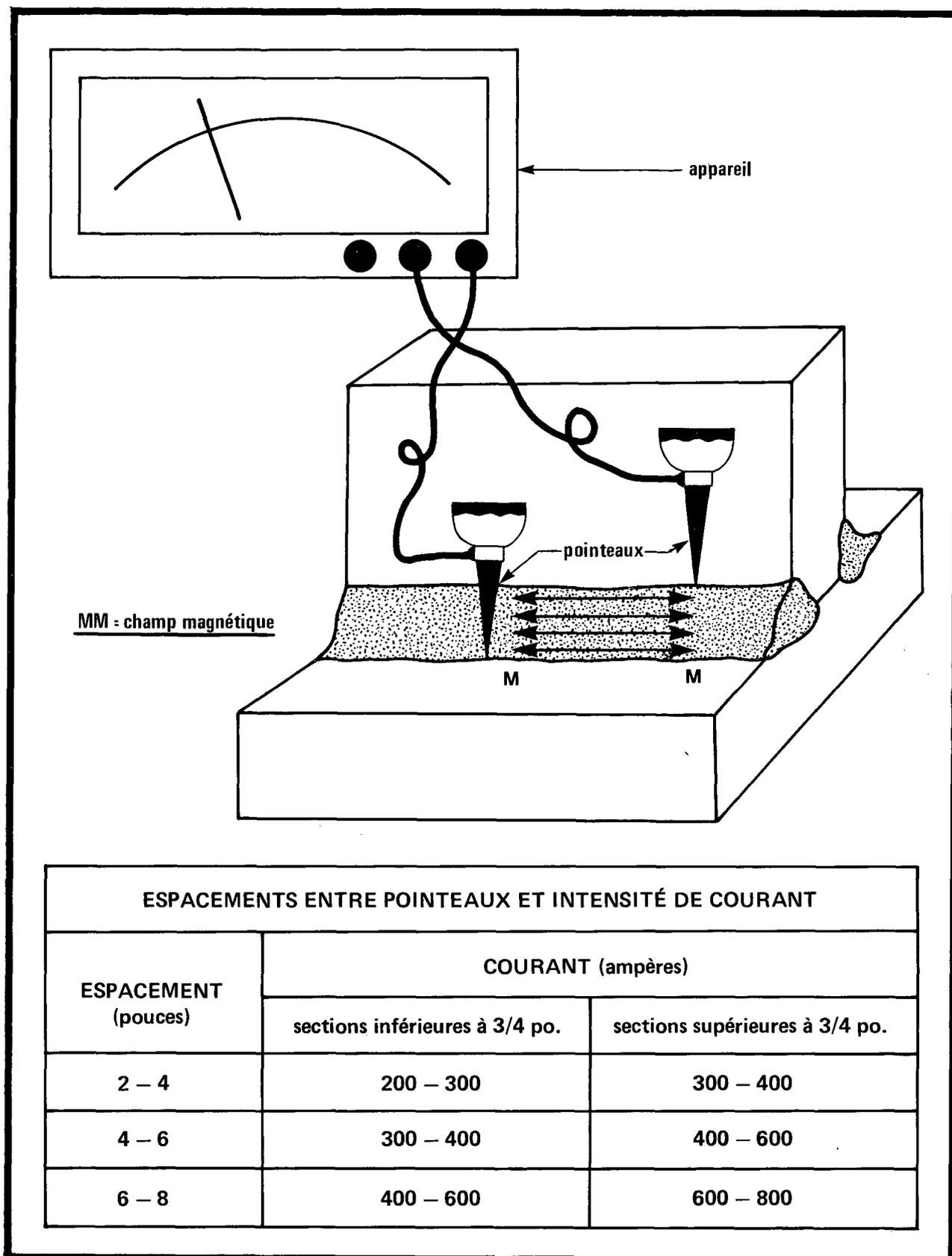


FIGURE 24 - MAGNÉTOSCOPIE

Au moment de l'essai, il est préférable que le champ magnétique soit dans une direction perpendiculaire aux défauts. En d'autres termes, les pointeaux du magnétoscope devraient être placés de façon à ce que le courant circule suivant la direction des discontinuités éventuelles ou tout au moins selon une direction approchée.

Pour une opération satisfaisante de l'appareil, on doit s'en tenir aux prescriptions du tableau de la figure 24 pour établir les relations entre les espacements des pointeaux, l'intensité du courant à utiliser et les épaisseurs des sections à examiner.

## **2.20 SPÉCIFICATIONS DES ESSAIS NON DESTRUCTIFS**

Les soudures d'assemblage doivent subir les essais propres à démontrer que chaque élément de structure métallique rencontre les exigences mécaniques requises.

Chaque soudure doit faire l'objet d'un examen visuel scrupuleux pour déceler tout défaut apparent tel que: dimensions insuffisantes, fissures, caniveaux ou porosités.

Si les plans ou les devis ne font mention d'aucune spécification quant au genre et à la fréquence des essais non destructifs, on doit considérer les recommandations suivantes s'appliquant aux poutres maîtresses, comme des exigences minimales.

### **A) Radiographie sur soudures d'aboutement**

Les soudures d'aboutement des semelles travaillant en tension ou soumises à des renversements d'efforts pendant ou après l'érection en chantier, doivent être radiographiées à 100%.

Les soudures d'aboutement des âmes doivent être radiographiées au moins jusqu'au quart de leur profondeur à partir des semelles soumises à des contraintes de tension.

### **B) "Magnétoscopie" sur soudure en cordon**

**a) Soudures âme-semelle:** L'ampleur des essais à effectuer dépend du procédé utilisé, des positions de soudage et du préchauffage éventuel. De plus, on doit noter que s'il y a vérification partielle, cette vérification doit porter sur les bouts ou tout autre point jugé critique d'après la géométrie des éléments.

1) Lorsque les soudures âme-semelle sont réalisées par le procédé automatique à arc submergé, dans la **position à plat**, l'essai au magnétoscope doit s'effectuer à 10% si aucun préchauffage n'a été prescrit et à 50% s'il y a eu préchauffage de la pièce.

Lorsque la soudure a été faite en **position horizontale**, l'essai au magnétoscope doit être accru à 25% s'il n'y a pas eu préchauffage de la pièce, et à 100% s'il y a eu préchauffage.

2) Les soudures d'angles réalisées par procédés manuels ou semi-automatiques doivent subir l'essai au magnétoscope à 100%.

**b) Soudures âme-raisseurs:**

1) Les soudures des **raisseurs d'appuis** doivent être vérifiées au magnétoscope sur le quart de leur longueur à partir de leur point d'appuis. Dans le cas des poutres continues, c'est-à-dire avec appuis intermédiaires, la partie des soudures des raidisseurs comprise entre le quart de la hauteur de l'âme et la semelle en tension, doit également être vérifiée au magnétoscope.

2) Une vérification des soudures au magnétoscope doit être effectuée sur 25% des **raisseurs intermédiaires** sur la distance comprise entre le quart de la hauteur de l'âme et la semelle en tension.

**C) Ultrasons sur soudures d'aboutement et soudures d'angle à pénétration complète**

Dans la construction de structures pour ponts et viaducs, il est de règle de spécifier des soudures d'aboutement à pénétration complète pour l'âme et les semelles des poutres;

dans ce cas la vérification des soudures peut être faite par radiographie ou par ultrasons selon la convenance.

Par contre, les soudures d'angles sont fréquemment à pénétration incomplète et n'ont besoin que d'une vérification au voisinage de la surface; en conséquence le magnétoscope constitue l'instrument d'essais tout désigné.

Cependant, si une soudure d'angle ou en "T" à pénétration complète telle que montrée à la figure 18 est spécifiée, l'appareil ultrasonique constitue alors le moyen de vérification le mieux approprié.

## **2.21 CRITÈRES D'ACCEPTATION ET DE REJET DES DÉFAUTS DANS LA SOUDURE**

Les fissures, déchirures et dédoublements dans la soudure et les fusions incomplètes constituent des défauts non tolérables. On doit également considérer une soudure à pénétration incomplète comme un défaut inacceptable si les spécifications de l'ouvrage exigent une pénétration complète.

Les inclusions et les porosités inférieures à 1/16 de pouce sont tolérées à condition qu'elle soient dispersées et que la somme de leurs plus grandes dimensions ne dépasse pas 3/8 de pouce par pouce linéaire.

Les inclusions et les porosités de plus de 1/16 de pouce sont tolérées à condition que leurs dimensions maximales et la distance entre ces défauts soient dans les limites prescrites à la figure 25.

Les inclusions dont l'une des dimensions dépasse 1/2 pouce ne sont pas tolérées quelle que soit l'épaisseur du joint soudé.

De plus, les joints soudés dont l'épaisseur est supérieure à 1 1/2 pouce sont soumis aux prescriptions des joints de 1 1/2 pouce de la figure 25.

