



Fisheries and Oceans  
Canada

Pêches et Océans  
Canada

Canadian  
Coast Guard

Garde côtière  
canadienne

MCGE#3324469

# ***Matériaux de soudage et inspection des soudures Pour la construction et la réparation de navires***



***Guide***

***Garde côtière canadienne***

In English :  
Materials Welding and Weld Inspection for Ship  
Construction and Repairs  
EKME # : 3113928 V.1

**Publié sous l'autorité de :**  
Direction générale des Services techniques intégrés  
Pêches et Océans Canada  
Garde côtière canadienne  
Ottawa Ontario, K1A 0E6  
<http://ccg-gcc.ncr.dfo-mpo.gc.ca>

## Contrôle du document

### Registre des modifications

#	Date	Description	Initiales
1	mai 2015	1 <sup>ère</sup> Édition	JK

### Approbations

Bureau de première responsabilité (BPR)	Joanne Kane <i>Joanne Kane</i> (Tracy Clarke)	<i>01 May 2015</i> Date:
Gestionnaire	Anne Marie Sekerka	<i>Anne Marie Sekerka</i> Date: <i>01 May 2015</i>
Coque, mécanique et électricité		
Directeur	<i>Anne Marie Sekerka-Bajina</i> Interimaire pour Gary Ivany	<i>Gary Ivany</i> Date: <i>01 May 2015</i>
Ingénierie navale		
Directeur général	Michel Cécire	<i>Michel Cécire</i> Date: <i>14 MAY 2015</i>
Services techniques intégrés		

## Table des matières

<b>Section 1</b>	<b>MATÉRIAUX .....</b>	<b>1</b>
1.1	ACIERS .....	1
1.1.1	Méthodes de fabrication (IACS) .....	2
1.1.2	Matériaux de remplacement .....	6
1.1.3	Organismes de normalisation nord-américains .....	9
1.1.4	Normes CSA G40.20M et CSA G40.21M .....	10
1.2	ALUMINIUM .....	11
1.2.1	Alliages inaptes au traitement thermique – utilisation marine .....	11
1.2.2	Alliages aptes au traitement thermique – utilisation marine .....	11
1.3	ACIERS INOXYDABLES .....	14
1.3.1	Aciers inoxydables austénitiques (Fe-Cr-Mn et Fe-Cr-Ni) .....	15
1.3.2	Aciers ferritiques (Fe Cr) .....	16
1.3.3	Aciers inoxydables martensitiques (Fe-Cr-C) .....	16
1.3.4	Aciers à durcissement structural [Fe-Cr-Ni-(Mo-Cu-Al-Nb)-N] .....	16
1.3.5	Aciers inoxydables duplex [Fe-Cr-Ni-(Mo)-N] .....	17
1.3.6	Données techniques .....	17
1.4	CUIVRE-NICKEL .....	17
	Applications .....	18
	Ressources .....	18
	Références .....	18
	Renseignements techniques .....	18
1.5	OUTILS PERMETTANT DE DÉTERMINER LE TYPE DE MATÉRIAU ET LE SENS DU LAMINAGE .....	19
1.5.1	Identification des matériaux avec certitude .....	19
1.5.2	Sens du laminage .....	20
1.6	NOTIONS ÉLÉMENTAIRES SUR LA CORROSION .....	20
1.6.1	Termes standards .....	20
1.6.2	Mécanisme de la corrosion .....	23
1.6.3	Facteurs influant sur la vitesse de corrosion .....	26
1.6.4	Types de corrosion .....	28
1.6.5	Approche concernant les problèmes de corrosion .....	35
<b>Section 2</b>	<b>SOUDAGE .....</b>	<b>36</b>
2.1	ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION .....	36
2.2	BUREAU CANADIEN DE SOUDAGE .....	37
2.3	NORMES PRESCRIPTIVES EN MATIÈRE DE SOUDAGE .....	39
2.3.1	Normes CSA W47.1 et CSA W47.2 .....	39
2.3.2	Normes CSA W178.1 et CSA W178.2 .....	41
2.3.3	2.4.3 Norme 48.9712-2006 de l'ONGC .....	41
2.4	NORMES DE SOUDAGE RELATIVES À LA CATÉGORIE DE PRODUITS .....	42
2.4.1	Normes CSA W59 et CSA W59.2 .....	42

2.4.2	Spécification de soudage de la GCC relative à la construction et à la réparation des navires .....	43
2.5	NORMES RELATIVES AUX ÉLECTRODES DE SOUDAGE ET AUX PRODUITS CONSOMMABLES .....	45
2.5.1	Norme CSA W48 – 06.....	45
2.6	CONCEPTION DE SOUDURE .....	45
2.7	JOINTS OBLIQUES.....	46
2.8	SOUDURES À FORTE PÉNÉTRATION .....	46
2.9	DÉCHIRURE LAMELLAIRE .....	47
2.10	QUALIFICATIONS DES SOUDEURS .....	49
2.11	SPÉCIFICATIONS DE LA PROCÉDURE DE SOUDAGE .....	53
2.12	FICHE DE DONNÉES SUR LA PROCÉDURE DE SOUDAGE.....	56
2.13	JOINTS PRÉ-QUALIFIÉS.....	57
2.14	SÉQUENCE DE SOUDAGE.....	58
2.15	PRÉCHAUFFAGE ET POST CHAUFFAGE.....	62
2.15.1	Méthode de contrôle de la dureté de la zone thermiquement affectée.....	63
2.15.2	Méthode de contrôle de l'hydrogène .....	63
2.16	PRATIQUES CONFORMES AUX NORMES DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ EN MATIÈRE DE SOUDAGE .	64
2.16.1	Rayonnement .....	64
2.16.2	Brûlures .....	65
2.16.3	Vapeurs et gaz .....	65
2.16.4	Décharge électrique .....	65
2.16.5	Incendies et explosions .....	65
2.16.6	Bruit .....	65
2.16.7	Produits chimiques.....	66
2.16.8	Trébuchements et chutes.....	66
<b>Section 3</b>	<b>ESSAIS MÉCANIQUES POUR LES SOUDURES.....</b>	<b>67</b>
3.1	ESSAIS DE PLIAGE POUR LES SOUDURES SUR CHANFREIN .....	68
3.2	ESSAIS DE TRACTION POUR LES SOUDURES SUR CHANFREIN .....	69
3.3	ESSAIS DE TÉNACITÉ POUR LES SOUDURES SUR CHANFREIN.....	69
3.4	ESSAIS DE QUALITÉ POUR LES SOUDURES D'ANGLE .....	70
3.5	ESSAIS DE CISAILLEMENT POUR LES SOUDURES D'ANGLE.....	70
3.6	ESSAIS DE RUPTURE AVEC ENTAILLE POUR LES SOUDURES SUR CHANFREIN OU LES SOUDURES D'ANGLE.....	71
3.7	ESSAIS DE DURETÉ POUR LES SOUDURES .....	71
3.8	ESSAIS POUR LES GOIJONS.....	72
<b>Section 4</b>	<b>INSPECTION DE SOUDAGE .....</b>	<b>74</b>
4.1	DÉFAUTS DE SOUDURE .....	74
4.2	NORMES D'ACCEPTATION DES SOUDURES .....	76
4.2.1	Profils.....	76
4.2.2	Discontinuités visibles .....	77
4.2.3	Discontinuités structurelles.....	77

4.3	INSPECTION VISUELLE .....	77
4.3.1	Avant l'assemblage ou la réparation à la soudure .....	78
4.3.2	Pendant l'assemblage ou la réparation à la soudure .....	80
4.3.3	Après l'assemblage ou la réparation à la soudure.....	81
4.3.4	Critères d'acceptation des soudures.....	82
4.3.5	Liste de contrôle pour l'inspection visuelle.....	85
4.4	ESSAI PAR RESSUAGE (PT).....	86
4.4.1	Qualification du personnel .....	86
4.4.2	Procédures.....	87
4.4.3	Critères d'acceptation .....	87
4.4.4	Rapports d'interprétation .....	87
4.4.5	Liste de contrôle pour l'essai par ressuage .....	88
4.5	CONTRÔLE MAGNÉTOSCOPIQUE .....	89
4.5.1	Qualification du personnel .....	89
4.5.2	Procédures.....	89
4.5.3	Critères d'acceptation .....	91
4.5.4	Rapports d'interprétation .....	91
4.5.5	Liste de contrôle de vérification pour le contrôle magnétoscopique.....	92
4.6	CONTRÔLE RADIOGRAPHIQUE .....	92
4.6.1	Qualification du personnel .....	93
4.6.2	Indicateurs de qualité d'image (pénétramètres).....	93
4.6.3	Densités de film .....	96
4.6.4	Flou géométrique .....	96
4.6.5	Qualité du film développé.....	98
4.6.6	Interprétation.....	98
4.6.7	Critères d'acceptation .....	98
4.6.8	Apparence des défauts de soudure sur le film radiographique.....	98
4.6.9	Gestion de la sélection des emplacements à examiner.....	103
4.6.10	Liste de contrôle pour l'inspection radiographique .....	103
4.7	CONTRÔLE ULTRASONORE (UT).....	104
4.7.1	Ondes longitudinales.....	104
4.7.2	Onde de cisaillement.....	105
4.7.3	Avantages.....	107
4.7.4	Inconvénients .....	107
4.7.5	Qualifications du personnel.....	107
4.7.6	Normalisation des instruments d'essai .....	108
4.7.7	Exigences de la norme CSA W59 pour le contrôle ultrasonore des soudures sur l'acier ...	108
4.7.8	Critères et rapports d'acceptation .....	110
4.7.9	Liste de contrôle pour le contrôle ultrasonore.....	111

<b>Section 5</b>	<b>PROGRAMMES DE LA QUALITÉ .....</b>	<b>113</b>
<b>ANNEX A</b>	<b>LIGNES DIRECTRICES RELATIVES À LA RÉPARATION DE SOUDURES CORRODÉES DANS LES TUYÈRES KORT .....</b>	<b>1</b>
A.1	PORTÉE .....	1
A.2	ÉLECTRODES DE SOUDAGE ET PRODUITS CONSOMMABLES .....	1
A.3	EXAMEN DE VALIDATION DES PROCÉDURES DE SOUDAGE .....	1
A.4	EXAMEN D'APTITUDE DU SOUDEUR .....	2
A.5	ÉLIMINATION DES REVÊTEMENTS PROTECTEURS .....	2
A.6	PRÉPARATION AU SOUDAGE .....	2
A.7	TECHNIQUE .....	2
A.8	EXIGENCES RELATIVES À L'INSPECTION .....	3
<b>ANNEX B</b>	<b>RÉPARATION DES DOMMAGES DUS AU FLAMBEMENT SANS PRÉCHAUFFAGE .....</b>	<b>1</b>
B.1	PORTÉE .....	1
B.2	LIMITATIONS D'USAGES .....	1
B.3	EXIGENCES CONCERNANT LE PERSONNEL .....	1
B.4	ÉQUIPEMENT ET MATÉRIAUX .....	3
B.5	QUALITÉ D'EXÉCUTION ET PROCÉDURES .....	3
B.5.1	Élimination du matériau endommagé .....	3
B.5.2	Préparation des bords en vue du soudage .....	4
B.5.3	Entreposage et conditionnement des électrodes .....	4
B.5.4	Aménagement et assemblage .....	4
B.5.5	Dimensions minimales des soudures d'angle .....	4
B.5.6	Paramètres de soudage .....	5
B.6	INSPECTION .....	5
B.6.1	Inspection visuelle .....	5
B.6.2	Contrôle magnétoscopique .....	5
B.7	CRITÈRES D'ACCEPTATION .....	5
B.8	CORRECTIONS ET RÉPARATIONS .....	5
<b>ANNEX C</b>	<b>LISTE IMPRIMÉE DES HYPERLIENS .....</b>	<b>1</b>
SECTION 1.0	MATÉRIAUX .....	1
SECTION 2.0	SOUDAGE .....	3
SECTION 3.0	ESSAIS MÉCANIQUES .....	3
SECTION 4.0	INSPECTION DU SOUDAGE .....	3
Figure 1 - Steel: Killed, Capped, Rimmed .....		7
Figure 2 - Acier à grain fin .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Figure 3 - Optical Micrograph .....		20
Figure 4 - Zones anodiques et cathodiques d'une surface d'acier non recouverte .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Figure 5 - La zone de cathode est plus grande que la zone d'anode sur les aciers non recouverts. ....		24
Figure 6 - Trajets de diffusion de la réaction corrosive sur l'acier non recouvert .....		26
Figure 7 - Corrosion par piqûres sur l'acier non recouvert, laissant apparaître des couches d'oxyde de fer. ....		28
Figure 8 - Boursouflures cathodiques entourant un emplacement anodique actif .....		28

Figure 9 - Différentes formes de piqure .....	29
Figure 10 - Corrosion caverneuse .....	30
Figure 11 - Piqures se formant entre un support à étrier et un tuyau .....	30
Figure 12 - Séries galvaniques .....	31
Figure 13 - Flux des électrons dans le couple fer-cuivre .....	32
Figure 14 - Ions de cuivres se déposant sur de l'aluminium et entraînant une corrosion .....	32
Figure 15 - Corrosion du métal de soudure.....	34
Figure 16 - Corrosion de la zone thermiquement affectée de la plaque de base .....	34
Figure 17 - Corrosion de la zone thermiquement affectée de la plaque de base .....	34
Figure 18 - Conception de joint permettant d'éviter la déchirure lamellaire.....	47
Figure 19 - Types de joints et types de soudures .....	48
Figure 20 - Les symboles de soudage .....	48
Figure 21 - Signification de l'emplacement de la flèche .....	49
Figure 22 - Spécification de procédure de soudage .....	54
Figure 23 - Fiche de données de procédure de soudage.....	56
Figure 24 - Séquence de soudage type – abouts et joints aligné .....	59
Figure 25 - Séquence de soudage type – abouts et joints décalés .....	59
Figure 26 Séquence de soudage type pour les abouts et les joints – membrures fixées.....	59
Figure 27 - Séquence de soudage type pour la réparation du bordé extérieur.....	60
Figure 28 - Ratio largeur et profondeur.....	62
Figure 29 - Principe schématique de la machine d'essai de dureté Vickers .....	72
Figure 30 - Profils de soudure d'angle inacceptables .....	83
Figure 31 - Profils de soudure sur chanfrein acceptables.....	83
Figure 32 - Profil de soudure sur chanfrein inacceptable.....	83
Figure 33 - Four types of IQIs in use today .....	94
Figure 34 - Positionnement de l'indicateur de qualité d'image pour une épaisseur égale .....	95
Figure 35 - Positionnement de l'indicateur de .....	95
Figure 36 - Dimension et positionnement de la cale .....	96
Figure 37 - Schéma fonctionnel, Détecteur de défaut à ultrasons.....	104
Figure 38 - Onde longitudinale .....	105
Figure 39 - Onde de cisaillement .....	106
Figure 40 - Technique de balayage typique .....	106
Figure 41 - Liste de contrôle pour le contrôle ultrasonore .....	113
Figure 42 - Préparation pour l'examen des procédures de soudage.....	1
Figure 43 - Bead Sequence for Weld Procedure Test .....	2
Figure 44 - Géométrie exigée pour la préparation .....	2
Figure 45 - Séquence de soudage pour la couche de beurrage.....	3
Figure 46 - Préparation exigée pour un métal d'apport en acier inoxydable.....	3
Figure 47 - Séquence d'exécution des cordons pour un métal d'apport en acier inoxydable .....	3
Figure 48 - Positions de soudage de l'examen d'aptitude .....	2
Tableau 1 - Aciers de résistance normale.....	3
Tableau 2 - Aciers de haute résistance .....	4
Tableau 3 - Organismes de normalisation nord-américains .....	9
Tableau 4 - Propriétés mécaniques.....	10
Tableau 5 - Catégorie de dureté, spécimens longitudinaux.....	10
Tableau 6 - Alliages inaptes au traitement thermique – utilisation marine.....	11
Tableau 7 - Alliages aptes au traitement thermique – utilisation marine .....	11
Tableau 8 - États.....	12
Tableau 9 - Composition chimique <sup>(1)</sup> .....	12
Tableau 10 - Propriétés mécaniques des produits laminés, 3 mm ≤ ép. ≤ 50 mm .....	13

Tableau 11 - Propriétés mécaniques des produits extrudés, $3 \text{ mm} \leq \text{ép.} \leq 50 \text{ mm}$ .....	14
Tableau 12 - Sources de renseignements sur les matériaux.....	18
Tableau 13 - Séquence de soudage type à l'intersection de l'about et du joint .....	61
Tableau 14 - Liste de contrôle pour l'inspection visuelle .....	85
Tableau 15 - Liste de contrôle pour l'essai par ressuage.....	88
Tableau 16 - Approximate amperage ranges for various magnetized methods .....	90
Tableau 17 - Liste de contrôle pour le contrôle magnétoscopique .....	92
Tableau 18- Liste de contrôle pour le contrôle radiographique .....	103
Tableau 19 - Dimensions de la soudure d'angle à passe simple .....	1
Tableau 20 - Produits consommables de soudage à l'arc avec électrode enrobée approuvés .....	3



## Section 1 MATÉRIAUX

---

Le présent guide pour la construction et la réparation des navires a été rédigé afin d'aider les représentants délégués du directeur, Ingénierie navale, Services techniques intégrés, Garde côtière canadienne, Pêches et Océans Canada (ci-après appelé le « représentant délégué ») à réaliser leurs tâches de façon plus efficace et plus précise en leur offrant des renseignements techniques fréquemment requis dans un format compressé facilement accessible. Les renseignements présentés dans ce guide ont été choisis en fonction de la mission et des responsabilités du personnel d'ingénierie navale en ce qui concerne la construction, l'entretien et la réparation des navires.

Il convient cependant de noter que même si les renseignements du présent document ont été rassemblés à partir des dernières éditions des différents documents de référence, les organisations et les sociétés de rédaction de normes mettent à jour et améliorent ou confirment avec diligence le contenu de leurs documents à intervalles réguliers. À ce titre, il faut en examiner le contenu fréquemment pour en vérifier l'exactitude technique et la pertinence. Pour obtenir des renseignements plus détaillés que ceux qui figurent dans le présent guide, il est recommandé que l'utilisateur obtienne et examine le document de départ ou communique directement avec l'organisation responsable de la publication.

### 1.1 ACIERS

[L'International Association of Classification Societies](#) (IACS) rédige et tient à jour les directives communes que chaque société membre est tenue d'adopter en intégrant l'esprit de ces directives dans ses règlements individuels avant une date précise définie par l'IACS. L'IACS prépare également des documents [de lignes directrices et de méthodes recommandées](#) qui ne correspondent pas nécessairement à une exigence obligatoire unifiée. Ainsi, toutes les sociétés membres n'adoptent pas ces documents.

Les exigences unifiées de l'IACS pour les matériaux sont disponibles dans le [document « UR W – Requirements Concerning Materials and Welding »](#) (exigences en matière de matériaux et de soudage). Les exigences pour l'acier de construction à basse teneur en carbone se trouvent dans la section W11 du document UR W.

Pour l'acier de construction à basse teneur en carbone, les systèmes de désignation classent généralement les nuances destinées à la construction navale de la manière suivante :

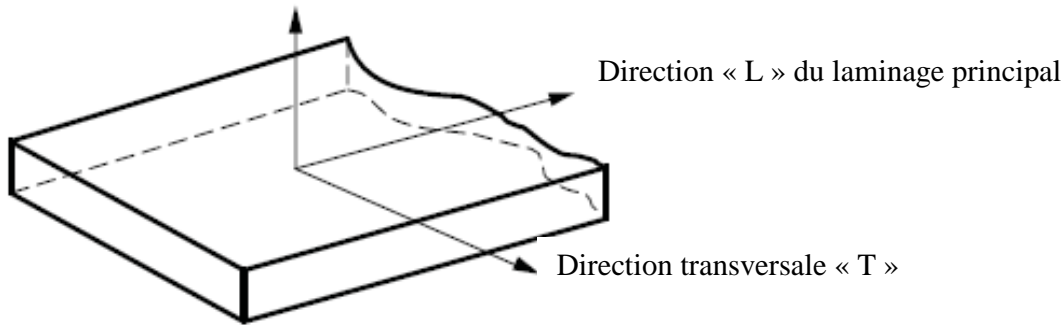
- Désoxydation
- Composition chimique
- Condition de fourniture (traitement par la chaleur ou emploi d'un laminoir);
- Résistance mécanique à la traction, limite d'élasticité et étirement
- Résilience Charpy V à différentes températures
- Limites de la valeur maximale d'équivalent de carbone

Les aciers de construction à basse teneur en carbone sont regroupés et classés en nomenclatures aciers de construction « de résistance normale » ou « de haute résistance ». Certaines sociétés ont des exigences concernant les aciers de construction « à très haute résistance » et les aciers de construction pour « une utilisation à basse température ». Les systèmes de désignation de chaque société sont semblables. Les aciers peuvent être assortis d'une note « Z » qui atteste de propriétés mécaniques précises de l'épaisseur totale.

### 1.1.1 Méthodes de fabrication (IACS)

#### Brut de laminage (BL)

Direction « Z » dans l'épaisseur totale



Cette procédure implique le laminage de l'acier à haute température avant son refroidissement à l'air. Les propriétés de résistance et de dureté de l'acier produit grâce à ce procédé sont généralement inférieures à celles de l'acier traité par la chaleur après laminage ou celles de l'acier produit grâce à des procédés avancés.

#### Normalisation, N

La normalisation implique le chauffage de l'acier laminé au-dessus de sa température critique avant son refroidissement à l'air. Ce procédé permet d'améliorer les propriétés mécaniques de l'acier brut de laminage en affinant son grain.

#### Laminage contrôlé, LC (laminage normalisant, LN)

Une procédure de laminage au cours de laquelle la déformation finale est effectuée dans la plage de température de normalisation, ce qui produit un matériau dont l'état équivaut généralement à celui obtenu grâce à la normalisation.

#### Laminage thermomécanique, LT

Il s'agit d'une procédure qui implique le contrôle strict de la température et de la réduction par laminage. Contrairement au laminage contrôlé, les propriétés du laminage thermomécanique ne peuvent pas être reproduites par la suite grâce à une normalisation ou à un autre traitement par la chaleur.

#### Refroidissement accéléré, RC

Le refroidissement accéléré est un procédé qui vise à améliorer les propriétés mécaniques grâce à un refroidissement contrôlé dont la vitesse est supérieure au refroidissement à l'air qui a lieu immédiatement après la dernière opération de laminage thermomécanique. La trempe directe est exclue du refroidissement accéléré. Les propriétés du laminage thermomécanique et du refroidissement accéléré ne peuvent pas être reproduites par la suite grâce à une normalisation ou à un autre traitement par la chaleur.

#### Trempe et revenu, TR

La trempe implique un procédé au cours duquel l'acier est chauffé au-dessus de sa température critique, puis est refroidi aux fins de durcissement de sa microstructure. Le revenu qui a lieu après la trempe est le procédé qui consiste à chauffer l'acier à une température précise afin d'en restaurer les propriétés de dureté en améliorant la microstructure.

- [Cliquez ici pour visionner une vidéo de U.S. Steel sur la fabrication de l'acier.](#)

**Tableau 1 - Aciers de résistance normale**

NUANCES	"A"	"B"	"D"	"E"
<b>MÉTHODE DE DÉSOXYDATION</b>	Pour une ép ≤50mm n'importe quelle méthode sauf l'acier effervescent <sup>(1)</sup> Pour une ép.> 50mm en acier calmé	Pour une ép. ≤ 50 mm, n'importe quelle méthode sauf l'acier effervescent Pour une ép. > 50 mm en acier calmé	Pour une ép. ≤ 25 mm en acier calmé Pour une ép. > 25 mm en acier calmé et traité pour un grain fin	Toutes les épaisseurs en acier calmé et traité pour un grain fin
<b>Composition chimique (% poids) <sup>(4) (7) (8)</sup></b>				
Carbone (max.)	0,21 <sup>(2)</sup>	0,21	0,21	0,18
Manganèse (min.)	2,5 x C	0,80 <sup>(3)</sup>	0,60	0,70
Silicium (max.)	0,50	0,35	0,35	0,35
Phosphore (max.)	0,035	0,035	0,035	0,035
Soufre (max.)	0,035	0,035	0,035	0,035
Al (soluble dans l'acide– min)	-	-	0,015 <sup>(5)</sup>	0,015 <sup>(6)</sup>
Al (contenu total)	-	-	0,020	0,020
<b>Condition de fourniture</b> BL = brut de laminage N = normalisation LC = laminage contrôlé LT = laminage thermomécanique	Pour une ép≤50mm n'importe quelle méthode Pour une ép>50mm N, LC ou LT <sup>(9)</sup>	Pour une ép≤50mm n'importe quelle méthode Pour une ép>50mm N, LC ou LT <sup>(9)</sup>	Pour une ép. ≤ 50 mm, n'importe quelle méthode Pour une ép>50mm N, LC ou LT <sup>(9)</sup>	Pour une ép. ≤100mm, N ou LT <sup>(9)</sup>
<b>PROPRIÉTÉS PHYSIQUES</b>				
Résistance à la traction (N/mm <sup>2</sup> )	400-520 (11)	400-520	400-520	400-520
Limite d'élasticité (min) (N/mm <sup>2</sup> )	235	235	235	235
Éirement	22 % min.	22 % min.	22 % min.	22 % min.
<b>RÉSISTANCE À L'EFFET D'ENTAILLE</b>				
Température d'essai	20 °C	0 °C	-20 °C	-40 °C
Énergie moyenne <sup>(10)</sup>		<sup>(12)</sup>		
ép. ≤ 50 mm	Non requis	27 J	27 J	27 J
50 mm < ép. ≤ 70 mm	34 J	34 J	34 J	34 J
70 mm < ép ≤ 100 mm	41 J	41 J	41 J	41 J

**Remarque 1** Nuance A, ép≤12,5mm peut correspondre à de l'acier effervescent sous réserve d'acceptation de la société

**Remarque 2** Max. de 0,23 % pour les sections.

**Remarque 3** Pour la nuance B, soumis à une épreuve de choc, peut être réduit à 0,60 %.

**Remarque 4** Des variations peuvent être permises ou requises en cas de laminage thermomécanique.

**Remarque 5** Pour la nuance D > ép. de 25 mm.

**Remarque 6** La valeur maximale peut être indiquée par la société, et les autres éléments d'affinage du grain peuvent être utilisés avec l'approbation de la société.

**Remarque 7** La société peut limiter la quantité d'éléments résiduels comme les éléments Cu et Sn.

**Remarque 8** Le contenu des éléments supplémentaires doit être indiqué.

**Remarque 9** Peut être fourni brut de laminage avec l'approbation de la société (se reporter aux règlements).

**Remarque 10** Valeur minimale moyenne pour la direction longitudinale. Pour la direction transversale, réduire 27 J à 20 J, 34 J à 24 J et 41 J à 27 J.

**Remarque 11** Pour la nuance A, la résistance maximale à la traction peut être dépassée à la discrétion de la société et si le grain fin est fourni, les épreuves de choc pour l'acier normalisé et laminé thermomécaniquement ne sont pas requises.