### Réparations des soudures défectueuses:

Les parties des soudures trouvées défectueuses doivent être burinées, fondues ou meulées jusqu'à ce que toutes les traces d'imperfections soient disparues avant de poser une nouvelle soudure. Toutes les soudures dont une partie doit être réparée doivent être vérifiées à 100% au moyen du procédé de vérification précédemment utilisé, quel que soit le taux d'inspection d'abord prescrit.

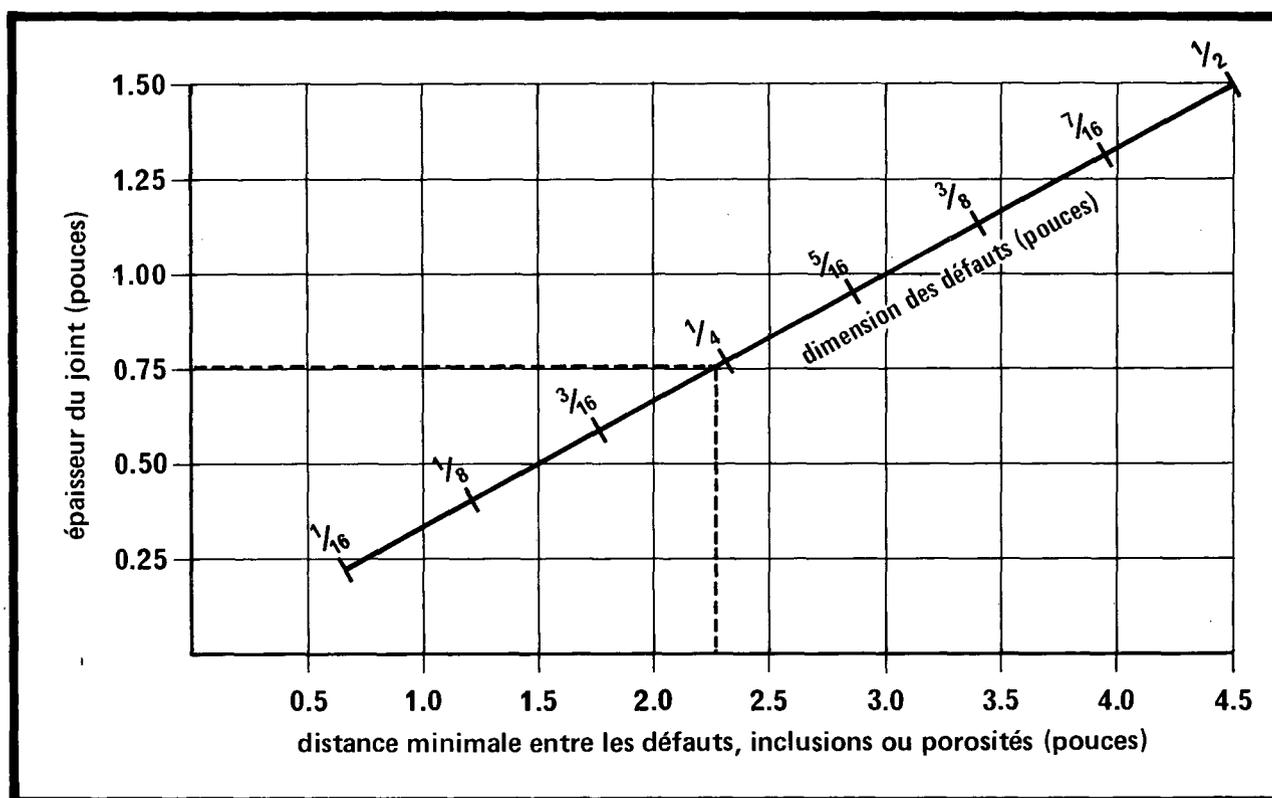
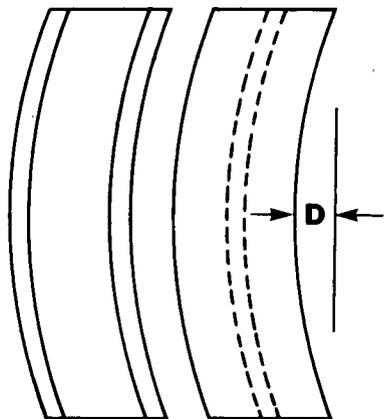


FIGURE 25 – RELATION ENTRE L'ÉPAISSEUR D'UN JOINT SOUDÉ, LA DIMENSION DES DÉFAUTS ET LEUR FRÉQUENCE

### 2.22 TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES

La fabrication d'éléments de structure doit s'effectuer selon des données précises indiquées aux plans et suivant les exigences des devis. Toutefois, il arrive parfois qu'en raison de l'ampleur assez modeste du chantier ou des travaux, certains détails indiquant la précision soient omis. Pour faciliter la tâche du contrôle de la qualité, on peut trouver dans les pages qui suivent les principales tolérances dimensionnelles reconnues par les normes gouvernementales.

## CAS 1 — TOLÉRANCES DE RECTITUDE POUR UNE COLONNE FABRIQUÉE PAR SOUDAGE



a) Colonne longue de 45 pi. ou moins

$$D = 1/8 \text{ po.} \times \frac{\text{longueur de la colonne en pi.}}{10}$$

D ne doit jamais excéder 3/8 po.

Exemple:  $L = 40 \text{ pi.}, D = 1/8 \times \frac{40}{10} = 1/2 \text{ po.}$

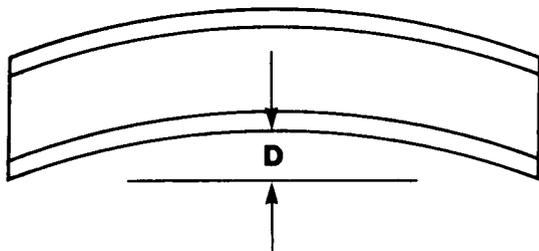
La tolérance est donc de 3/8 po.

b) Colonne de 45 pi. et plus

$$D = 3/8 \text{ po.} + 1/8 \times \frac{(\text{longueur en pi.} - 45)}{10}$$

Exemple:  $L = 55 \text{ pi.}; D = 3/8 + 1/8 \times \frac{(55 - 45)}{10} = 1/2 \text{ po.}$

## CAS 2 — TOLÉRANCES SUR CAMBRURE SPÉCIFIÉE POUR UNE POUTRE



$$D = \pm 1/32 \text{ po.} \times \frac{\text{Longueur totale en pi.}}{10}$$

ou  $D = \pm 1/4 \text{ po.}$  selon la valeur la plus élevée

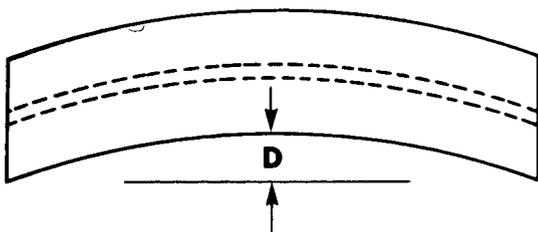
Exemple 1:  $L = 40 \text{ pi.}$

$$D = \pm 1/32 \times \frac{40}{10} = \pm 1/8 \text{ po.}$$

Donc la tolérance est de  $\pm 1/4 \text{ po.}$

Exemple 2:  $L = 100 \text{ pi.}; D = \pm 1/32 \times \frac{100}{10} = \pm 5/16 \text{ po.}$

## CAS 3 — TOLÉRANCES DE COURBURE D'UNE POUTRE SOUDÉE

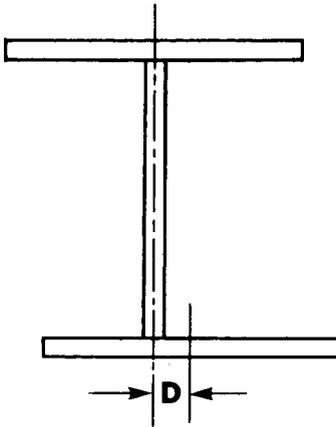


$$D = 1/8 \times \frac{\text{longueur totale en pi.}}{10}$$

Exemple: Longueur  $L = 50 \text{ pi.}$

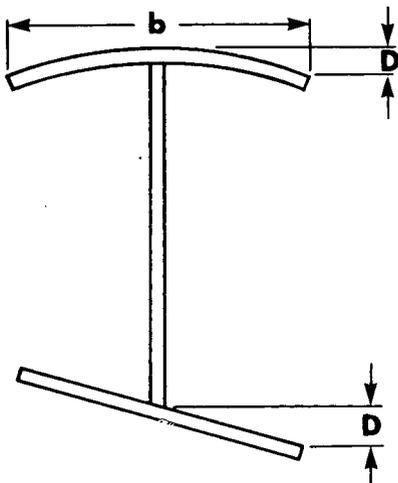
$$D = 1/8 \times \frac{50}{10} = 5/8 \text{ po. max.}$$