**Remarque 12** Pour la nuance B, ép. ≤ 25 mm, les essais de résilience Charpy V ne sont généralement pas requis.

**Tableau 2 - Aciers de haute résistance**

NUANCES	«AH-XX»	«DH-XX»	«EH-XX»	« FH-XX »
Méthode de désoxydation	Acier calmé et traité pour un grain fin.			
Composition chimique (% poids) <sup>(4) (6)</sup>				
▪ Carbone (max.)	0,18 0,90-1,60 <sup>(1)</sup>			0,16
▪ - Manganèse (min.)	0,50 0,035			0,90-1,60
▪ - Silicium (max.)	0,035			0,50
▪ - Phosphore (max.)				0,025
▪ - Soufre (max.)				0,025
- Al (soluble dans l'acide – min)	0,015 <sup>(2) (3)</sup>			0,015 <sup>(2) (3)</sup>
- Nb	0,02 – 0,05 <sup>(3)</sup>			0,02 – 0,05 <sup>(3)</sup>
- V	0,05 – 0,10 <sup>(3)</sup>			0,05 – 0,10 <sup>(3)</sup>
- Al + Nb + V total (max.)	0,12			0,12
- Ti (max.)	0,02			0,02
- Cu (max.)	0,35			0,35
- Cr (max.)	0,20			0,20
- Ni (max.)	0,40			0,80
- Mo (max.)	0,08			0,08
- N (max.)	-			0,009 ou 0,012 en
- Équivalent de carbone <sup>(5) (7)</sup>				présence de Al
Remarque 1	La teneur en manganèse peut être réduite à 0,70 pour une ép≤12,5mm			
Remarque 2	Méthode de teneur totale en aluminium non inférieure à 0,020 %.			
Remarque 3	En combinaison avec d'autres éléments d'affinage de grain, le minimum n'est pas applicable.			
Remarque 4	Lorsqu'une nuance est fournie sous la forme d'un laminage thermomécanique, des variations de la composition chimique peuvent être acceptées ou requises par la société.			
Remarque 5	Au besoin, la valeur de l'équivalent de carbone (Ceq) doit être calculée à partir de l'analyse de coulée à l'aide de la formule suivante : Ceq=C+(Mn/6)+(Cr+Mo+V/5)+(Ni+Cu/15) (%).			
Remarque 6	Les autres éléments ne figurant pas dans le présent document doivent être indiqués.			
Remarque 7	La vulnérabilité au craquelage à froid provoqué par l'hydrogène peut être calculée à l'aide de la formule suivante :  Pcm=C+(Si/30)+(Mn/20)+(Cu/20)+(Ni/20)+(Cr/20)+(Mo/15)+(V/10)+5B (%).			
Pour les aciers de haute résistance laminés thermomécaniquement (LT) d'une épaisseur ≤ 100 mm, les équivalents en carbone ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes :				
Nuance	ép. ≤ 50 mm		50 mm < ép. ≤ 100 mm	
« XX-32 »	0,36 % max.		0,38 % max.	
« XX-36 »	0,38 % max.		0,40 % max.	
« XX-40 »	0,40 % max.		0,42 % max.	

ACIERS DE HAUTE RÉSISTANCE (SUITE) : CONDITION DE FOURNITURE				
NUANCES	AH-32/36		DH-32/36	EH-32/36
Éléments d'affinage du grain				
N'importe quel	S.O.		S.O.	ép. ≤ 100 mm N ou LT
Nb ou V	ép. ≤ 12,5 mm, N'IMPORTE QUEL  12,5 mm < ép. ≤ 100 mm N, LC ou LT		ép. ≤ 12,5 mm, n'importe quel  12,5 mm < ép. ≤ 100 mm, N, LC ou LT	S.O.
Al seulement ou + Ti	ép. ≤ 20 mm, n'importe quel  20 mm < ép. ≤ 35 mm n'importe quel, BL sous réserve d'acceptation de la société  35 mm < ép. ≤ 100 mm, N, LC ou LT		ép. ≤ 20 mm, n'importe quel  20 mm < ép. ≤ 25 mm n'importe quel, BL sous réserve d'acceptation de la société  25 mm < ép. ≤ 100 mm, N, LC ou LT	S.O.
BL = brut de laminage	N = normalisation	LC = laminage contrôlé	LT = laminage thermomécanique	TR = trempe et revenu
Pour les autres nuances de matériau veuillez consulter le tableau 5 de la norme W11 de l'IACS				
NUANCES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES		AH - XX	DH-XX	EH-XX  FH-XX
Résistance à la traction (N/mm2)				
« XX »- 32		440-570		
« XX »- 36		490/630		
« XX »- 40		510/660		
Limite d'élasticité (min.) (N/mm <sup>2</sup> )				
“XX”- 32		315		
“XX”- 36		355		
“XX”- 40		390		
Étirement				
“XX”- 32		22% min.		
“XX”- 36		21% min.		
“XX”- 40		20% min.		

NUANCES RÉSISTANCE À L'EFFET D'ENTAILLE			AH-XX		DH-XX		EH-XX		FH-XX	
Température d'essai			0°C		-20°C		-40°C		-60°C	
Énergie moyenne (J min.)	Long	Trans	Long	Trans	Long	Trans	Long	Trans	Long	Trans
ép. ≤ 50 mm										
« XX-32 »	31	22	31	22	31	22	31	22	31	22
« XX-36 »	34	24	34	24	34	24	34	24	34	24
« XX-40 »	39	26	39	26	39	26	39	26	39	26
50 mm < ép. ≤ 70 mm										
« XX-32 »	38	26	38	26	38	26	38	26	38	26
« XX-36 »	41	27	41	27	41	27	41	27	41	27
« XX-40 »	46	31	46	31	46	31	46	31	46	31
70 mm < ép. ≤ 100 mm										
« XX-32 »	46	31	46	31	46	31	46	31	46	31
« XX-36 »	50	34	50	34	50	34	50	34	50	34
« XX-40 »	55	37	55	37	55	37	55	37	55	37

### 1.1.2 Matériaux de remplacement

Tout au long de la durée de vie opérationnelle du navire, les modifications et les réparations obligeront l'entrepreneur à fournir des aciers d'une nuance équivalente aux matériaux déjà installés au cours de la nouvelle étape de construction. Pour de petites quantités d'acier, la probabilité de se voir fournir des aciers de construction de navires approuvés par une société de classification est très faible.

Les aciéries produisent des matériaux qui respectent de nombreuses normes d'acceptation ou de conformité des matériaux et qui sont accumulés par l'aciérie ou par les partenaires de distribution. Les entrepreneurs demandent donc souvent à leur partenaire de distribution de leur fournir des aciers de construction de navires ou l'équivalent.

S'il se fait offrir un matériau équivalent qui respecte des normes différentes que celles correspondant aux règlements de la société de classification, le service d'assurance de la qualité de l'entrepreneur doit fournir les documents d'information suivants pour valider l'équivalence.

- Les exigences du règlement correspondant à la nuance d'acier indiquée à l'origine.
- Le certificat de l'aciérie à l'origine de la fabrication.
- Un exemplaire de la norme de conformité indiquée sur le certificat de l'aciérie.

Une fois ces documents obtenus, l'entrepreneur doit préparer un dossier d'évaluation comparative, et son service d'assurance de la qualité doit le fournir au représentant délégué.

Il est important de souligner que la détermination doit garantir que la désignation de l'acier en fonction de l'autre norme présente les mêmes exigences pour toutes les propriétés indiquées dans la désignation d'acier de la société de classification. Il convient d'accorder une attention particulière aux exigences de la désoxydation, du traitement par la chaleur et de la résilience Charpy V de la norme de conformité. Il faut garder à l'esprit que chaque norme traite des exigences relatives à ces propriétés de manière différente, et parfois pas du tout.

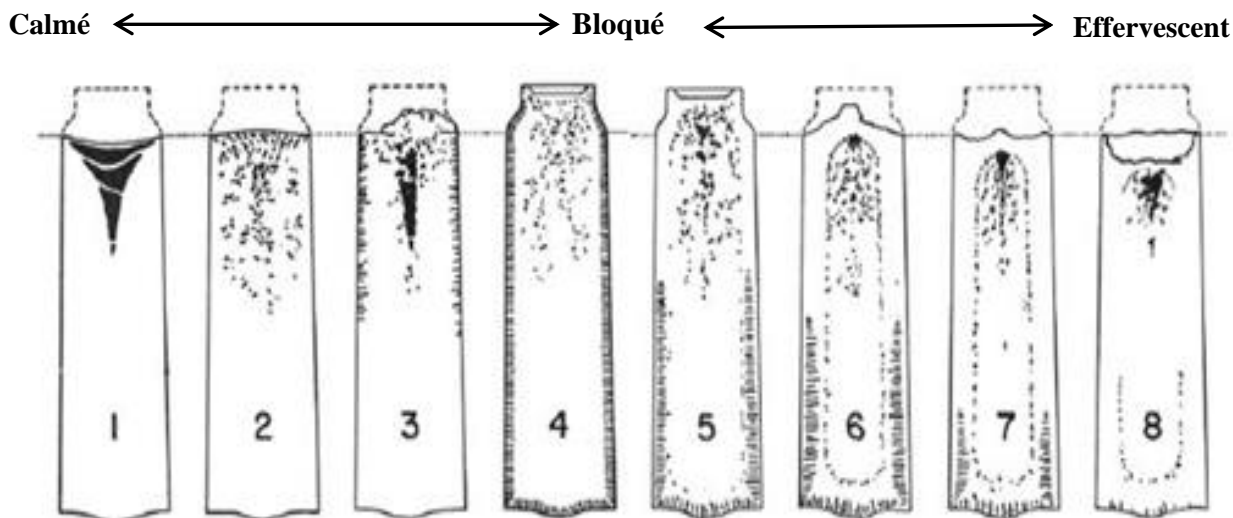
Les éléments suivants doivent figurer dans le dossier d'évaluation comparative :

1. **Le certificat de l'aciérie** à l'origine de la fabrication. Il faut faire preuve de prudence lorsque seul un énoncé de conformité provenant de la source d'approvisionnement a été utilisé sans confirmation de la source de fabrication. Les noms commerciaux du fabricant ne doivent pas être considérés comme seuls éléments de preuve.

## 2. Le procédé de désoxydation (il doit être identique ou permettre d'atteindre le même résultat).

Les renseignements suivants sont disponibles dans la dernière édition des normes CSA G40.20M et G40.21M.

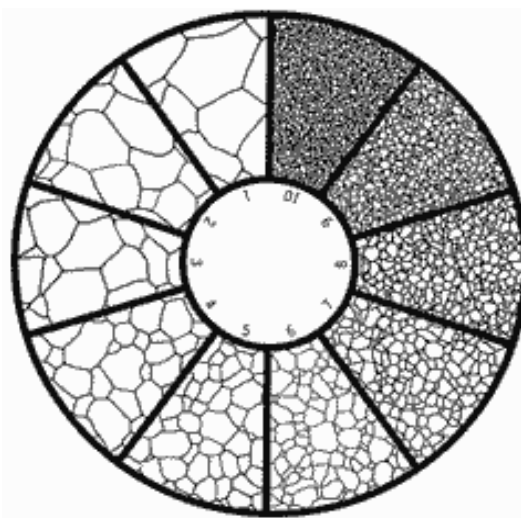
- **Acier effervescent** : acier contenant suffisamment d'oxygène dissous pour produire une évolution contrôlée et continue du monoxyde de carbone alors que le lingot se solidifie, ce qui produit une enveloppe ou une couronne de métal pratiquement exempte de cavités.
- **Acier semi-calmé** : acier partiellement désoxydé contenant suffisamment d'oxygène dissous pour former juste assez de monoxyde de carbone pendant la solidification pour compenser la retassure de solidification.
- **Acier calmé** : acier désoxydé grâce à l'ajout d'agents de désoxydation puissants ou à un traitement sous vide permettant de réduire la teneur en oxygène dissous à un niveau tel qu'aucune réaction ne se produit entre le carbone et l'oxygène pendant la solidification.



*Figure 1 - Acier : calmé, effervescent, non calmé*

**Acier à grain fin** : Matériau qui rencontre une des conditions suivantes:

- a) Le matériau présente une taille de grain austénitique de no. 5 ou supérieur sur au moins 70 % de la surface examinée.
- b) La teneur en aluminium de l'analyse thermique présentée n'est pas inférieure à 0,020 % de la teneur totale en aluminium ou n'est pas inférieure à 0,015 % d'aluminium soluble dans l'acide.



*Figure 2 Acier à grain fin*

## 3. La composition chimique et l'équivalent en carbone. Pour les aciers de résistance ordinaire, la quantité de carbone plus 1/6 de manganèse ne doit pas dépasser 0,40 %. Les exigences du règlement des sociétés de



classification imposent des limites aux éléments afin de garantir une bonne soudabilité. Si certains éléments chimiques dépassent les exigences du règlement, appliquer la formule d'équivalent en carbone IIW (1) pour les aciers de résistance normale ou ordinaire et la formule Pcm (2) pour les aciers de haute et de très haute résistance pour déterminer la soudabilité. N'oubliez pas que de légères augmentations de la quantité de chrome, de molybdène, de vanadium et de bore peuvent avoir un effet considérable sur la trempabilité.

**Remarque (1)**  $C_{eq} = C + (Mn/6) + (Cr + Mo + V/5) + (Ni + Cu/15) = \%$

**Remarque (2)**  $P_{cm} = C + (Si/30) + (Mn/20) + (Cu/20) + (Ni/20) + (Cr/20) + (Mo/15) + (V/10) + 5B = \%$

4. **La condition de fourniture.** Les propriétés de résistance et de dureté des aciers bruts de laminage sont généralement inférieures à celles des aciers normalisés, de laminage contrôlé et laminés thermo-mécaniquement.
5. **Les propriétés de la limite d'élasticité, de la résistance mécanique à la traction et de l'étirement.** Une augmentation ou une diminution de la résistance du matériau (limite d'élasticité et résistance mécanique à la traction), ainsi qu'une réduction des propriétés d'étirement peuvent avoir de graves répercussions sur la durée de vie d'une structure. L'étirement est une mesure de la ductilité. Une ductilité faible peut entraîner des fissures lorsque l'on soude des plaques et des joints épais soumis à des contraintes élevées. Veuillez également vous assurer que les longueurs entre repères des spécimens mis à l'essai et utilisés pour calculer le pourcentage d'étirement sont comparables.
6. **Les propriétés de résilience Charpy V.** Toutes les normes de conformité des matériaux traitent des propriétés de résilience différemment. D'abord et avant tout, assurez-vous que la direction et les valeurs de température du spécimen mis à l'essai sont identiques lorsque vous comparez les propriétés de résilience. Les valeurs minimales de l'énergie de résilience mesurées en joules (J) pour les spécimens mis à l'essai dans la direction longitudinale sont supérieures à celles de la direction transversale. Pour les aciers de construction de navires, les valeurs minimales d'énergie augmentent en fonction de l'épaisseur pour une même nuance de matériau. N'importe quelle nuance d'acier de construction de navire peut être assortie d'une note modifiée (M) qui signifie que l'amélioration des exigences diffère des exigences du règlement de la société de classification; par exemple, le bordé extérieur du NGCC Terry Fox dans certaines zones de bordé renforcé correspond à EH-36-M, où la température pour les essais de résilience Charpy V a été modifiée de -40 °C à - 60 °C. Toutes les nuances d'acier peuvent être assorties d'une note « Z ». Les aciers de qualité « Z » comportent des propriétés précises de l'épaisseur totale telles qu'une amélioration de la ductilité ou de la dureté dans la direction de Z.
7. **La fréquence des essais à la source de fabrication.** Toutes les normes de conformité des matériaux ne sont pas égales de ce point de vue. Déterminez la fréquence (par plaque, par un certain nombre de tonnes d'acier, etc.) dans l'autre norme de conformité et déterminez si elle est équivalente à celle correspondant aux règlements de la société de classification.

Traitez les tôles d'acier de construction avec prudence. Les normes de conformité des matériaux classent les matériaux inférieurs à 5 mm d'épaisseur comme de la tôle. La plupart des normes relatives aux tôles les regroupent en tant que matériaux de qualité utilitaire ou de qualité construction. Les matériaux de qualité utilitaire n'offrent aucune garantie de présenter des propriétés uniformes de résistance mécanique à la traction, de limite d'élasticité et d'étirement, et la composition chimique n'est pas contrôlée aux fins de la soudabilité.



### 1.1.3 Organismes de normalisation nord-américains

La plupart des substituts de l'acier offerts par les entrepreneurs respectent vraisemblablement une norme provenant de l'un des organismes de rédaction de normes nord-américains suivants :

**Tableau 3 - Organismes de normalisation nord-américains**

<b>Association Canadienne De Normalisation (CSA)</b>	
<b>Aciers de construction</b>	<b>CSA G40.20/G40.21</b> – Exigences générales relatives à l'acier de construction laminé ou soudé/Acier qualité construction. Unités SI (métriques) avec les unités impériales entre parenthèses. Ces normes ont été harmonisées le plus possible avec les normes ASTM A6/A6M et A568/A568M.
<b>American Society For Testing And Materials (ASTM)</b>	
<b>Aciers de construction</b>	<b>A6</b> Acier structural au carbone. <b>A131</b> Spécification générale pour l'acier structural des navires. <b>A20</b> Exigences générales pour les tôles d'acier pour réservoirs sous pression. <b>A36</b> Spécification générale pour l'acier structural au carbone. <b>A242</b> Spécification générale pour l'acier à haute résistance faiblement allié. Comprend les aciers résistants à la corrosion atmosphérique. <b>A516</b> Spécification générale pour les tôles d'acier au carbone pour réservoirs sous pression Acier, pour service à température modérée et basse. <b>A537</b> Spécification générale pour les tôles d'acier pour réservoirs sous pression, traitées thermiquement, Acier au carbone-manganèse-silicium.
<b>American Society Of Mechanical Engineers (ASME)</b>	
<b>Aciers pour appareils à pression</b>	Utilise les désignations d'acier de l'ASTM. Les aciers sont regroupés par numéro « P ». <b>P1</b> = Aciers au carbone-manganèse (4 numéros de groupe). <b>P6</b> = Aciers inoxydables martensitiques (6 numéros de groupe). <b>P7</b> = Aciers ferritiques (nuances 409, 430). <b>P8</b> = Aciers inoxydables austénitiques : > Groupe 1 – nuances 304, 316, 317, 347; > Groupe 2 – nuances 309, 310; > Groupe 3 – nuances riches en manganèse; > Groupe 4 – nuances riches en molybdène.
<b>American Iron &amp; Steel Institute (AISI) Et La Society Of Automotive Engineers (SAE)</b>	
<b>Tôles et barres en acier</b>	Ne correspond pas à une spécification détaillée, mais à un système de désignation. « <b>XXXX</b> » 1 <sup>er</sup> chiffre      catégorie principale 2 <sup>e</sup> chiffre      sous-catégorie Les 3 <sup>e</sup> et 4 <sup>e</sup> chiffres correspondent à la teneur en carbone en centièmes de un pour cent.  <b>10XX</b> = Acier simple au carbone <b>11XX</b> = Acier simple au carbone, resulfuré <b>12XX</b> = Acier simple au carbone, resulfuré et rephosphoré <b>13XX</b> = Acier simple au carbone, 1,75 % de manganèse <b>15XX</b> = Acier simple au carbone, de 1 à 1,65 % de manganèse

**Remarque:** Pour plus de précisions, veuillez consulter le volume 1 du manuel de l'American Society for Metals.

### 1.1.4 Normes CSA G40.20M et CSA G40.21M

Les aciers qui respectent les normes CSA sont ceux qui sont le plus souvent proposés en remplacement. Le système CSA classe les aciers en fonction de leur limite d'élasticité, de leur type et de leur catégorie de dureté.

**Tableau 4 - Propriétés mécaniques**

Nuance	Résistance mécanique à la traction, MPa <sup>(1)</sup>	Limite d'élasticité, MPa <sup>(1)</sup>		Étirement, % minimal, longitudinal		Étirement, % minimal, transversal	
		ép. ≤ 65 mm	ép. > 65 mm	En 200 mm	≤ 150 mm	ép. ≤ 65 mm	ép. > 65 mm
<b>260 W, WT</b>	410-590	260	250	20	23	18	21
<b>300 W, WT</b>	440-610	300	280	20	23	18	21
<b>350 W, WT</b>	450-650	350	320	19	22	17	20
<b>350 A, AT</b>	480-650	350	350 <sup>(3)</sup>	19	21	17	19
<b>380 W <sup>(2)</sup></b>	480-650	380	350	18	21	-	-
<b>400 W, WT</b>	520-690	400	370	16	18	13	15
<b>400 A, AT</b>	520-690	400	-	18	21	15	18
<b>450 W, WT</b>	550-725	450	420	16	17	12	15
<b>480 W, WT</b>	590-790	480	450	15	17	12	14
<b>480 A, AT</b>	590-790	480	-	15	17	12	14
<b>550 W, WT</b>	620-860	550	520	13	15	10	12
<b>550 A, AT</b>	620-860	550	-	13	15	10	12
<b>700 Q, QT</b>	760-895	700	620 <sup>(3)</sup>	-	18	-	16

« W » = Aciers soudables (« Weldable ») pour la construction soudée générale.

« WT » = Aciers soudables pour la construction soudée dans les cas où une bonne résistance à l'effet d'entaille à basse température est requise. La catégorie de dureté (température) doit être précisée par l'acheteur.

« A » = Acier de construction soudable résistant à la corrosion atmosphérique.

« AT » = Acier résistant à l'effet d'entaille soudable et résistant à la corrosion atmosphérique. La catégorie de dureté (température) doit être précisée par l'acheteur.

« Q » = Acier faiblement allié trempé et revenu.

« QT » = Aciers résistants à l'effet d'entaille faiblement alliés, trempés et revenus. La catégorie de dureté (température) doit être précisée par l'acheteur.

**Remarque 1** 1 MPa=1 N/mm<sup>2</sup>.

**Remarque 2** Pour les épaisseurs < 8 mm et > 90 mm, consultez les clauses 8.3.1.1 et 8.3.1.2 de la norme d'essai CSA G40.20.

**Remarque 3** 65 mm < ép. ≤ 100 mm.

**Tableau 5 - Catégorie de dureté, spécimens longitudinaux**

Essai Charpy-V	« 1 »	« 2 »	« 3 »	« 4 »	« 5 »
Nuance	Énergie				
260 et 300 WT	20 J	20 J	20 J	20 J	Précisé par l'acheteur pour toutes les nuances
350 – 550 WT	27 J	27 J	27 J	27 J	
350 – 550 AT	27 J	27 J	27 J	27 J	
700 QT	34 J	34 J	34 J	34 J	
Température d'essai	0 °C	-20 °C	-30 °C	-45 °C	Précisé par l'acheteur

## 1.2 ALUMINIUM

L'aluminium et des alliages d'aluminium sont utilisés pour la structure de la coque dans le cas des embarcations rapides de sauvetage et des navires de recherche et sauvetage et de surveillance des pêches.

Le système de numérotation utilisé pour classer l'aluminium est basé sur trois éléments :

1. Alliages aptes et inaptes au traitement thermique.
2. État.
3. Composition chimique.

Contrairement aux aciers, pour lesquels l'ajout d'éléments d'alliage produit une plus grande résistance, les propriétés mécaniques de certains des alliages de moulage d'aluminium seulement dépendent uniquement de leur composition.

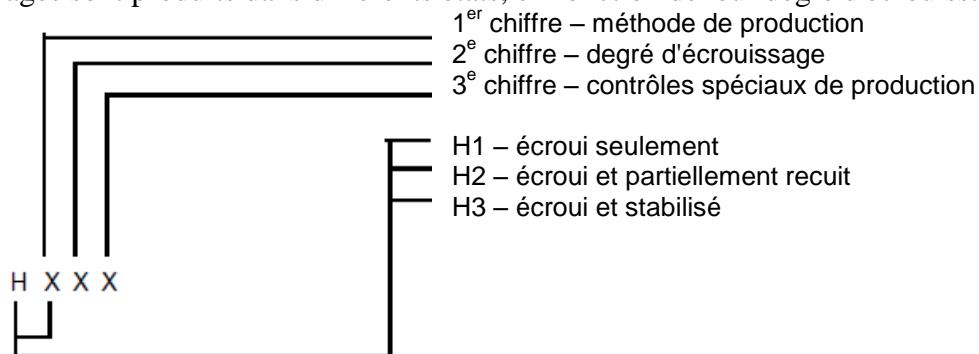
Les alliages de corroyage inaptes au traitement thermique sont ceux pour lesquels les propriétés mécaniques sont améliorées grâce à l'écrouissage, comme le laminage et l'étirage à froid.

### 1.2.1 Alliages inaptes au traitement thermique – utilisation marine

*Tableau 6 - Alliages inaptes au traitement thermique – utilisation marine*

Alliage	Applications
1050	Équipement chimique et alimentaire
1100	Feuille, ustensiles de cuisson, applications de formage
5083 5383 5059 5086 5456 5754	Principaux alliages de construction.
5454	Alliage de construction à des températures élevées.

Ces alliages sont produits dans différents états, en fonction de leur degré d'écrouissage.



Le deuxième chiffre indique le degré d'écrouissage, et le troisième chiffre indique un degré particulier de contrôle de l'état de base à deux chiffres, ce qui produit une différence de propriétés appréciable.

### 1.2.2 Alliages aptes au traitement thermique – utilisation marine

Les alliages d'aluminium aptes au traitement thermique présentent la caractéristique précieuse de réagir au traitement thermique par une augmentation de la résistance supérieure à ce que permet l'écrouissage seul.

*Tableau 7 - Alliages aptes au traitement thermique – utilisation marine*

Alliage	Applications
6005A 6061 6082 6351	Extrusions structurales
6063	Extrusions architecturales et extrusions structurales légères

Ces alliages sont également produits dans différents états, en fonction de leur traitement thermique.

**Tableau 8 - États**

<b>T1</b>	Refroidi à partir d'un procédé à température élevée et vieilli naturellement pour offrir un état foncièrement stable.
<b>T2</b>	Refroidi à partir d'un procédé à température élevée, écroui et vieilli naturellement pour offrir un état foncièrement stable.
<b>T3</b>	Mis en solution, écroui et vieilli naturellement pour offrir un état foncièrement stable.
<b>T4</b>	Mis en solution et vieilli naturellement pour offrir un état foncièrement stable.
<b>T5</b>	Refroidi à partir d'un procédé à température élevée, puis vieilli artificiellement.
<b>T6</b>	Mis en solution, puis vieilli artificiellement.
<b>T7</b>	Mis en solution et stabilisé.
<b>T8</b>	Mis en solution, écroui, puis vieilli artificiellement.
<b>T9</b>	Mis en solution, vieilli artificiellement, puis écroui.
<b>T10</b>	Refroidi à partir d'un procédé à température élevée, écroui, puis vieilli artificiellement.

Au moment d'évaluer la pertinence d'un alliage d'aluminium, les éléments suivants doivent être pris en compte : la résistance à la corrosion, les propriétés physiques de l'alliage correspondant à la désignation de l'état offert, la soudabilité et la formabilité, la température de service et la conformité de la couleur après l'anodisation.

Les tableaux suivants résument les exigences de conformité offertes dans le document UR W de l'IACS – matériaux et soudage, section W25 – alliages d'aluminium pour la construction de la coque et les structures marines. Il est très important de noter que l'état d'un alliage donné a des effets importants sur ses propriétés physiques et mécaniques.

**Tableau 9 - Composition chimique <sup>(1)</sup>**

Nuance	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti <sup>(2)</sup>	Autres éléments	
									Chacun	Total
<b>5083</b>	0,40	0,40	0,10	0,40 – 1,0	4,0– 4,9	0,05–0,25	0,25	0,15	0,05	0,15
<b>5383</b>	0,25	0,25	0,20	0,7 – 1,0	4,0– 5,2	0,25	0,40	0,15	0,05 (5)	0,15 (5)
<b>5059</b>	0,45	0,50	0,25	0,6 – 1,2	5,0– 6,0	0,25	0,40–0,90	0,20	0,05 (6)	0,15 (6)
<b>5086</b>	0,40	0,50	0,10	0,20 – 0,7	3,5– 4,5	0,05–0,25	0,25	0,15	0,05	0,15
<b>5754</b>	0,40	0,40	0,10	0,50 (3)	2,6– 3,6	0,30 (3)	0,20	0,15	0,05	0,15
<b>5456</b>	0,25	0,40	0,10	0,50 – 1,0	4,7– 5,5	0,05–0,20	0,25	0,20	0,05	0,15
<b>6005A</b>	0,50–0,9	0,35	0,30	0,50 (4)	0,40–0,7	0,30 (4)	0,20	0,10	0,05	0,15
<b>6061</b>	0,40–0,8	0,7	0,15–0,40	0,15	0,8– 1,2	0,04–0,35	0,25	0,15	0,05	0,15
<b>6082</b>	0,7–1,13	0,50	0,10	0,40 – 1,0	0,6– 1,2	0,25	0,20	0,10	0,05	0,15

**Remarques :**

1) La composition en pourcentage en masse par masse est maximale, sauf si elle est indiquée en tant qu'amplitude ou en tant que valeur minimale.