### CAS 4 — TOLÉRANCE SUR LE CENTRAGE DE L'ÂME DES POUTRES FABRIQUÉES PAR SOUDAGE



$$D = 1/4 \text{ po. max.}$$

### CAS 5 — GAUCHISSEMENT ET DÉFAUT D'ÉQUERRAGE



b: Largeur de la semelle

$$D = \frac{b}{100} \text{ ou } 1/4 \text{ po. selon la valeur la plus grande}$$

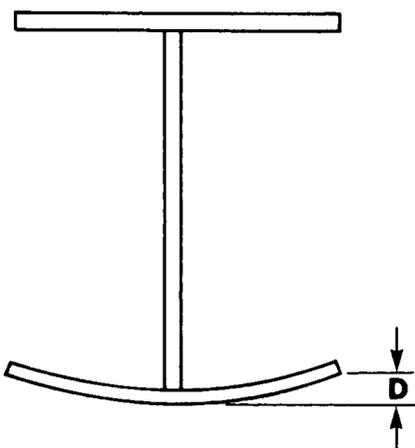
Exemple 1:  $b = 20 \text{ po.}$

$$D = \frac{20}{100} = 0.20 \text{ po.}$$

Donc la tolérance maximale est égale à  $1/4 \text{ po.}$

Exemple 2:  $b = 30 \text{ po.}$   $D = \frac{30}{100} = 0.30 \text{ po. max.}$

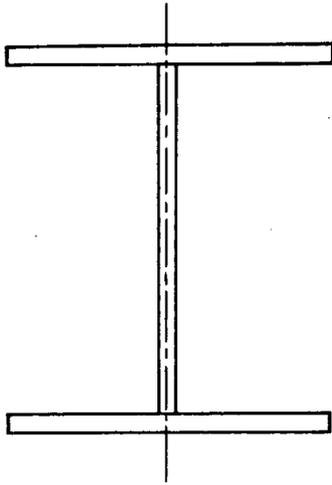
### CAS 6 — GAUCHISSEMENT À L'APPUI



a) Lorsque la poutre est ajustée sur un coulis de béton non solidifié, la tolérance maximale  $D = 1/8 \text{ po.}$

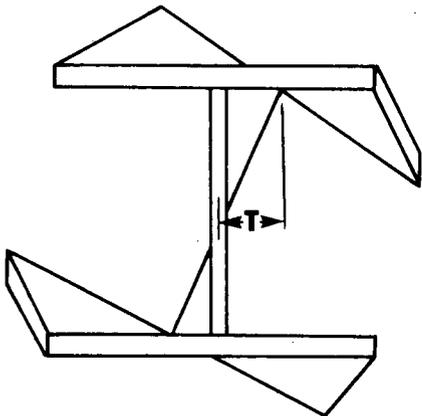
b) Lorsque la poutre est ajustée sur base d'acier ou de béton durci, la tolérance maximale  $D = 1/100 \text{ po.}$

### CAS 7 — TOLÉRANCES SUR LA HAUTEUR DES POUTRES



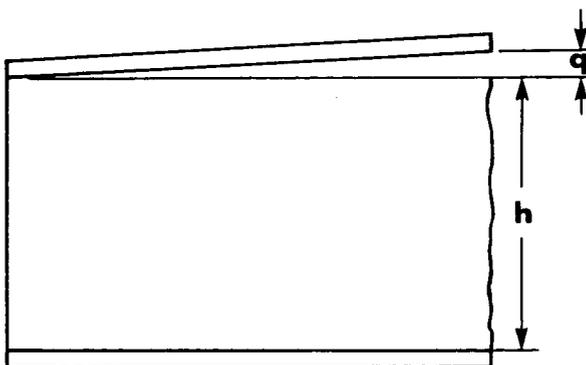
- a) Hauteur jusqu'à 36 pouces  
 $H \pm 1/8$  po.
- b) Hauteur de 36 à 72 pouces  
 $H \pm 3/16$  po.
- c) Hauteur supérieure à 72 pouces  
 $H + 5/16$  po.  
 $H - 3/16$  po.

### CAS 8 — TORSION



Tolérance T = 1/2 po. max.

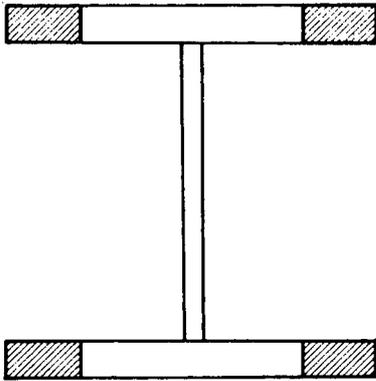
### CAS 9 — PARALLÉLISME DES SEMELLES DES POUTRES SOUDÉES



h: hauteur de l'âme

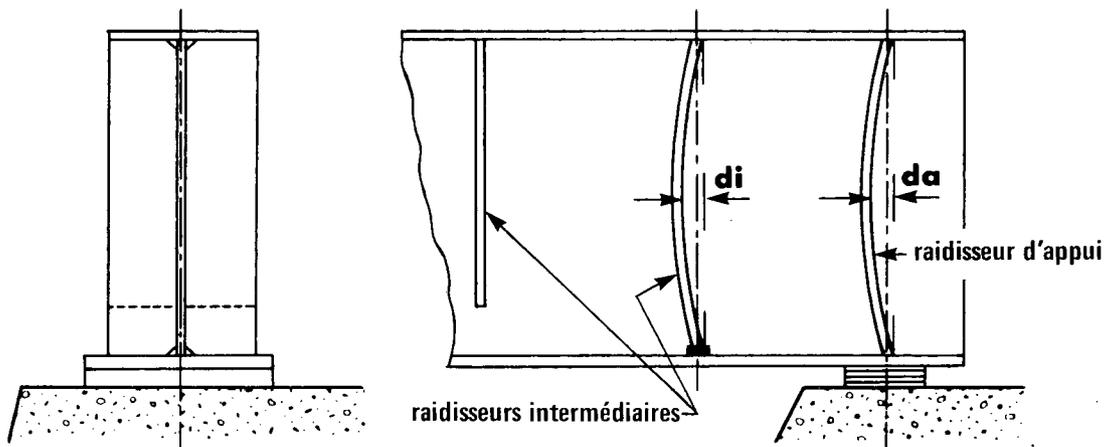
La variation de la hauteur doit être égale à  
 $\pm 1/32$  po. max.

**CAS 10 — TOLÉRANCES D'AJUSTEMENT ENTRE LES SECTIONS DE POUTRELLES EN COMPRESSION EXERÇANT UNE FRICTION EN COMPENSATION DE LA RÉDUCTION DU NOMBRE DE BOULONS DANS LE JOINT.**



L'espace entre les extrémités des poutrelles au joint après assemblage ne doit pas excéder .004 pouce pour la partie centrale de la face des poutrelles (partie non achurée sur la figure), et .012 pouce aux extrémités de la section (partie achurée).

**CAS 11 — TOLÉRANCES SUR LA POSE DES RAIDISSEURS**

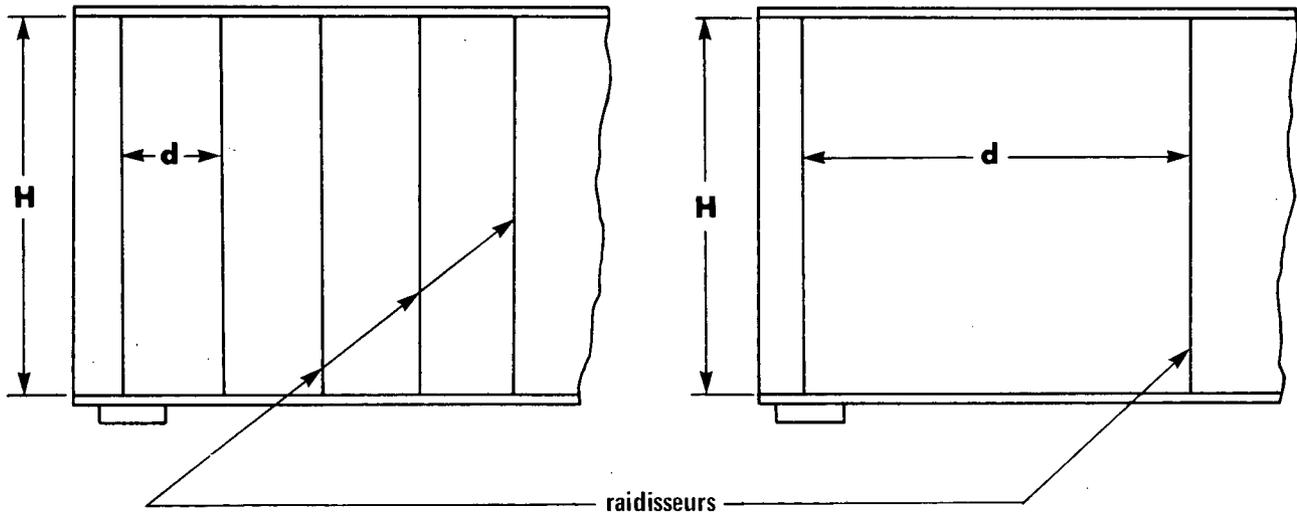


Les **raideurs intermédiaires** ne doivent pas avoir une incurvation "d i" supérieure à 1/2 pouce.