2) Comprend les éléments Ni, Ga, V et les éléments énumérés pour lesquels aucune limite précise n'est indiquée. Il n'est pas nécessaire de réaliser l'analyse normale.

3) Mn + Cr : 0,10-0,60

4) Mn + Cr : 0,12-0,50

5) Zr : maximum 0,20. Le total des autres éléments ne comprend pas le Zirconium.

6) Zr : 0,05-0,25. Le total des autres éléments ne comprend pas le Zirconium.

**Tableau 10 - Propriétés mécaniques des produits laminés, 3 mm ≤ ép. ≤ 50 mm**

Nuance	État (3)	Résistance mécanique à la traction N/mm <sup>2</sup>	Limite d'élasticité N/mm <sup>2</sup>	Étirement %min <sup>(1)</sup>		Remarques
				A50 mm	A5d	
5083	O	350-275	125	16	14	(1) L'étirement à 50 mm s'applique à des épaisseurs égales ou supérieures à 12,5 mm, et l'étirement à 5d à des épaisseurs supérieures à 12,5 mm.
	H111	350-275	125	16	14	
	H112	275	125	12	10	
	H116	305	215	10	10	
	H321	305-385	215-295	12	10	
5383	O	290	145	-	17	(2) 8 % pour des épaisseurs égales ou inférieures à 6,3 mm.
	H111	290	145	-	17	
	H116	305	220	10	10	
	H321	305	220	10	10	
5059	O	330	160	24	24	(3) Les propriétés mécaniques des états O et H111 sont identiques. Cependant, elles sont séparées afin de dissuader le recours à la double certification, étant donné que ces états correspondent à des traitements différents.
	H111	330	160	24	24	
	H116, 3 < ép < 20 (mm)	370	270	10	10	
	H116, 20 < ép. < 50 (mm)	360	260	-	10	
	H321, 3 < ép. < 20 (mm)	370	270	10	10	
	H321, 20 < ép. < 50 (mm)	360	260	-	10	
5086	O	305-240	95	16	14	
	H111	305-240	95	16	14	
	H112, 3 < ép. < 12,5 (mm)	250	125	8	-	
	H112, 12,5 < ép. < 50 (mm)	240	105	-	9	
	H116	275	195	10 (2)	9	
5754	O	240-190	80	18	17	
	H111	240-190	80	18	17	
5456	O, 3 < ép. < 6,3 (mm)	365-290	205-130	16	-	
	O, 6,3 < ép. < 50 (mm)	360-285	205-125	16	14	
	H116, 3 < ép. < 30 (mm)	315	230	10	10	
	H116, 30 < ép. < 40 (mm)	305	215	-	10	
	H116, 40 < ép. < 50 (mm)	285	200	-	10	
	H321, 3 < ép. < 12,5 (mm)	405-315	315-215	12	-	
	H321, 12,5 < ép. < 40 (mm)	385-305	305-215	-	10	
	H321, 40 < ép. < 50 (mm)	370-285	295-200	-	10	

**Remarque :** 5456 H111= UTS 320 MPa, YS 230 MPa, étirement 18 %, 5086 H32=UTS 290 MPa, YS 207 MPa, étirement 12 %

**Tableau 11 - Propriétés mécaniques des produits extrudés, 3 mm ≤ ép. ≤ 50 mm**

Nuance	État (3)	Résistance mécanique à la traction N/mm <sup>2</sup>	Limite d'élasticité N/mm <sup>2</sup>	Étirement, % min. <sup>(1) (2)</sup>		Remarques
				A50 mm	A5d	
5083	O	350-270	110	14	12	1 : L'étirement à 50 mm s'applique à des épaisseurs égales ou supérieures à 12,5 mm, et l'étirement à 5d à des épaisseurs supérieures à 12,5 mm.
	H111	275	165	12	10	
	H112	270	110	12	10	
5383	O	290	145	17	17	
	H111	290	145	17	17	
	H112	310	190	-	13	
5059	H112	330	200	-	10	
5086	O	315-240	95	14	12	
	H111	250	145	12	10	
	H112	240	95	12	10	
6005A	T5	260	215	9	8	2 : Les valeurs s'appliquent aux spécimens d'essai de traction longitudinale et transversale.
	T6, 3<ép.<10(mm)	260	215	8	6	
	T6, 10<ép<50(mm)	250	200	8	6	
	T6	260	240	10	8	
6061	T5	270	230	8	6	
6082	T6, 3<ép.<5 (mm)	290	250	6	-	
	T6, 5<ép<50 (mm)	310	260	10	8	

[Vidéo Sur L'affinage De L'alumine](#)

[Vidéo Sur Le Processus De Laminage De L'aluminium](#)

[Vidéo Sur La Fusion De L'aluminium](#)

[Vidéo Sur Le Processus D'extrusion De L'aluminium](#)

[Vidéo Sur Le Processus De Coulage De Billettes D'extrusion En Aluminium](#)

### 1.3 ACIERS INOXYDABLES

Les aciers inoxydables sont parfois utilisés dans la construction et la réparation navales pour les fixations en aluminium, les mèches de gouvernail, les arbres porte-hélice et une partie de l'aménagement structurel des tuyères Kort et des ouvertures du compartiment du propulseur d'étrave.

Les aciers inoxydables peuvent être définis comme des aciers alliés qui contiennent au moins 10 % de chrome, avec ou non d'autres éléments. Ils sont couramment répartis en cinq groupes : Acier inoxydable martensitique, ferritique, austénitique, à durcissement structural et duplex.

Il existe un grand nombre de types d'acier standard dont la composition, la résistance à la corrosion, les propriétés physiques et mécaniques diffèrent. Une liste des caractéristiques devant être prises en compte est proposée ci-dessous :

- Résistance à la corrosion, résistance à l'oxydation et à la sulfuration
- Résistance et ductilité à la température ambiante et à la température de service
- Stabilité des propriétés en service
- Dureté
- Résistance à l'abrasion et à l'érosion
- Résistance au grippement
- Finition de la surface ou réflectivité
- Propriétés magnétiques

Crédit : Les éléments ci-dessous sont tirés du [site Web de l'association Specialty Steel Industry of North America \(SSINA\)](#).



Lorsque vous désignez des aciers inoxydables, vous pouvez utiliser leur nom courant, tel qu'« acier 316 », mais il est important d'indiquer également la désignation précise de l'alliage selon le Système de numérotation unifié (SNU). Cette désignation indique la composition chimique désirée. Selon les normes de la *American Society for Testing and Materials* et les publications de l'entreprise et de l'association de l'industrie, les alliages sont désignés par un numéro SNU et, le cas échéant, leur nom courant. Aucun nouveau numéro AISI n'ayant été délivré depuis plusieurs années, les alliages les plus récents n'en possèdent pas.

### 1.3.1 Aciers inoxydables austénitiques (Fe-Cr-Mn et Fe-Cr-Ni)

Les nuances et les alliages d'acier inoxydable austénitique sont composés de chrome et de manganèse ou de chrome et de nickel. La teneur en carbone ne dépasse généralement pas 0,08 %. (Les aciers 302, 309 et 310 ont des teneurs légèrement plus élevées.) La teneur en chrome est comprise entre 16 % et 28 %, pour une teneur en nickel de 3,5 % à 32 %.

Ces alliages ne peuvent pas être durcis par un traitement thermique, mais peuvent être rendus hautement résistants grâce à un écrouissage. Ils ne sont pas magnétiques à l'état recuit (traitement thermique), mais peuvent devenir légèrement magnétiques après un écrouissage ou un coulage.

Ils présentent une excellente résistance à la corrosion et certaines nuances contiennent également du molybdène, qui leur confère une résistance supplémentaire aux chlorures. Il est possible d'ajouter à certains alliages de l'azote pour en améliorer la solidité et la résistance à la corrosion. Les aciers inoxydables austénitiques présentent une bonne formabilité, une ductilité élevée et une bonne résistance aux chocs. Les alliages les plus courants (p. ex les aciers 304 et 304L) sont parfois appelés aciers 18 8, ou aciers 18 % de chrome et 8 % de nickel, car il s'agit de leur composition de base. Les types 304 et 316 sont les aciers inoxydables les plus couramment utilisés.

Le type 304 et le type 316 offrent généralement le meilleur service lorsqu'ils sont exposés à des milieux salins. Cependant, en eau de mer stagnante, tous les types risquent de subir de fortes piquûres dues aux biosalissures. Même le type 316 peut être peu satisfaisant lorsque la vitesse de l'eau est inférieure à 1,5 m/s.

#### Caractéristiques

- 1) Excellente résistance à la corrosion
- 2) Résistance type (à l'état recuit) : résistance à la traction de 85 ksi, limite d'élasticité de 40 ksi et étirement de 50 %
- 3) Ne peut être soumis à un traitement thermique, mais peut être durci par écrouissage (pour atteindre une résistance à la traction de 185 ksi et une limite d'élasticité de 140 ksi)
- 4) Non magnétique
- 5) Bonnes propriétés mécaniques à forte et à faible température
- 6) Formabilité et soudabilité excellentes
- 7) Tous les revêtements courants peuvent être appliqués.

Cliquez ici pour consulter une liste des [applications courantes](#).

#### Exemples :

- Acier austénitique de la série 200 (Fe-Cr-Mn) : SNU S20100
- Aciers austénitiques de la série 300 (Fe-Cr-Ni) : SNU S30100, S30403, S30500, S30908, S31008, S31603, S31703, S32100

### 1.3.2 Aciers ferritiques (Fe Cr)

Les aciers ferritiques sont souvent appelés nuances ou alliages de la série 400 « non durcissables ». Les aciers 409 et 430 sont les plus courants. Ce sont des alliages de chrome et de fer dont la teneur en carbone ne dépasse généralement pas 0,12 %. (Les aciers 442 et 446 ont une teneur de 0,20 %.) La teneur en chrome est comprise entre 10,5 % et 30 %. Ces nuances ne peuvent pas être durcies par un traitement thermique, mais elles sont magnétiques. Elles présentent une bonne résistance à la corrosion (notamment à la fissuration par corrosion sous contrainte au chlorure), mais ne sont généralement pas choisies pour leur résistance.

#### Caractéristiques

- 1) Bonne résistance à la corrosion
- 2) Résistance type: résistance à la traction de 65 ksi à 75 ksi, limite d'élasticité de 35 ksi à 50 ksi, étirement de 20 % à 35 %
- 3) Magnétique
- 4) Utilisation à des températures limitées
- 5) Peut être poli

**Cliquez ici pour consulter une liste des [applications courantes](#).** Exemples d'aciers ferritiques non durcissables de la série 400 (Fe-Cr) : SNU S40500, S40910, S40920, S40930, S43000, S43400, S43600, S43035, S44400, S44660 et S44735..

### 1.3.3 Aciers inoxydables martensitiques (Fe-Cr-C)

Une structure martensitique se compose d'un mélange de chrome et d'importantes quantités de carbone avec du fer. Cette structure peut être soumise à un traitement thermique pour obtenir des niveaux de dureté plus importants. Ces aciers sont parfois appelés « aciers inoxydables et durcissables » de la série 400. Les aciers 410, 420 et 440 sont les nuances les plus courantes. La teneur en carbone est comprise entre 0,08 % et 1,20 %, pour une teneur en chrome de 11,5 % à 18 %. Les structures martensitiques sont également magnétiques.

#### Caractéristiques

- 1) Résistance à la corrosion satisfaisante
- 2) Durcissable par un traitement thermique
- 3) Magnétique
- 4) Utilisation à des températures quelque peu limitées
- 5) Soudabilité limitée

**Exemples d'applications courantes :** fixations, arbres de pompes, aubes de turbines, instruments chirurgicaux, coutellerie. Exemples d'aciers martensitiques durcissables de la série 400 (Fe-Cr-C) : SNU S41000, S42000, S44002 et S44004.

### 1.3.4 Aciers à durcissement structural [Fe-Cr-Ni-(Mo-Cu-Al-Nb)-N]

Les aciers inoxydables à durcissement structural gagnent en résistance grâce à des réactions de durcissement par précipitation au cours de traitements thermiques. Avec leur faible teneur en carbone (0,09 % maximum), ils présentent une bonne résistance à la corrosion et se distinguent par leur facilité de fabrication. Il est possible de les rendre hautement résistants à des températures relativement basses (entre 500 °C et 800 °C), ce qui permet de minimiser les déformations. Leur teneur en chrome est comprise entre 12,25 % et 18 %, pour une teneur en nickel de 3 % à 8,5 %. Leur teneur en molybdène, dans certaines nuances, est comprise entre 2 % et 3 %. Ces aciers peuvent également contenir de l'aluminium, du cuivre, des métaux de terres rares et de l'azote.

**Exemples d'applications courantes :** vannes, engrenages et équipement de l'industrie pétrochimique.

**Exemples d'aciers à durcissement structural [Fe-Cr-Ni-(Mo-Cu-Al-Nb)-N] :** SNU S13800, S15500, S15700, S17400 et S17700.



### 1.3.5 Aciers inoxydables duplex [Fe-Cr-Ni-(Mo)-N]

Ces aciers inoxydables sont une combinaison des microstructures austénitiques et ferritiques, ce qui leur vaut le nom de «duplex». Leur teneur en carbone est très faible (moins de 0,03%). En général, la teneur en chrome est comprise entre 19,5 % et 30 %, pour une teneur en nickel de 1 % à 8 %. Ils peuvent contenir jusqu'à 5 % de molybdène et 0,4 % d'azote. Ces alliages sont magnétiques et présentent une résistance à la traction et une limite d'élasticité supérieure à celles des alliages des autres catégories. Ils sont plus résistants à la fissuration par corrosion sous contrainte que les aciers austénitiques, tout en étant plus résistants que les alliages intégralement ferritiques.

**Exemples d'applications courantes :** pipelines, tubage de pression, composants structuraux et réservoirs industriels.

**Exemples d'aciers inoxydables duplex [Fe-Cr-Ni-(Mo)-N] :** SNU S32001, S32003, S32101, S32205, S32304 et S32507.

### 1.3.6 Données techniques

Pour obtenir davantage de données techniques de la SSINA sur les aciers inoxydables, cliquez sur les liens hypertextes ci-dessous :

[Propriétés physiques](#)

[Composition chimique](#)

[Propriétés mécaniques](#)

[Fabrication](#)

[Coûts du cycle de vie](#)

[Propriétés à haute température](#)

Vous pouvez consulter davantage de données sur les alliages inoxydables dans le manuel de la SSINA [« Design Guideline for the Selection and Use of Stainless Steel » \(Directives de conception pour la sélection et à l'utilisation d'acier inoxydable\)](#).