Les **raideurs d'appuis** pour les poutres ayant une hauteur de six pieds ou moins ne doivent pas avoir une incurvation "D a" supérieure à 1/4 pouce.

Pour les poutres ayant une hauteur excédant six pieds, la tolérance sur l'incurvation "d a" ne doit pas dépasser 1/2 pouce.

## CAS 12 — TOLÉRANCES DE PLANÉITÉ DE L'ÂME DES POUTRES FABRIQUÉES PAR SOUDAGE



H: hauteur de l'âme en pouces

e : épaisseur de l'âme en pouces

d : distance en pouces entre deux raidisseurs voisins au point de vérification

p : représente la plus petite dimension en pouces de "d" ou de "H"

Les tolérances de planéité sont établies par rapport à la hauteur "H" de l'âme, à son épaisseur "e" et à la valeur "p" selon les formules correspondant aux poutres A, B, C, D et E.

### A- Poutres intérieures avec raidisseurs intermédiaires des deux côtés de l'âme

Si  $H/e$  est inférieur à 150, la tolérance maximale de planéité est égale à  $p/115$ .

Si  $H/e$  est égal ou supérieur à 150, la tolérance maximale de planéité est égale à  $p/92$ .

**Exemple:** poutre intérieure avec raidisseurs des deux côtés de l'âme;

épaisseur de l'âme "e": 3/8 de pouce;

hauteur de l'âme "H": 57 pouces;

distance "d" entre les raidisseurs: 53 pouces;

**Solution:**  $H/e = \frac{57}{3/8} = 92$ . Donc le premier cas s'applique.

"H" est égal à 57 et "d" est égal à 53; donc, la plus petite dimension "p" est 53.

Tolérance de planéité =  $p/115 = \frac{53}{115} = \mathbf{0.46 \text{ pouce}}$ .

#### **B- Poutres extérieures avec raidisseurs intermédiaires des deux côtés de l'âme**

Si H/e est inférieur à 150, la tolérance maximale de planéité est égale à p/130.

Si H/e est égal ou supérieur à 150, la tolérance maximale de planéité est égale à p/105.

Pour le calcul, procéder de la façon indiquée plus haut en A.

#### **C- Poutres intérieures avec raidisseurs intermédiaires d'un seul côté de l'âme**

Si H/e est inférieur à 100, la tolérance maximale de planéité est égale à p/100.

Si H/e est égal ou supérieur à 100, la tolérance maximale de planéité est p/67.

Pour le calcul, procéder de la façon indiquée plus haut en A.

#### **D- Poutres extérieures avec raidisseurs intermédiaires d'un seul côté de l'âme**

Si H/e est inférieure à 100, la tolérance maximale de planéité est égale à p/120.

Si H/e est égal ou supérieur à 100, la tolérance maximale de planéité est égale à p/80.

Pour le calcul, procéder de la façon indiquée en A.

#### **E- Poutres intérieures ou extérieures sans raidisseur intermédiaires**

La tolérance maximale de la planéité est égale à H/105.

**Exemple:** Soit une poutre sans raidisseur intermédiaire dont la hauteur de l'âme est de 40 pouces: la tolérance de planéité =  $H/105 = 40/105 = \mathbf{0.38 \text{ pouce}}$ .

## 2.23 DISTORSION ET TRAITEMENT THERMIQUE

Les pièces métalliques assemblées par soudage subissent parfois certaines distorsions qui doivent être corrigées par des moyens mécaniques ou par application contrôlée de chaleur aux zones affectées.

La température de chauffage ne doit pas excéder 1,100 degrés Fahrenheit pour les aciers qui auraient préalablement subi les opérations de trempe et de revenu et 1,200 degrés pour les autres aciers de structure. On doit noter qu'à 1,200 degrés, les aciers laissent apparaître une couleur rouge sombre. Cependant la coloration à haute température ne constitue pas un moyen de mesure convenable. On utilise généralement des "crayons indicateurs de température". L'utilisation de ces crayons est très simple. Il suffit de faire une marque sur l'acier avant chauffage et lorsque la température inscrite sur le crayon indicateur est atteinte, il y a changement subit de la marque de crayon. Ces crayons sont disponibles pour des intervalles très variés de température.

Les pièces que l'on veut redresser par chauffage ne devraient être soumises à pratiquement aucune contrainte externe si ce n'est aux forces mécaniques appliquées durant la période de chauffage. En principe, il faut appliquer une force au point et dans le sens du redressage désiré alors qu'on procède au chauffage de la zone environnante. La force mécanique empêche en partie la dilatation thermique de se produire, ce qui se traduit par un réarrangement au niveau de la structure interne du métal au point considéré. Lors du refroidissement, il se produit donc un retrait de cette section avec l'effet de redressage recherché. Il peut arriver que la force extérieure exercée soit tout simplement le poids propre de la pièce comme dans le cas de poutres qu'on veut corriger pour une cambrure trop forte: la poutre est appuyée à chaque extrémité en position normale, alors qu'on procède au chauffage appropriée à la partie supérieure centrale de la poutre.

### Traitement thermique de détente

Il peut arriver que le niveau des contraintes des pièces soudées exige un revenu de détente pour diminuer le danger de fissure. Dans ce cas, la pièce en entier doit être portée à

1,100 degrés ou 1,200 degrés Fahrenheit suivant qu'il s'agit d'aciers trempés et revenus ou d'aciers de structure ordinaires. Au cours de l'opération, aucune variation de plus de 100 degrés ne doit exister entre les différents points de la pièce ainsi traitée.

La durée du maintien à cette température s'établit comme suit: une heure par pouce d'épaisseur en considérant l'épaisseur maximale des sections composantes. On doit ensuite laisser la pièce se refroidir lentement, pour prévenir toute distorsion. Il est à noter que le danger de distorsion est particulièrement grave pour les pièces non symétriques et qui possèdent des sections d'épaisseurs différentes.

## 2.24 DILATATION ET CONTRACTION DES POUTRES D'ACIER

Comme la plupart des matériaux, l'acier se dilate sous un accroissement de température et se contracte sous un abaissement de température.

Le coefficient de dilation linéaire de l'acier de charpente usuel est de: 0.0000067 pi./pi. oF. A noter que pour le béton cette valeur est de 0.0000079.

La variation de longueur d'une poutre d'acier soumise à un changement de température s'exprime comme suit:

$$\text{Variation de longueur} = e \times t \times l$$

où e: représente la coefficient de dilatation

t: représente la différence entre la température de pose en chantier et la température utilisée pour fin de calcul au moment du design, soit généralement 60 degrés Fahrenheit.

l: représente la longueur initiale de la poutre exprimée en pieds.

Pour faciliter le calcul des variations de longueur aux diverses températures, le graphique de la figure 26 donne les variations de longueur exprimées en pouces pour une poutre de cent pieds en fonction des écarts de température.

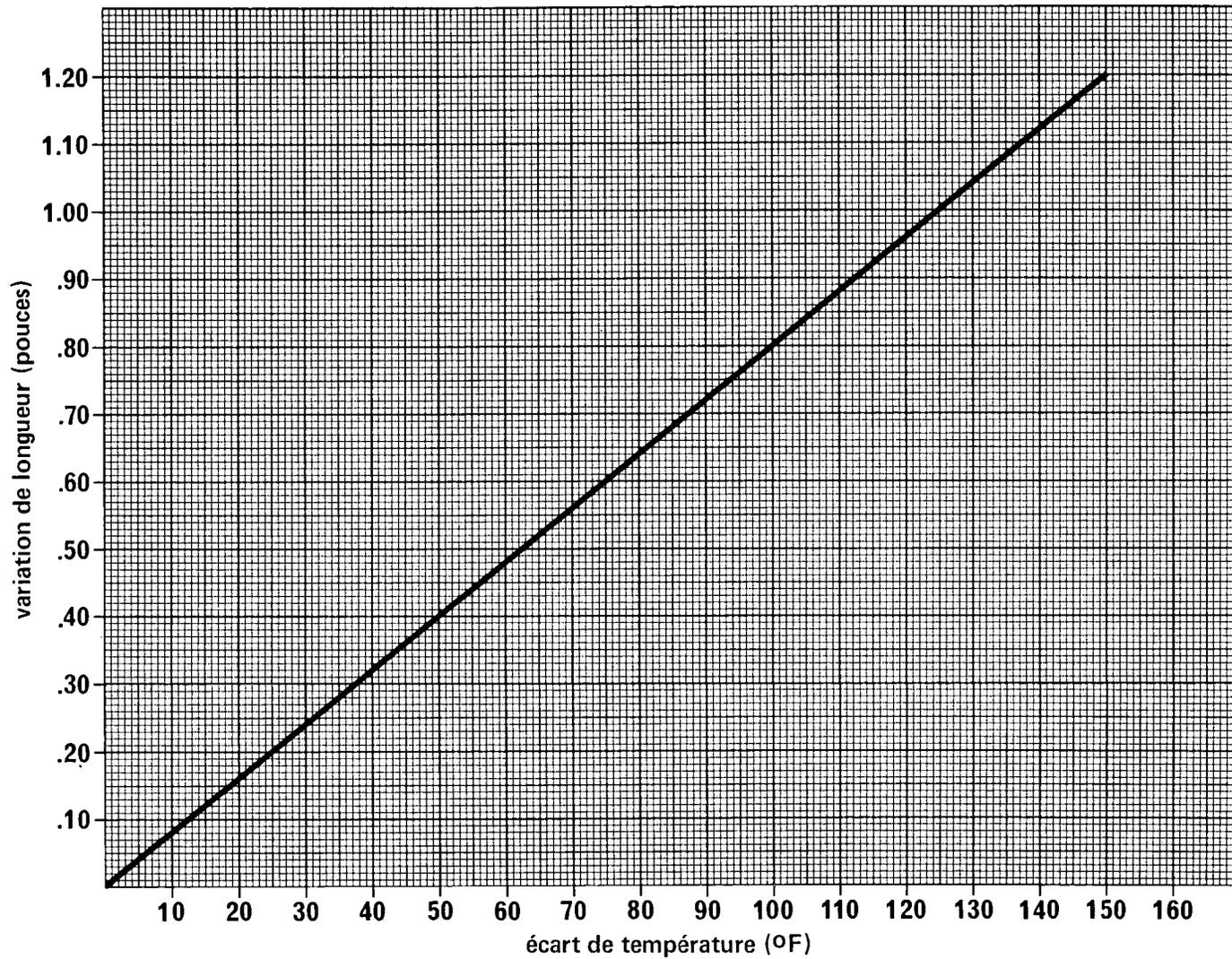


FIGURE 26 – VARIATION DE LA LONGUEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE POUR UNE POUTRE DE 100 PIEDS

On peut également noter que la valeur de 1.20 pouce inscrite au graphique représente la variation maximale d'une poutre de 100 pieds de longueur entre les températures extrêmes d'utilisation soit de  $-30$  à  $120$  degrés Fahrenheit, ce qui donne un écart de  $150$  degrés.

**Exemple:** La distance entre les centres des appuis d'une poutre d'acier est de  $120$  pieds à  $60$  degrés Fahrenheit. De combien devra-t-on rapprocher la partie mobile de l'appui libre en direction de l'appui fixe si la poutre est mise en place à  $20$  degrés Fahrenheit?

**Solution:** L'écart de température est de  $60-20$ , soit  $40$  degrés Fahrenheit.

Pour une poutre de  $100$  pieds, la variation de longueur serait de  $0.32$  pouce d'après le graphique de la figure 26.

Pour une poutre de  $120$  pieds de longueur cette variation serait donc:

$$0.32 \times \frac{120}{100} = \mathbf{0.384 \text{ pouce}}$$

## 2.25 BOULONNAGE

Le boulonnage des structures métalliques comprend les trois étapes suivantes:

- A-** Le choix des boulons, écrous et rondelles, suivant les dimensions et l'usage requis.
- B-** Le perçage approprié des trous aux joints pour permettre à chaque boulon d'accomplir le travail désiré.
- C-** Le serrage adéquat des boulons pour assurer la rigidité de la charpente.

### **A- Boulons, écrous et rondelles**

Les boulons, écrous et rondelles pour structures doivent correspondre à la norme A325 de l'A.S.T.M. "High-Strength Bolts for Structural Steel Joints, Including Suitable Nuts

and Plain Hardened Washers”.

Les boulons correspondant à cette norme se divisent en trois types différents:

**Le type 1** concerne les boulons en acier avec teneur moyenne en carbone. Ce type de boulons s'emploie à l'état de boulons noirs que l'on peut éventuellement peindre ou encore galvaniser selon la norme ASTM A153 ou CSA G164: "Hot Dip Galvanizing of Irregularly Shaped Articles". On doit noter que lors de la galvanisation, l'épaisseur de zinc sur les boulons et écrous ne doit pas être inférieure à 1.50 once par pied carré.

**Le type 2** concerne les boulons d'acier martensitique à basse teneur en carbone. Ces boulons ne sont utilisés que sur spécifications particulières.

**Le type 3** concerne les boulons d'acier résistant à la corrosion atmosphérique, spécialement conçus pour être utilisés avec l'acier de structure CSA G40.11 ou son équivalent ASTM A242. Il est à noter que les écrous et rondelles utilisés avec ces boulons doivent posséder les mêmes caractéristiques de résistance à la corrosion.

### **Identification des boulons à haute tension**

Tous les boulons à haute tension doivent posséder la marque distinctive A325 avec en plus un symbole indiquant le manufacturier.

De plus, au gré du manufacturier, le type 1 peut être marqué de trois lignes radiales séparées de 120 degrés.

Le type 2 pour sa part doit être marqué de lignes radiales écartées de 60 degrés.

Pour bien différencier le type 3, la marque A325 apparaissant sur la tête du boulon doit être soulignée; de plus le manufacturier peut ajouter d'autres marques pour indiquer le caractère particulier de résistance à la corrosion atmosphérique.

Les écrous pour les boulons de chacun des trois types doivent laisser voir trois cercles concentriques sur une face. En plus les écrous du type 3 doivent montrer le chiffre 3. Le manufacturier peut ajouter à son gré d'autres marques particulières pour souligner le caractère de résistance à la corrosion.

Les rondelles pour les boulons du type 3 doivent laisser apparaître le chiffre 3 ou autres marques indiquant que les rondelles possèdent les caractéristiques de résistance à la corrosion atmosphérique.

### **Propriétés mécaniques des boulons**

Les propriétés mécaniques apparaissent au tableau IX que l'on peut retrouver à la fin du présent chapitre.

### **Mode d'utilisation des boulons**

Certains joints boulonnés sont soumis à des renversements d'efforts ou exigent une grande stabilité pour éviter tout glissement. De tels joints sont du type "joints à friction" et demandent naturellement un contrôle poussé du serrage des boulons.

Dans d'autres cas, le joint constitue un simple moyen de transmission d'effort. Les boulons agissent alors comme appuis, et dans ce deuxième type de joints, on doit s'assurer que les filets des boulons sont en dehors des plans de cisaillement constitués par les surfaces de contact des pièces adjacentes.

### **B- Perçage des pièces métalliques**

Le diamètre final des trous percés doit excéder de 1/16 de pouce le diamètre nominal des boulons.

Le perçage peut être fait par poinçonnage pour les pièces minces et à la mèche pour les pièces de plus grande épaisseur (5/8 de pouce et plus). On doit noter que le perçage à la torche n'est jamais permis afin d'éviter une altération des caractéristiques structurales du

métal.

Suivant les recommandations des devis, si un joint est constitué par la superposition de plus de deux pièces de métal, on doit alors procéder à un perçage préliminaire des pièces à un diamètre inférieur au diamètre nominal des boulons.

Après assemblage des pièces, on doit ensuite aléser les trous au diamètre requis. Il est à noter que les trous alésés ou les trous percés pleine grandeur doivent coïncider parfaitement d'une pièce à l'autre; on peut tolérer au maximum un décalage de 1/32 de pouce entre les trous des pièces adjacentes sur pas plus de 15% des trous des pièces ainsi assemblées.

### **C- Serrage des boulons**

Le serrage des boulons doit se conformer aux exigences du tableau IX. On tente généralement d'obtenir un serrage correspondant à une tension de 5% à 10% supérieure aux valeurs indiquées à la colonne "Tension de serrage minimum".

Il est à noter qu'un accroissement de 10% de la tension minimum de serrage des boulons correspond à une tension légèrement supérieure à la limite élastique du métal. En conséquence, il faut éviter de dépasser cette valeur si l'on veut prévenir la déformation permanente qui se traduit généralement par le bris des filets dans les boulons. Pour obtenir un joint parfaitement serré sans endommager les boulons, il faut procéder à un serrage progressif et s'assurer à la fin du boulonnage du joint, que les premiers boulons ont bien la tension requise.