Des renseignements sur la **fabrication** sont accessibles chez les producteurs d'acier inoxydable. Vous pouvez également cliquer sur les liens ci-dessous :

- [Guide de fabrication d'acier inoxydable](#)
- [Practical Guidelines for the Fabrication of High Performance Austenitic Stainless Steels \(Directives pratiques pour la fabrication d'aciers inoxydables austénitiques à haute performance\)](#)
- [The Ferritic solution \(La solution ferritique\)](#)
- [Guide pratique pour le travail des aciers inoxydables duplex](#)
- [Galvanic Corrosion and it's Prevention \(La corrosion galvanique et les mesures de prévention\)](#)

Une importante quantité de données techniques est également disponible sur les sites Web des associations ci-dessous :

- [La Specialty Steel Industry of North America Association \(SSINA\)](#)
- [L'International Stainless Steel Forum \(ISSF\) \[Forum international des aciers inoxydables\]](#)
- [Le Nickel Institute](#)
- [L'International Molybdenum Association \(IMO\)](#)

[Vidéo : « How Stainless Steel Alloy is formed »  
\(Le formage de l'acier inoxydable\)](#)

[Vidéo : « Stainless Steel Production Process »  
\(La production de l'acier inoxydable\)](#)

## 1.4 CUIVRE-NICKEL

Les alliages cuivre-nickel (Cu-Ni) sont largement utilisés pour les applications maritimes en raison de leur excellente résistance à la corrosion par l'eau de mer, leur importante résistance naturelle aux bio-salissures et leur facilité de fabrication. Ils ont fait leurs preuves depuis plusieurs décennies et offrent des solutions efficaces aux défis technologiques actuels.

La présente section vise à offrir un aperçu détaillé des données relatives aux alliages Cu-Ni et à contribuer à l'adoption de pratiques exemplaires en matière de conception, de fabrication et d'application. Les principaux secteurs d'application sont présentés en détail dans les chapitres Composition de systèmes et Conception de systèmes. Ce dernier comprend une section spéciale dédiée aux accessoires.

Les liens hypertextes ci-dessous vous permettent d'accéder à une importante quantité de données techniques publiées sur le site Web de la *Copper Development Association*.

<b>Applications</b> <a href="#">Introduction</a> <a href="#">Construction et réparation de navires</a> <a href="#">Dessalement</a> <a href="#">Production d'énergie électrique</a> <a href="#">Unités en mer</a> <a href="#">Composition de systèmes</a> <a href="#">Publications utiles</a> <a href="#">Conception de systèmes</a>		<b>Ressources</b> <a href="#">Quoi de neuf?</a> <a href="#">Comité directeur</a> <a href="#">Présentation interactive</a> <a href="#">Répertoire des fournisseurs</a> <a href="#">Renvoi au répertoire toponymique des alliages</a>
<b>Références</b> <a href="#">Contenu</a> à consulter : Corrosion Fabrication Aquaculture Dessalement Tuyaux de freins	Salissures marines Coques de navires Condenseurs et échangeurs de chaleur Propriétés générales Tuyaux d'eau de mer Revêtements en mer	<b>Renseignements techniques</b> <a href="#">Contenu</a> à consulter : Alliages                      Formures concernant les produits Normes                      Résistance aux biosalissures Environnement              Résistance à la corrosion Propriétés physiques      Propriétés cryogéniques Soudage et fabrication      Propriétés mécaniques

**Tableau 12 - Sources de renseignements sur les matériaux**

<b>The Aluminum Association Inc.</b>	1525 Wilson Blvd., Suite 600, Arlington VA 22209 Tél. : 703-358-2960	<a href="http://aluminum.org/">http://aluminum.org/</a>
<b>American Foundry Society</b>	1695 North Penny Lane, Schaumburg IL 60173 Tél. : 847-824-0181	<a href="http://www.afsinc.org/">http://www.afsinc.org/</a>
<b>American Iron and Steel Institute</b>	25 Massachusetts Ave., NW, Suite 800 Washington DC 20001, Tél. : 202-452-7100	<a href="http://steel.org">http://steel.org</a>
<b>American Powder Metallurgy Institute</b>	105 College Road East, Princeton NJ 08540-6692 Tél. : 609-452-7700	<a href="http://mpif.org/">http://mpif.org/</a>
<b>American Society for Metals</b>	9639 Kinsman Road, Materials Park OH 44073-0002 Tél. : 440-338-5151	<a href="http://asm-intl.org/">http://asm-intl.org/</a>
<b>American Society for Testing and Materials</b>	100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken PA Tél. : 610-832-9500	<a href="http://astm.org/">http://astm.org/</a>
<b>American Society of Mechanical Engineers</b>	Two Park Avenue, New York NY 10016-5990 Tél. : 800-843-2763	<a href="https://www.asme.org/">https://www.asme.org/</a>
<b>Canadian Copper &amp; Brass Development Association</b>	65, boulevard Overlea, bureau 210, Toronto (Ontario) M4H 1P1, Tél. : 416-391-5599	<a href="http://www.coppercanada.ca/">http://www.coppercanada.ca/</a>
<b>Association Des Fonderies Canadiennes</b>	1, rue Nicholas, bureau 1500, Ottawa (Ontario) K1N 7B7 Tél. : 613-789-4894, Téléc. : 613-789-5957	<a href="http://foundryassociation.ca/">http://foundryassociation.ca/</a>
<b>Institut canadien de la construction en acier</b>	3760, 14 <sup>e</sup> Avenue, bureau 200, Markham, ON L3R 3T7 Tél. : 905-946-0864	<a href="http://cisc.ca/">http://cisc.ca/</a>
<b>Manufacturiers et Exportateurs du Canada</b>	1, rue Nicholas, bureau 1500, Ottawa (Ontario) K1N 7B7 Tél. : 613-238-8888, Téléc. : 613-563-9218	<a href="http://cme-mec.ca/">http://cme-mec.ca/</a>
<b>Association canadienne de normalisation</b>	178, boulevard Rexdale, Toronto (Ontario) M9W 1R3 Tél. : 416-747-4044	<a href="http://csagroup.org">http://csagroup.org</a>
<b>L'Association canadienne des producteurs d'acier</b>	350, rue Sparks, bureau 906, Ottawa (Ontario) K1R 7S8 Tél. : 613-238-6049, Téléc. : 613-238-1832	<a href="http://canadiansteel.ca/">http://canadiansteel.ca/</a>
<b>Copper Development Association</b>	260 Madison Avenue, New York NY 10016 Tél. : 212-251-7200	<a href="http://copper.org/">http://copper.org/</a>
<b>Forging Industry Association</b>	1111 Superior Ave., Suite 615, Cleveland OH 44114 Tél. : 216-781-6260	<a href="http://forging.org/">http://forging.org/</a>
<b>Materials Properties Council</b>	PO Box 1942, New York, NY 10156 Tél. : 216-658-3847 Téléc. : 216-658-3854	<a href="http://forengineers.org/">http://forengineers.org/</a>
<b>Association minière du Canada</b>	350, rue Sparks, bureau 1105, Ottawa ON K1R 7S8 Tél. : 613-233-9392	<a href="http://mining.ca/">http://mining.ca/</a>
<b>National Association of Corrosion Engineers</b>	4501 Mission Bay Drive, Suite 2G, San Diego CA 92109 Tél. : 858-768-0828	<a href="http://nace.org/">http://nace.org/</a>
<b>Nickel Institute</b>	161 rue Bay, Suite 2700, Toronto (Ontario) M5J 2S1 Tél. : 1-416-591-7999	<a href="http://www.nickelinstitute.org/">http://www.nickelinstitute.org/</a>
<b>Society of Automotive Engineers</b>	400 Commonwealth Dr., Warrendale PA 15096-0001 Tél. : 724-776-4841	<a href="http://sae.org/">http://sae.org/</a>
<b>Society of Manufacturing Engineers</b>	7100, avenue Woodbine, bureau 312, Markham (Ontario) L3R 5J2, Tél. : 905-752-4415	<a href="http://sme.org/">http://sme.org/</a>
<b>Specialty Steel Industry of North America (SSINA)</b>	3050 rue K, N.W., Washington, DC 20007 Tél. : 1-202-342-8630	<a href="http://ssina.com/">http://ssina.com/</a>

## 1.5 OUTILS PERMETTANT DE DÉTERMINER LE TYPE DE MATÉRIAU ET LE SENS DU LAMINAGE

### 1.5.1 Identification des matériaux avec certitude

Il peut parfois être nécessaire de déterminer ou de vérifier le type du matériau lorsque les certificats de l'aciérie ne sont pas facilement accessibles ou disponibles en cas de mise en cale sèche ou de réparation.

Une méthode non destructive permettant d'établir la composition chimique d'un matériau afin d'en définir le type est la fluoroscopie. Ce procédé a pour nom l'identification des matériaux avec certitude. L'identification des matériaux avec certitude peut être réalisée sur place ou en laboratoire. Ce procédé est courant de nos jours dans l'industrie et est offert partout au Canada et le long de nos côtes. L'identification des matériaux avec certitude serait utile dans les situations décrites dans les paragraphes suivants.

Pendant la mise en cale sèche d'un navire naviguant dans les glaces, de la corrosion sur la zone de soudure abouts et les joints extérieurs à un degré (profondeur perte) qui permet réparation. Afin de garantir la composition correcte des métaux de soudage et de réparation, il faut produire un dépôt noble, la composition chimique exacte de la plaque de base doit être connue.



Le certificat de l'aciérie pour la nouvelle construction n'est pas facilement accessible ou n'existe pas, et la norme de conformité du matériau n'est pas adaptée dans ce scénario, parce qu'un grand écart est permis dans les éléments chimiques permettant de prendre la bonne décision, principalement le manganèse (Mg), le silicium (Si), le cuivre (Cu) et le nickel (Ni). Vous pourriez demander à l'entrepreneur de produire des rognures en perçant chaque plaque et de les envoyer à un laboratoire pour une analyse chimique ou demander une identification des matériaux avec certitude sur place qui produirait des résultats au moment de l'inspection, et non pas des jours ou même des semaines plus tard.

De même, si un tuyau en acier inoxydable ou en cuivre se casse et que vous n'êtes pas sûr de savoir de quel alliage il s'agit, l'identification des matériaux avec certitude vous offrira une réponse rapide vous permettant de prendre des décisions éclairées. Le tuyau en cuivre pourrait être allié à du nickel (Cu Ni) ou du nickel et du fer (Cu Ni Fe), et le pourcentage en poids de chaque élément pourrait être différent, de 80/20, de 90/10 et ainsi de suite.

Pour l'aluminium, l'identification des matériaux avec certitude est utile pour déterminer la composition chimique, mais pas l'état ou le traitement thermique de l'aluminium installé. Une combinaison d'analyse chimique, de métallographie et d'essais physiques doit être réalisée afin de déterminer l'alliage et l'état ou le traitement thermique.

L'identification des matériaux avec certitude est utile pour déterminer la composition chimique, mais pas l'état ou le traitement thermique de l'aluminium installé. Une combinaison d'analyse chimique, de métallographie et d'essais physiques doit être réalisée afin de déterminer l'alliage et l'état ou le traitement thermique.

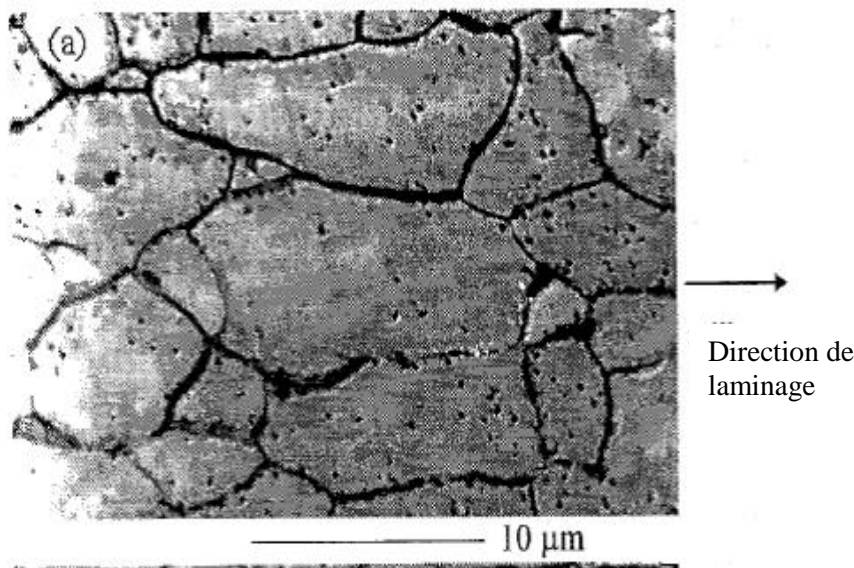
L'identification des matériaux avec certitude peut également être utilisée sur les dépôts métalliques de soudure pour valider les critères de correspondance, ce qui est très important pour l'assemblage des aciers inoxydables.

[Cliquez ici pour visionner une vidéo de Niton Uk Limited sur l'utilisation de l'identification des matériaux avec certitude.](#)

### 1.5.2 Sens du laminage

Pour les tôles encastrées qui doivent être situées dans le bordé et dans les ponts de résistance, il est conseillé de faire correspondre le sens de laminage de la tôle encastrée à la tôle existante du navire. Pour les tôles de taille normale (environ 20 pi), il s'agit d'une tâche aisée lorsque le sens de laminage de la tôle encastrée est connu. Pour les tôles plus petites comme les tôles situées dans les zones de la poupe et de l'étrave, le sens de laminage ne peut pas être déterminé sans procéder à des essais destructifs.

La métallographie offre des résultats fiables permettant de déterminer le sens de laminage. La micrographie optique représente une méthode fiable de déterminer le sens de laminage des tôles d'acier, comme il est illustré ci-dessous.