### **Çalibrage des boulonneuses**

Le point essentiel du boulonnage est d'obtenir la tension spécifiée dans les boulons. Pour ce faire, il existe un appareil permettant de déterminer la tension dans le boulon pour un couple de serrage donné. Il faut noter que la relation entre le couple de serrage et la tension dans le boulon dépend du fini des filets, de leur lubrification et de l'état de leur surface en général. Le calibrage des boulonneuses n'est donc valable que pour des lots bien spécifiés.

ques de boulons possédant les mêmes caractéristiques.

Si les boulonneuses en usage ne disposent pas de points de repère précis ou de déclenchement automatique pour ajuster le degré de serrage, on doit alors utiliser la méthode du “tour de l’écrou” décrite dans CSA S6: “Design of Highway Bridges”. Cette méthode comporte les étapes suivantes:

**a)** Serrage à “bloc” du boulon: théoriquement, ce point marque le début de la tension dans le boulon.

**b)** Serrage d’un demi tour additionnel si le boulon ne dépasse pas 8 pouces ou 8 fois son diamètre, et que l’une des faces perpendiculaires au boulon a une inclinaison inférieure à 1:20. Dans les mêmes conditions, pour un boulon dépassant 8 pouces ou 8 fois son diamètre, le serrage doit être de 2/3 de tour.

Cette méthode du “tour de l’écrou” peut permettre d’obtenir de bons résultats puisqu’elle est basée sur le rapport de proportionnalité entre déformation et contrainte. Cependant, le point de serrage initial ou “serrage à bloc” reste assez problématique et risque de fausser les résultats désirés, en particulier si l’opérateur n’est pas familier avec l’appareil de serrage.

### **Contrôle du serrage des boulons**

Le contrôle du serrage des joints boulonnés se fait au moyen d’une clé dynamométrique qui indique le couple de serrage des boulons.

Des essais préliminaires effectués sur le calibre de tension avec la clé dynamométrique doivent permettre de connaître le couple de serrage nécessaire à la tension requise pour les boulons en usage. Les essais doivent être répétés suivant la grosseur des boulons, suivant l’état de leur surface, boulons noirs, boulons galvanisés, boulons galvanisés et lubrifiés etc.... Les valeurs de la tension minimum requise apparaissent au tableau IX à la colonne

“Tension de serrage minimum”.

La vérification des joints boulonnés doit porter sur au moins 10% des boulons.

**1-** Si l’essai à la clé dynamométrique révèle un degré de serrage inférieur au couple de serrage établi, tous les boulons du joint doivent être boulonnés à nouveau au serrage requis.

**2-** Si par contre, le serrage mesuré à la clé dynamométrique excède le couple de serrage établi et que les boulons ont été endommagés, il faut alors remplacer les boulons et exiger un boulonnage au serrage requis.

**N.B.:** En enlevant les boulons dont le serrage excède les recommandations, l’examen visuel permet d’établir que les boulons ont été endommagés, s’il y a déformation des filets, allongement et striction des boulons.

## **PROTECTION ANTIROUILLE**

### **3.00 BUT ET GENRE DE PROCÉDÉS**

Les aciers de structure doivent jouir d’une protection contre la rouille qui permet de conserver les qualités structurales et esthétiques de l’ouvrage. Parmi les moyens les plus fréquents de protection antirouille, on peut mentionner: l’utilisation d’acier allié résistant à la corrosion atmosphérique, l’application de peintures, la galvanisation et la métallisation.

### **3.10 ACIERS RÉSISTANT À LA CORROSION ATMOSPHÉRIQUE**

Les aciers résistant à la corrosion atmosphérique utilisés dans les structures sont des aciers comportant des éléments d’alliage qui modifient leur processus normal de corrosion. Ces aciers ne requièrent aucune application de peintures ou d’autres recouvrements. Ils développent en surface une fine pellicule de rouille suffisamment adhérente pour empêcher toute rouille ultérieure. Ce type d’acier doit correspondre à la norme CSA G40.11 “Aciers

TABLEAU IX – PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES BOULONS ASTM A325

DIAMÈTRE (po.) DU BOULON	TENSION DE RUPTURE MINIMUM (lb)	TENSION DE SERRAGE MINIMUM (lb.)	TENSION A LA LIMITE D'ÉLASTICITÉ MINIMUM (lb)	*COUPLE DE SERRAGE APPROX. (lb. x pi.)
1/2	17,050	12,050	13,050	
5/8	27,100	19,200	20,800	210
3/4	40,100	28,400	30,700	370
7/8	55,450	39,250	42,500	580
1	72,700	51,500	55,750	870
1 1/8	80,100	56,450	61,800	
1 1/4	101,700	71,700	78,500	
1 3/8	121,300	85,450	93,550	
1 1/2	147,500	104,000	113,800	

\* Le couple de serrage approximatif correspond à la tension de serrage minimale requise pour les boulons noirs. Il est à noter que pour une tension de serrage donnée, le couple de serrage pour boulons galvanisés et lubrifiés serait de 10 à 20% inférieur au couple de serrage ci-haut mentionné.

de Construction à Haute Résistance, Faiblement Alliés et à l'Épreuve de la Corrosion Atmosphérique".

Pour permettre une meilleure apparence, les parties de la structure qui sont en évidence doivent subir un nettoyage s'approchant d'un "sablage à blanc", c'est-à-dire exempt de calamine et de taches de toutes sortes, afin d'obtenir par la suite une corrosion superficielle d'allure uniforme.

### **3.20 APPLICATION DE PEINTURES SUR LES CHARPENTES MÉTALLIQUES**

L'application de peintures sur les charpentes métalliques doit être exécutée suivant des conditions de température et d'humidité favorables. Qu'il s'agisse d'un travail exécuté à l'extérieur de l'usine de fabrication ou sur le site de l'érection de la charpente, on ne peut procéder à l'application de peintures lorsque les conditions suivantes se présentent:

- a)** Les surfaces à peindre sont mouillées.
- b)** La peinture après application risque d'être mouillée par la pluie avant un délai raisonnable de séchage.
- c)** La température ambiante est inférieure à 45 degrés Fahrenheit.
- d)** La température de l'air risque de s'abaisser sous 32 degrés Fahrenheit avant que la peinture ne soit complètement sèche. Il découle logiquement de ce fait que les pièces métalliques peinturées en usine ne doivent pas être transportées à l'extérieur avant séchage complet.
- e)** L'humidité relative de l'air est supérieure à 85%.
- f)** Les pièces métalliques à peindre sont à une température qui excède la température maximale d'utilisation de la peinture.

## **A — Application au moment de la construction**

Les structures d'acier doivent préalablement subir un nettoyage du type "**sablage commercial**" avant l'application de peintures. Le "sablage commercial" est un procédé qui ne permet pas nécessairement une netteté et une couleur uniforme des surfaces traitées, mais il enlève pratiquement toute la calamine de laminage, de même que la rouille et autres substances étrangères.

Le délai entre le nettoyage et l'application de la première **couche de peinture en usine** ne doit pas excéder 24 heures. La peinture à appliquer doit être conforme à la norme BNQ 3714-004 "Peintures primaires pour métal" type III. Cette peinture ne doit pas être recouverte d'une autre couche avant un laps de temps de 18 heures.

Les couches suivantes de **peintures** sont **appliquées au chantier d'érection**.

Après le montage de la charpente métallique, les égratignures et les éraflures doivent être nettoyées et couvertes de la peinture correspondant à la norme BNQ 3714-004, type I. Après un temps de séchage de 48 heures, l'ouvrage est ensuite recouvert d'une peinture satisfaisant les exigences de la norme BNQ 3714-004, type II. Cette peinture demande une période de séchage de 24 heures avant d'être recouverte d'une couche de finition constituée par une "Peinture-Email Anticorrosion" conforme à la norme BNQ 3712-007.

## **B — Application lors de l'entretien**

L'application de peintures lors de l'entretien des charpentes métalliques doit s'effectuer sensiblement selon les prescriptions décrites à la partie A.

Il est à noter cependant que le nettoyage du type "sablage commercial" ne doit pas précéder l'application de la première couche de peinture par plus de 8 heures. Cette précaution vise à empêcher toute ré-oxydation superficielle, et contribue à accroître l'adhérence de la peinture.

Les peintures appliquées en chantier doivent correspondre aux normes suivantes:

première couche: BNQ 3714-004, type I; deuxième couche: BNQ 3714-004, type II; couche de surface: "Peinture-Émail" BNQ 3712-007.

Les prescriptions relatives à la pose de ces peintures apparaissent au dernier paragraphe de la partie A, concernant les peintures appliquées au chantier d'érection.

### **Surveillance à exercer au cours de l'application de peintures**

L'application de peintures comporte de la part du surveillant les vérifications suivantes:

**a)** Il doit s'assurer du respect des conditions de température et d'humidité mentionnées au début du présent chapitre 3.20, aux articles "a" à "f".

**b)** Il doit s'assurer que les surfaces à peindre sont nettoyées suivant les prescriptions des devis en tenant compte des délais prévus entre le nettoyage et l'application de la couche de base.