**Figure 3 - Micrographie optique**

Une fine bande prélevée sur chaque tôle est envoyée à un laboratoire afin d'être soumise à des essais.

## 1.6 NOTIONS ÉLÉMENTAIRES SUR LA CORROSION

Il existe une vaste gamme de métaux ferreux et non ferreux qui sont utilisés en milieu marin et qui sont souvent exposés à un milieu agressif, ce qui entraîne un certain degré de corrosion au fil du temps. La présente section offre des renseignements sur les principes de corrosion dans un format condensé.

### 1.6.1 Termes standards

Les termes courants suivants liés à la corrosion ont été publiés par l'IACS en vertu de la directive unique n° 82 *Surveyor's Glossary, Hull and Hull Survey Terms* (glossaire de l'inspecteur, termes relatifs à la coque et aux examens de la coque) et sont fournis dans le présent document à titre d'information seulement. [Pour consulter d'autres termes, cliquez ici pour accéder au document de l'IACS.](#)

**Abrasion** désigne le retrait de matière grâce à des moyens mécaniques, c.-à-d. par frottement ou friction

**Anode contre les piquûres** désigne une anode sacrificielle placée juste au-dessus du fond du réservoir de façon à atténuer la corrosion générale et la corrosion par piquûres.

**Anode** désigne la surface métallique chargée positivement et la partie qui se corrode d'une pile de corrosion électrochimique où l'oxydation ou la perte d'électrons a lieu.

**Bon état** désigne l'état des revêtements durs ne comportant qu'une faible quantité de taches de rouille.

**Cathode** désigne la surface métallique chargée négativement et la partie qui ne se corrode pas ou qui est protégée d'une pile de corrosion électrochimique.

**Corrosion active** désigne l'attaque chimique ou électrochimique d'un métal produisant des écailles à cause de l'atmosphère, de l'humidité ou d'autres agents.

**Corrosion admissible ou limite de détérioration** désigne la diminution acceptable de l'épaisseur des éléments structurels.

**Corrosion caverneuse** désigne la corrosion localisée d'une surface métallique située sur une zone ou à proximité immédiate d'une zone protégée d'une exposition complète à l'environnement en raison de la proximité entre le métal et la surface d'un autre matériau. Elle est généralement associée à de faibles volumes d'eau stagnante, dans des collets rabattus, sous les têtes des fixations, sous les joints et les garnitures, sous les organismes marins et les dépôts poreux.

**Corrosion de la zone thermiquement affectée** désigne la corrosion préférentielle de la plaque de base à moins de 5 mm du bord de la soudure. Cette définition de la zone thermiquement affectée n'est pas incluse dans le document de l'IACS.

**Corrosion** désigne la réaction chimique ou électrochimique entre un matériau, généralement un métal, et son environnement, ce qui produit une détérioration du matériau et de ses propriétés et entraîne généralement la formation d'un oxyde.

**Corrosion d'origine bactérienne ou microbienne** est une corrosion qui est provoquée ou accélérée par la présence de micro-organismes.

**Corrosion du métal de soudage** désigne la corrosion préférentielle du dépôt de soudure en raison d'une réaction électrolytique entre le métal de soudure et le métal de base.

**Corrosion électrochimique** est une corrosion associée au passage d'un courant électrique. Lorsque le courant est produit par le système lui-même, elle est appelée corrosion galvanique, et si elle a pour origine un courant imposé, elle est appelée corrosion électrolytique.

**Corrosion en lame de couteau** désigne la corrosion locale située sur les bords libres des raidisseurs, des supports, des brides, des trous d'homme, etc.

**Corrosion excessive** se dit de la corrosion dont l'étendue dépasse la corrosion admissible.

**Corrosion galvanique** désigne la corrosion électrochimique accélérée d'un métal en raison d'un contact électrique avec un métal plus noble ou avec un conducteur non métallique dans un électrolyte corrosif.

**Corrosion générale ou globale** apparaît sous la forme d'une rouille non protectrice et friable de nature uniforme sur les surfaces dépourvues de revêtement. L'écaille de rouille se brise continuellement, exposant ainsi une nouvelle surface de métal à une attaque corrosive. Il est difficile de juger visuellement de la perte d'épaisseur avant qu'une détérioration importante ait lieu.

**Corrosion importante** désigne l'étendue de corrosion telle que l'évaluation du schéma de corrosion indique une détérioration atteignant 75 % de corrosion admissible, mais qui reste dans les limites de la corrosion admissible.

**Corrosion importante** se dit de l'étendue de corrosion comprenant des écailles dures ou qui se détachent, y compris des piqûres sur 70 % ou plus de la surface prise en compte, ainsi que des signes de diminution de l'épaisseur.

**Corrosion localisée** désigne une corrosion locale par définition, et apparaît souvent sur des zones présentant une rupture localisée du revêtement ou sur des zones où des contraintes sont concentrées

**Corrosion par érosion** désigne l'action combinée mettant en œuvre la corrosion et l'érosion en présence d'un fluide corrosif en mouvement, entraînant une perte accélérée de matériau. La corrosion par érosion est caractérisée par des rainures, des rigoles, des ondulations, des sillons, etc., qui comprennent généralement une orientation directionnelle et des surfaces brillantes exemptes de traces de corrosion.

**Corrosion par piqûres** se dit d'une corrosion localisée et disséminée au hasard située principalement sur les surfaces horizontales et sur les détails de la structure où l'eau est retenue, en particulier au fond des citernes. Pour les zones recouvertes, l'attaque produit des piqûres profondes et de petit diamètre qui peuvent entraîner une perforation. Les piqûres des zones non recouvertes dans les réservoirs, à



mesure qu'elles progressent, forment des zones comportant des taches très larges (p. ex. de 300 mm de diamètre) qui ont l'aspect d'une corrosion générale.

**Corrosion sous contrainte** désigne l'attaque préférentielle des zones soumises à une contrainte de traction dans un environnement corrosif, alors que cet environnement seul n'aurait pas causé la corrosion. Les contraintes de traction peuvent être des contraintes résiduelles provenant du soudage ou de l'écrouissage ou des forces de tension qui s'appliquent.

**Corrosion sous dépôt** désigne l'attaque située sous le bord d'un dépôt formé sur une surface métallique en présence d'un électrolyte ou autour de ce bord.

**Dommages causés par cavitation** désigne la dégradation des surfaces métalliques caractérisée par des piqûres dont le profil est irrégulier et qui apparaissent lorsque des fluides très turbulents entrent en contact avec la surface métallique. Ce phénomène est associé à la formation et à l'affaissement des cavités dans le liquide à la surface séparant les matières solides et liquides.

**Écaille** désigne l'oxydation de surface comprenant des couches partiellement adhérentes de produits de la corrosion déposées sur les métaux par réchauffement ou par coulage dans l'air ou dans d'autres atmosphères oxydantes. Elles sont le résultat du processus de corrosion de l'acier sur une surface poreuse ou présentant des flocons, et sont supérieures en volume au métal à partir duquel elles se sont formées.

**Écailles qui se détachent** se dit des pellicules de rouille qui tombent lorsque l'inspecteur frappe la structure avec son marteau d'essai. Les écailles qui se détachent s'éliminent plus facilement par le nettoyage à la main ou à l'aide d'outils électriques, ou les deux.

**Effet de striction** désigne la corrosion localisée à la jonction du bordé et des raidisseurs en raison des effets de flexion causés par la mise en charge inversée et cyclique comprenant une perte de revêtement ou la chute d'écailles qui expose une nouvelle surface d'acier à une corrosion supplémentaire. La vitesse de corrosion peut être relativement élevée, et elle accélère à mesure que le matériau s'amincit.

**Endommagement dû à l'érosion** désigne l'élimination physique de matériau à partir d'une surface par des moyens mécaniques comme l'écoulement d'un liquide. Cette élimination peut être accélérée par la corrosion.

**Fatigue-corrosion** désigne le processus au cours duquel un métal se fracture prématurément de manière transcrystalline dans des conditions simultanées de corrosion et de mise en charge cyclique et répétée à des niveaux de contrainte ou après un nombre de cycles inférieurs à ce qui entraînerait la fracture dans un environnement non corrosif.

**Galvanisation** désigne le dépôt de zinc sur la surface de l'acier visant à offrir une protection contre la corrosion en protégeant l'acier du contact avec l'environnement et en fournissant une protection sacrificielle.

**La corrosion insignifiante ou mineure** se dit de l'étendue de corrosion comportant une faible quantité de taches de rouille et dont l'évaluation du schéma de corrosion indique que la détérioration ne dépasse généralement pas 30 % des limites de corrosion admissibles.

**Passable** est utilisé pour décrire l'état d'un revêtement dur comportant une rupture localisée sur les bords des raidisseurs et des assemblages soudés ou une rouille superficielle sur 20 % ou plus des surfaces prises en compte, mais sur une surface inférieure à celle définie comme représentant un mauvais état.

**Protection cathodique** désigne la protection partielle ou complète d'un métal de la corrosion qu'on obtient en faisant de ce métal une cathode à l'aide d'un courant galvanique ou imposé visant à amener un métal à un potentiel pour lequel il est stable sur le plan thermodynamique.

**Rouille** désigne un produit visible de la corrosion comportant des oxydes de fer hydratés qui se forme sur les surfaces d'acier exposées à des conditions atmosphériques humides.

**Sillons de corrosion** désignent la corrosion locale qui se trouve généralement à côté des joints de soudure le long des raidisseurs attenants et aux abouts ou aux joints des raidisseurs ou des tôles.

**Système de prévention de la corrosion** s'obtient par un revêtement superficiel dur complet; ou encore un revêtement superficiel dur complet assorti d'une protection cathodique.

**Tache de rouille** désigne de la rouille localisée située dans les trous d'épingle ou sur les dimanches.

**Trou d'épingle** se dit de petits trous profonds qui exposent le substrat.

**Zones suspectes** se dit des emplacements qui affichent une corrosion importante ou qui sont considérés comme étant sujets à une détérioration rapide.

### 1.6.2 Mécanisme de la corrosion

Vous trouverez ci-dessous [Notes d'orientation de la SRA sur l'inspection, l'entretien et l'application des systèmes de revêtements marins – troisième édition de 2007](#). Pour obtenir de plus amples renseignements, veuillez consulter le document de la SRA.

La corrosion de l'acier à bord des navires peut être définie comme un processus électrochimique dans lequel l'acier réagit avec son environnement pour former un oxyde ou un autre composé semblable au minerai à partir duquel il a été obtenu à l'origine.

La plupart des métaux sont disponibles dans la nature sous leur forme minérale, c'est-à-dire dans un état oxydé stable en tant qu'oxydes, chlorures, carbonates, sulfates, sulfures, etc. L'extraction du métal à partir d'un minerai met en œuvre un procédé de réduction qui nécessite une grande quantité d'énergie. En conséquence de cet apport important en énergie, le métal se trouve dans un état d'énergie élevée et essaiera de revenir à son état précédent stable, oxydé et de faible énergie aussi rapidement que les conditions environnementales le permettront. C'est cette différence d'énergie entre le métal pur et ses formes oxydées qui joue un rôle essentiel dans la corrosion du métal. De nombreux produits de la corrosion ont une composition chimique identique aux minéraux correspondants. Le fer, par exemple, est extrait de ses minerais, principalement de l'oxyde et du carbonate, grâce à une réduction à l'aide de carbone dans un haut-fourneau. En présence d'humidité et d'oxygène, le fer métallique obtenu est oxydé et forme de la rouille, qui est identique sur le plan chimique à son minerai.

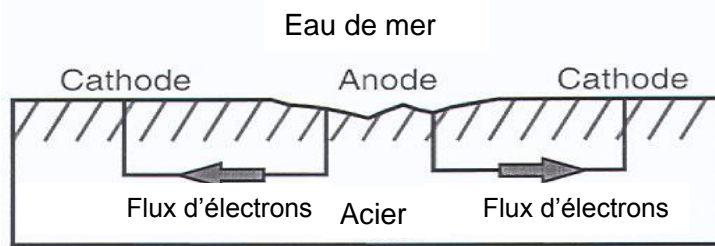
#### Acier non recouvert et réaction corrosive

Au cours du processus de corrosion, l'acier perd des atomes d'acier dans son environnement sous la forme d'ions. En retour, certains ions métalliques provenant de l'environnement se déposent sur les parois et reviennent à leur état métallique. C'est ce que l'on appelle réaction réversible. Lorsque la vitesse de la réaction vers l'avant est la même que celle de la réaction vers l'arrière, le processus est en état d'équilibre et l'acier adopte son potentiel d'équilibre.

Les atomes de métal quittent le métal et se déplacent dans une solution en tant qu'ions chargés positivement, laissant derrière eux des électrons chargés négativement. Par conséquent, la charge du métal devient plus négative. Cela fait qu'il est de plus en plus difficile ou même impossible aux atomes de métal restants de s'échapper en tant qu'ions chargés positivement, étant donné qu'ils sont retenus par la charge négative du métal. Pour que le processus continue, l'excédent d'électrons du métal doit se consumer ailleurs au cours d'une autre réaction. La manière et la vitesse avec laquelle ces excédents d'électrons peuvent s'éliminer est l'un des facteurs qui déterminent la vitesse de la corrosion.

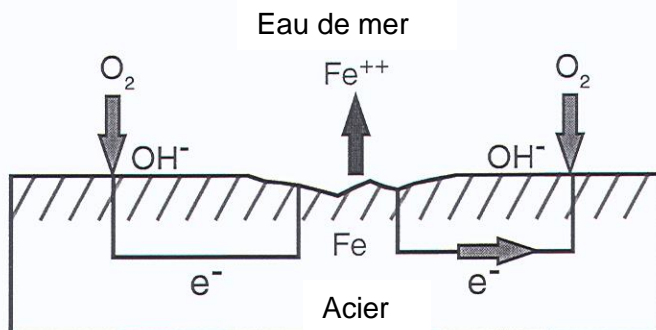
Une étape importante de la corrosion de l'acier est la transformation d'un atome de fer en un ion de fer à cause de la perte de deux électrons. Cela s'appelle la réaction anodique. Cette réaction ne peut se produire que s'il existe un électroaccepteur adapté capable de se combiner aux électrons libérés par l'atome de fer. L'eau douce ou l'eau de mer contiennent de l'oxygène atmosphérique dissous qui remplit facilement cette fonction. L'oxygène est électrochimiquement réduit à des ions d'hydroxyle au cours de la réaction cathodique.