**c)** Il doit vérifier la qualité des peintures en regard des normes, en prenant bonne note des certificats d'analyse et des numéros de cuvées, et enfin en prélevant des échantillons de contrôle selon les exigences des devis.

**d)** Il doit s'assurer que la peinture adhère fermement à chaque couche; dans les zones où l'adhérence est défectueuse, il doit contrôler la qualité du nettoyage subséquent et la pose de la nouvelle couche de peinture.

**e)** Il doit enfin vérifier l'épaisseur du film sec de peinture après chaque couche, au moyen d'un micromètre magnétique. L'épaisseur du film sec de peinture pour chaque couche doit être de 1.5 millième de pouce alors que l'épaisseur totale des trois couches ne doit pas être inférieure à 5.0 millièmes de pouce.

Notons que d'après la norme BNG 3714-004, type I, type II et type III, les couches de fond doivent posséder chacune des teintes différentes afin de mieux en contrôler l'application. Quant à la couche de finition (norme BNG 3712-007), sa couleur doit être prescrite au devis particulier de l'ouvrage.

### **3.30 GALVANISATION**

La galvanisation est un procédé qui consiste à recouvrir l'acier ou la fonte d'une couche de zinc. Il y a lieu de distinguer entre la galvanisation à froid effectuée par dépôt électrolytique et la galvanisation à chaud effectuée par immersion dans un bain de zinc fondu.

La galvanisation par dépôt électrolytique convient surtout aux pièces de faibles dimensions et donne des dépôts de zinc de l'ordre de quelques dix millièmes de pouce. La galvanisation à chaud par contre produit des recouvrements excédant généralement trois millièmes de pouce. Ce dernier procédé favorise une bonne diffusion du zinc, si bien que le recouvrement antirouille est en partie formé par une couche fer-zinc et une couche superficielle de zinc pur. C'est habituellement le procédé qui convient le mieux pour les structures métalliques, et qui doit faire ici le sujet de plus amples détails.

#### **Galvanisation à chaud**

Les pièces soumises à la galvanisation à chaud doivent être exemptes de rouille, de calamine, de scories provenant du soudage et de toute substance étrangère. Après un dernier nettoyage dans des solutions de dégraissage et de décapage, les pièces sont immergées dans un bain de zinc fondu dont la température se situe entre 830 et 860 degrés Fahrenheit.

Le temps d'immersion doit être suffisamment long pour que l'échange thermique complet puisse se faire entre la pièce à galvaniser et le bain de zinc fondu.

Le retrait de la pièce du bain de zinc doit s'effectuer suivant un rythme assez lent pour permettre au surplus de zinc de s'écouler librement avant solidification.

## Contrôle de la galvanisation à chaud

La galvanisation à chaud doit répondre à la norme G164 de CSA: "Hot Dip Galvanizing of Irregularly Shaped Articles".

À moins de spécifications particulières, les pièces supérieures à 3/16 de pouce d'épaisseur doivent être recouvertes d'un dépôt d'au moins **deux onces de zinc par pied carré**; les boulons et écrous supérieurs à 1/2 pouce de diamètre doivent être recouverts d'une couche minimale de 1.50 once par pied carré; les boulons, les écrous et les vis ayant des diamètres compris entre 3/8 et 1/2 pouce, de même que les rondelles, doivent avoir une couche minimale de 1.00 once par pied carré.

**N.B.:** Un once de zinc par pied carré correspond à une épaisseur de 0.0017 pouce.

La mesure de l'épaisseur de zinc est réalisée au moyen d'un micromètre magnétique. Cet appareil permet également de déterminer l'uniformité du dépôt de zinc.

L'adhérence de la couche de zinc constitue le second point d'importance de la galvanisation. On la vérifie à l'aide d'un couteau; on peut aussi se servir du marteau pivotant pour les pièces de plus de 5/16 de pouce d'épaisseur si cette dernière méthode a fait le sujet d'une entente préalable.

## Recommandations particulières

Les pièces soumises à la galvanisation à chaud doivent avoir une configuration géométrique permettant l'accès facile du zinc fondu lors de l'immersion, et l'écoulement du surplus de zinc lors du retrait des pièces.

Aucun volume fermé ne doit être galvanisé sans qu'on ait prévu une issue pour permettre l'échappement de l'air. On doit noter que les plaques de renforcements entourées d'une soudure étanche constituent dans une certaine mesure un volume fermé; par conséquent, l'expansion de l'air emprisonné entre les plaques et la pièce maîtresse peut dans certains cas fissurer la soudure.

Les pièces fabriquées d'éléments de sections différentes de même que les pièces qui doivent être galvanisées par double immersion en raison de leur trop grande dimension peuvent poser des problèmes de gauchissement: une attention toute spéciale doit être accordée à leur manipulation au cours de la sortie du bain de galvanisation.

Lors de l'empilage des pièces fraîchement galvanisées, il faut prendre bien soin que l'air circule librement entre les surfaces afin de prévenir l'apparition de ce que l'on appelle communément "rouille blanche". La rouille blanche est un produit très friable provenant de la corrosion du zinc. Sa présence se traduit par une diminution de la quantité de zinc métallique et réduit ainsi considérablement la période de protection de l'acier.

Lorsque certains points de la surface ont été endommagés, sans pour autant constituer des défauts majeurs, on doit nettoyer soigneusement les zones défectueuses à l'aide d'une brosse d'acier et les recouvrir de deux couches de peinture riche en zinc de sorte que l'épaisseur de recouvrement total soit d'au moins 0.004 pouce. La peinture utilisée doit être conforme à la norme BNQ 3714-181 "Peinture primaire riche en zinc". Pour éviter toute méprise, il est à noter que cette peinture doit avoir une teneur minimale de 87% de zinc.

### **3.40 MÉTALLISATION**

La métallisation est une technique qui permet d'appliquer un revêtement protecteur sur l'acier ou la fonte par projection de zinc ou d'aluminium en fusion. Le procédé est habituellement réalisé au moyen d'un pistolet alimenté par un fil de zinc ou d'aluminium d'un haut degré de pureté chimique.

Le procédé de métallisation doit être conforme à la norme CSA G189 "Sprayed Metal Coatings for Atmospheric Corrosion Protection".

Les surfaces à métalliser doivent être absolument exemptes de rouille, calamine ou corps étrangers. Il ne doit pas s'écouler plus de 4 heures entre le "sablage à blanc" des surfaces et l'application du zinc ou de l'aluminium afin de prévenir toute ré-oxydation. Les surfa-

ces à métalliser doivent être parfaitement sèches. L'épaisseur du recouvrement ne doit en aucun cas être moindre que 0.004 pouce. Il est à noter que la durée de la protection contre la rouille est en relation directe avec l'épaisseur de zinc ou d'aluminium. Les épaisseurs minimales généralement spécifiées varient entre .005 et .010 pouce selon les besoins du milieu.

### **Application du procédé**

Le procédé de métallisation convient particulièrement aux pièces de grandes dimensions et de forme géométrique compliquée qui ne peuvent subir la galvanisation à chaud. Il est surtout conçu pour appliquer un revêtement protecteur de longue durée aux structures déjà érigées en chantier.

### **Contrôle de la métallisation**

La qualité de la métallisation dépend avant tout du nettoyage dont on peut contrôler le degré par comparaison avec les plaques témoins apparaissant dans la norme CSA G189 "Sprayed Metal Coating for Atmospheric Corrosion Protection".

Le taux d'application et l'uniformité du revêtement prescrits aux devis doivent être mesurés au moyen d'un micromètre magnétique.

L'adhérence entre le métal de base et le revêtement en tout point doit être telle qu'il soit impossible de soulever le recouvrement au moyen d'une lame de couteau sur une surface de plus de 0.5 pouce par 0.5 pouce.

## APPENDICE

### Conversion des degrés Fahrenheit en degrés Celsius

Formule:  $^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32)$

Exemple: soit à convertir 70°F en °C

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (70 - 32) = 5/9 \times 38 = \mathbf{21.1^{\circ}\text{C}}$$

### Conversion des degrés Celsius en degrés Fahrenheit

Formule:  $^{\circ}\text{F} = 9/5 ^{\circ}\text{C} + 32$

Exemple: soit à convertir 120 °C en °F

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \times 120 + 32 = 216 + 32 = \mathbf{248^{\circ}\text{F}}$$

PROPRIÉTÉS DES MÉTAUX LES PLUS USUELS				
ÉLÉMENT	*DENSITÉ	FUSION (°C)	FUSION (°F)	COEFFICIENT DILATATION $\frac{\text{micro-pouces}}{\text{pouces} \times ^{\circ}\text{F}}$
Aluminium	2.70	660	1220	13.3
Cadmium	8.65	321	610	16.6
Cuivre	8.96	1083	1981	9.2
Etain	7.30	232	449	13.0
Fer	7.87	1539	2802	6.5
Magnésium	1.74	650	1202	14.0
Plomb	11.34	327	621	16.3
Zinc	7.13	419	787	22.1

\* En multipliant la densité par 62.4 on obtient le poids en livres par pied cube.

## FACTEURS DE CONVERSION

### A- Conversion des mesures métriques aux mesures anglaises

<b>Multiplier</b>	<b>par</b>	<b>pour obtenir</b>
Millimètres	39.37	Millièmes de pouce
Centimètres	0.3937	pouces
Mètres	3.28	pieds
Kilomètres	0.6214	milles
Litres	0.2200	gallons impériaux
Mètres cubes	1.3079	verges cubes
Kilogrammes	2.2046	livres
Kilogrammes par centimètre carré	14.2234	livres par pouce carré
Kilogrammes par millimètre carré	1422.34	livres par pouce carré

#### **Exemple:**

2.0 mètres cubes  $\times$  1.3079 = 2.6158 verges cubes

### B- Conversion des mesures anglaises aux mesures métriques

<b>Multiplier</b>	<b>par</b>	<b>pour obtenir</b>
Millièmes de pouce	0.0254	millimètres
Pouces	2.54	centimètres
Pieds	0.3048	mètres
Milles	1.6093	kilomètres
Gallons impériaux	4.5460	litres
Verges cubes	0.7646	mètres cubes
Livres	0.4536	kilogrammes
Livres par pouce carré	0.07031	kilogrammes par centimètre carré

#### **Exemple:**

2.5 gallons impériaux  $\times$  4.5460 = 11.365 litres.

## Guide pour évaluer la facilité de soudage des aciers

La facilité avec laquelle les aciers peuvent être soudés dépend en grande partie de leur teneur en carbone et à un degré moindre des autres éléments d'alliage inclus. Pour simplifier le choix des électrodes à utiliser et des températures de préchauffage, on a développé une équation qui permet d'évaluer **l'équivalence en carbone**:

$$\text{Équivalence en carbone} = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \frac{Ni\%}{20} + \frac{Cr\%}{10} - \frac{Mo\%}{50} - \frac{V\%}{10} + \frac{Cu\%}{40}$$

Une fois cette équivalence obtenue, on peut se servir du tableau suivant pour déterminer le type d'électrode qu'il faut employer et les températures de préchauffage auxquelles on doit avoir recours.

ÉQUIVALENCE EN CARBONE	TYPE D'ÉLECTRODE	PRÉCHAUFFAGE MINIMUM ET TEMPÉRATURE DE MAINTIEN
inférieur à 0.40	ordinaire	aucun
0.40 - 0.48	ordinaire	200°F - 400°F
0.40 - 0.48	à basse teneur d'hydrogène	aucun - 200°F
0.48 - 0.55	ordinaire	400°F - 700°F
0.48 - 0.55	à basse teneur d'hydrogène	200°F - 400°F

## DURETÉ DES ACIERS

La dureté de l'acier est une propriété qui permet d'obtenir des renseignements très utiles sur son comportement.

Un acier qui possède une dureté élevée a généralement une teneur en carbone assez élevée ou encore comporte certains éléments d'alliage qui affectent sa facilité de soudage. On a déjà vu qu'une équivalence en carbone élevée signifie qu'il faut prendre des précautions particulières lors du soudage: électrodes particulières, température de préchauffage.

Une dureté élevée est également un indice d'une grande résistance à la traction et d'une ductilité faible.

Enfin, la résistance à la traction des aciers (en lb/po. car.) est approximativement égale à 500 fois la valeur de la dureté Brinell.

## GLOSSAIRE

### A- ÉQUIVALENCE DU FRANÇAIS À L'ANGLAIS

âme (d'une poutre): web

appui fixe: fixed support

appui libre: mobile support

burinage: gauging

contreventement: bracing

contreventement inférieur: bottom lateral bracing

contreventement intermédiaire: intermediate bracing

contreventement supérieur: top lateral bracing

connexion: connection

corde inférieure: bottom cord

corde supérieure: top cord

dalle de béton: concrete slab

décapage: pickling

diagonale: diagonal

entretoise: floor beam

entretoise de bout: end floor beam

ferme principale: main truss

fondant: flux

fourrure: filler plate

goujon: stud

gousset: gusset plate

joint de chantier: field splice

longeron: stringer

métal d'apport: filler metal

métallisation: metallizing

panneau: pannel

pont à tablier supérieur: girder bridge  
pont suspendu: suspension-bridge  
pont-ferme à tablier inférieur: through truss bridge  
portée: span  
portique: portal  
poutre caisson: box girder  
poutre de levage: jacking beam  
poutre maîtresse: girder  
raidisseur: stiffener  
raidisseur d'appui: bearing stiffener  
raidisseur intermédiaire: intermediate stiffener  
revenu: tempering  
revenu de détente: stress-relief heat treatment  
scorie: slag  
semelle inférieure: bottom flange  
semelle supérieure: top flange  
serrage à bloc: snug-tight condition  
soudage à l'arc sous atmosphère gazeuse (MIG): gas metal-arc welding  
soudage à l'arc avec électrode enrobée: shielded metal-arc welding  
soudage à l'arc avec électrode fourrée: flux cored arc welding  
soudage à l'arc submergé: submerged arc welding  
soudure d'aboutement: butt weld  
soudure en cordon: fillet weld  
tôle forte: plate  
tôle mince: sheet  
tôle moyenne: plate  
tour de l'écrou: turn-of-the-nut  
traitement thermique: heat treatment  
trempe: quenching  
verticale: vertical

**B- ÉQUIVALENCE DE L'ANGLAIS AU FRANÇAIS**

bearing stiffener: raidisseur d'appui

bottom cord: corde inférieure

bottom flange: semelle inférieure

bottom lateral bracing: contreventement inférieur

box girder: poutre-caisson

bracing: contreventement

butt weld: soudure d'aboutement

concrete slab: dalle de béton

connection: connexion

diagonal: diagonale

end floor beam: entretoise de bout

field splice: joint de chantier

filler metal: métal d'apport

filler plate: fourrure

fillet weld: soudure en cordon

fixed support: appui fixe

floor beam: entretoise

flux: fondant

flux cored arc welding: soudage à l'arc avec électrode fourrée

gas metal-arc welding: soudage à l'arc sous atmosphère gazeuse (MIG)

gauging: burinage

girder: poutre maitresse

girder bridge: pont à tablier supérieur

gusset plate: gousset

heat treatment: traitement thermique

intermediate bracing: contreventement intermédiaire

intermediate stiffener: raidisseur intermédiaire

jacking beam: poutre de levage

main truss: ferme principale  
metallizing: métallisation  
panel: panneau  
pickling: décapage  
plate: tôle forte, tôle moyenne  
portal: portique  
quenching: trempe  
sheet: tôle mince  
shielded metal-arc welding: soudage à l'arc avec électrode enrobée  
slag: scorie  
snug-tight condition: serrage à bloc  
span: portée  
stiffener: raidisseur  
stress relief heat treatment: revenu de détente  
stringer: longeron  
stud: goujon  
submerged arc welding: soudage à l'arc submergé  
suspension-bridge: pont suspendu  
tempering: revenu  
top cord: corde supérieure  
top flange: semelle supérieure  
top lateral bracing: contreventement supérieur  
trough truss bridge: pont-ferme à tablier inférieur  
turn-of-the-nut: tour de l'écrou  
vertical: verticale  
web: âme (d'une poutre)

---

## BIBLIOGRAPHIE

- Welding Metallurgy by George E. Linnert of Armco Steel Corporation, Middletown, Ohio.
- Canadian Standards Association.
- American Society for Testing and Materials.
- Structural Welding Code, publication AWS D1.1-72 of American Welding Society 2501 N.W. 7th Street, Miami Fla 33125.
- Sélection et Utilisation des Aciers de Charpente de Stelco, Steel Company of Canada Ltd.
- Inspection Handbook for Manual Metal-Arc Welding from American Welding Society 33 West 39th Street, New-York 18, N.Y.
- Weld Quality Control and Inspection, Canadian Welding Bureau 1393 Yonge St., Toronto 7, Canada.
- Recueil de Normes des Produits Sidérurgiques, Edité par l'A.F.N.O.R. 23, rue N.D. des Victoires, Paris (2e).
- Metals Handbook: Welding and Brazing, American Society for Metals, Metals Park, Ohio 44073.
- Manual on Industrial Radiography CGSB, 48-GP-5.
- Bureau de Normalisation du Québec.
- Publications de Zinc Institute, Inc.
- Zinc et Alliages 34, rue Collange-Levallois-Perret (Seine) France.
- Industrial Maintenance Painting published by National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas 77027.
- Cahier des Charges et Devis Généraux, Ministère des Transports du Québec 1972.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 113 926