Le caractère hétérogène de la surface métallique permet à certaines zones ou certains emplacements de favoriser la réaction et de devenir des anodes et à d'autres zones de favoriser la réaction et de devenir des cathodes. La totalité de la surface du métal est par conséquent divisée en un grand nombre d'anodes et de cathodes, comme il est illustré à la figure 5.1.



**Figure 4 - Zones anodiques et cathodiques d'une surface d'acier non recouverte**

Étant donné que la réaction anodique peut se produire beaucoup plus rapidement que la réaction cathodique, la plus grande partie de la surface est occupée par la production d'ions d'hydroxyle, comme il est illustré à la figure 4.



**Figure 5 - La zone de cathode est plus grande que la zone d'anode sur les aciers non recouverts.**

La figure 5 montre la progression de la corrosion lorsque du métal est éliminé de l'anode, ce qui le rend de plus en plus fin, ainsi que le flux d'électrons allant de l'anode à la cathode, qui réagit à son tour avec l'oxygène et l'eau provenant de l'environnement pour former des ions d'hydroxyle.

Les ions de fer et les ions d'hydroxyle se dispersent dans la solution, puis réagissent l'un avec l'autre pour produire de l'hydroxyde de fer. L'hydroxyde de fer mis en présence d'un apport important en oxygène est oxydé pour produire la rouille brun rouge bien connue.

Les réactions qui viennent d'être décrites correspondent aux réactions de base qui se produisent lorsque le fer ou l'acier se transforme en rouille ou, plus précisément, en oxyde de fer hydraté. En pratique, ce processus n'est pas si simple. Par exemple, la corrosion de l'acier dans l'eau de mer ou dans des atmosphères polluées entraîne des réactions plus rapides et plus complexes qui produisent des produits de corrosion en association avec l'oxyde de fer. Certains de ces sels de fer sont solubles dans l'eau et, s'ils ne sont pas éliminés avant leur application, peuvent causer des problèmes importants aux revêtements.



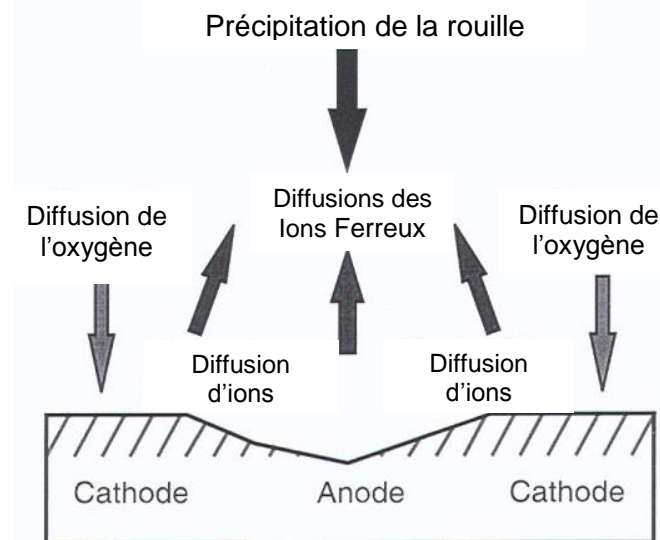
Dans des environnements donnés, certains métaux produisent des couches protectrices de corrosion ou des produits, appelés oxydes, qui empêchent ou retardent toute corrosion supplémentaire. L'aluminium et l'acier inoxydable en sont des exemples.

### 1.6.3 Facteurs influant sur la vitesse de corrosion

#### Diffusion

Dans la plupart des cas, les vitesses de corrosion des métaux sont contrôlées par la diffusion des réactifs vers la surface du métal et à partir de celle-ci. Les surfaces en acier nu nouvellement exposé se corrodent plus rapidement que les surfaces recouvertes d'une couche compacte de rouille.

La vitesse de corrosion est également fortement contrôlée par la diffusion d'oxygène de l'eau vers la surface de l'acier. Dans des zones où la diffusion de l'oxygène est observée, la corrosion semble se produire plus rapidement. Les zones de débit important, à proximité d'orifices évasés, par exemple, ont tendance à présenter une plus haute vitesse de corrosion en raison de l'augmentation des niveaux d'oxygène, bien que l'érosion soit également un facteur. Les surfaces recouvertes d'une fine pellicule conductrice d'humidité correspondant aux conditions que l'on retrouve dans les citernes de ballast après que l'eau de ballast a été vidée et dans les citernes de cargaison après leur nettoyage à l'eau de mer se corrodent plus vite que les surfaces immergées. Par conséquent, l'espace libre au-dessus des citernes de ballast et au-dessus des cales à double fond où l'air est devenu prisonnier a tendance à se corroder plus rapidement que les surfaces profondément immergées où l'oxygène est moins disponible, comme il est illustré à la figure 6.



*Figure 6 - Trajets de diffusion de la réaction corrosive sur l'acier non recouvert.*

#### Température

Comme la vitesse de corrosion est déterminée par la diffusion, la vitesse de diffusion est également contrôlée par la température. L'acier et les autres métaux se corrodent plus rapidement à haute température qu'à basse température. Par conséquent, les zones situées sous le pont, les zones attenantes à la salle des machines ou les zones situées contre les citernes de cargaison chauffées ont tendance à se corroder plus vite ou de façon prioritaire.

L'une des caractéristiques du pétrolier moderne à double paroi comportant des citernes de ballast entièrement séparées est que lorsque les citernes de cargaison sont entièrement remplies, les citernes de ballast vides agissent comme une bouteille isolante ou une bouteille thermos et conservent la chaleur dans la cargaison beaucoup plus longtemps que la conception à simple paroi. Cette augmentation de la température de la cloison des citernes de cargaison ou de ballast combinée à la cloison plus froide du bordé extérieur (dans les zones immergées) produit un ensemble complexe de conditions de corrosion et entraîne une augmentation de la vitesse de corrosion de l'acier dans les citernes de ballast. La vitesse de corrosion dans les citernes de cargaison elles-mêmes est également plus rapide en raison de l'augmentation de la température.

## **Conductivité**

Pour que la corrosion se produise, il faut un support conducteur entre les deux parties de la réaction corrosive. La corrosion ne se produit pas dans l'eau distillée, et la vitesse de corrosion augmente en même temps que la conductivité en raison de la présence d'une quantité accrue d'ions dans la solution. La vitesse de corrosion de l'acier atteint son maximum près de la teneur ionique normale de l'eau de mer. L'eau douce corrode moins l'acier que l'eau saumâtre ou estuarienne, tandis que l'eau de mer est généralement la plus corrosive pour l'acier.

## **Type d'ions**

Certains types d'ions présents dans l'eau de mer ou dans les cargaisons sont plus corrosifs que d'autres. Les ions chlorure sont généralement les plus destructeurs avec les ions contenant du sulfate et du soufre, qui présentent également des problèmes importants.

Les ions chlorure ont un effet destructeur sur les propriétés protectrices des rouilles produites en empêchant la formation des oxydes, qui sont plus protecteurs et plus denses. Les ions contenant du soufre participent à des réactions supplémentaires produisant des électrons au sein même de la rouille, qui forme à son tour un processus cyclique et autorégénérant. Ce phénomène peut produire des piqûres très importantes sur l'intérieur des fonds des citernes de cargaisons des pétroliers et des transporteurs de produits raffinés. Le soufre peut provenir du système de gaz inerte et des cargaisons contenant du soufre, comme le brut sulfureux.

## **Acidité et alcalinité (pH)**

Le pH correspond à une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité sur une échelle de 1 à 14. Le pH 7 est neutre. Dans l'eau de mer neutre, le pH se situe aux environs de 7,5, ce qui signifie que les ions d'hydrogène (acides) et les ions d'hydroxyle (alcalins) sont presque équivalents. Dans ces circonstances, la réaction qui équilibre la dissolution du fer est la réduction de l'oxygène dissous afin de former des ions d'hydroxyle. Si, cependant, l'environnement devient plus acide et le pH se rapproche de 1, une plus grande quantité d'ions d'hydrogène est présente dans la solution par rapport aux ions d'hydroxyle. L'excédent d'ions d'hydrogène peut participer à la réaction d'équilibrage (cathodique) qui entraîne l'évolution du gaz d'hydrogène. Étant donné que les ions d'hydrogène et le gaz d'hydrogène peuvent se diffuser très rapidement, l'acier peut se corroder plus rapidement. Il s'agit d'un effet courant du transport de cargaisons comme le coke de pétrole, le soufre et le brut corrosif.

Dans des conditions alcalines, lorsque les ions d'hydroxyle sont trop nombreux et que les niveaux de pH tendent vers 14, l'acier ne peut pas se corroder et reste intact.

Beaucoup de boursouflures que l'on trouve dans les citernes de ballast, en particulier les doubles fonds, sont remplies de fluide de pH élevé. Une fois les calottes des boursouflures enlevées, l'acier est brillant en dessous. L'acier commence néanmoins à se corroder une fois la calotte enlevée; par conséquent, une fois qu'un ou deux éléments d'un groupe de boursouflures a été vérifié et que le liquide s'est avéré être alcalin, le reste des boursouflures doit être laissé intact.

## **Potentiel électrochimique**

Chaque métal acquiert un potentiel électrochimique précis lorsqu'il est plongé dans un liquide conducteur. On l'appelle potentiel de demi-cellule, étant donné qu'on peut le mesurer uniquement en le comparant à un autre potentiel de référence connu produit par une électrode de référence. Des électrodes de référence courantes comprennent par exemple les électrodes au calomel saturé (ECS), les électrodes de référence argent-chlorure d'argent et cuivre-sulfate de cuivre. Le potentiel qu'un métal acquiert dans une solution peut permettre d'établir s'il va se corroder et à quelle vitesse.

On peut le modifier en le raccordant à un autre métal de nature différente (comme avec la corrosion galvanique ou à l'aide d'anodes sacrificielles) ou en appliquant un potentiel externe, comme dans le cas d'un système de protection cathodique actif du même type que celui employé sur le bordé extérieur.

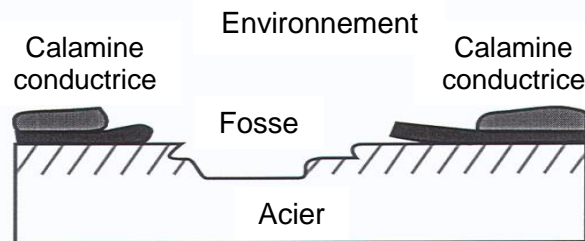
### 1.6.4 Types de corrosion

#### Corrosion uniforme

Le type de corrosion le plus courant est uniforme par nature. La perte de métal se concentre sur les emplacements anodiques, et l'on observe une modification continue de la surface au fil du temps. Avec la perte progressive de métal, les zones qui étaient anodiques à l'origine cessent d'être actives, et de nouveaux emplacements anodiques prennent le relais. Un échange continu s'opère entre les zones anodiques et cathodiques, de sorte que la perte de métal sur la totalité de la surface est relativement uniforme après un certain temps. Il s'agit de la forme de corrosion la plus facile à combattre ou à laisser évoluer, parce que la durée de vie de la structure est prévisible.

#### Corrosion par piqûres

La caractéristique de ce type de corrosion est extrêmement localisée, et la pénétration est profonde par rapport à la zone environnante. La corrosion par piqûres représente l'une des formes de corrosion les plus dangereuses, étant donné qu'elle se produit souvent dans des endroits où elle n'est pas facilement visible. La corrosion par piqûres peut être intense sur l'acier recouvert de calamine qui est resté à l'extérieur et qui s'est corrodé, comme il est illustré à la figure 7.



**Figure 7 - Corrosion par piqûres sur l'acier non recouvert, laissant apparaître des couches d'oxyde de fer.**

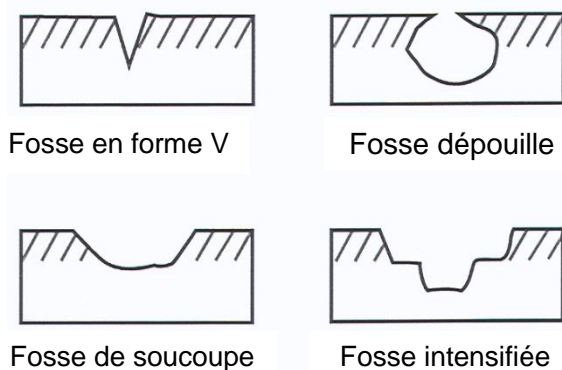
La corrosion par piqûres peut se produire chaque fois que des conditions localisées adaptées sont réunies. Les piqûres se forment généralement aux endroits comportant une zone anodique réduite qui est soutenue par une zone cathodique importante. Sur les navires, ce phénomène peut apparaître dans les zones isolées où le revêtement a été endommagé. La corrosion apparaît sur la zone d'acier exposé et le revêtement devient la zone cathodique. Il est courant de voir un anneau de boursouflures entourer un emplacement anodique actif, comme il est illustré à la figure 8.



**Figure 8 - Boursouflures cathodiques entourant un emplacement anodique actif**

Avant l'introduction des citernes de ballast séparées, des citernes de cargaison comportant des éléments chauffants qui étaient également utilisées en tant que citernes de ballast avaient tendance à comporter des piqûres importantes.

Sur les canalisations d'acier inoxydable non recouvert, par exemple, des piqûres peuvent apparaître aux emplacements où la couche d'oxyde passive est endommagée, et la corrosion peut survenir à des emplacements particuliers. Si les produits de la corrosion ne sont pas éliminés de la surface, ils continueront à causer de la corrosion, et de petites piqûres se formeront. La matière nécessaire à la corrosion devient prisonnière au fond des piqûres, et la vitesse de corrosion peut s'accélérer à mesure que la piqûre grandit. Les piqûres peuvent se développer en un éventail de formes, les plus courantes sont en forme de V, creusée, en soucoupe et étagée, comme il est illustré à la figure 9.



**Figure 9 - Différentes formes de piqûre**

Les piqûres en forme de V représentent un type de piqûre grave, étant donné que la vitesse de pénétration à travers l'acier peut être très élevée. Une fois que ce type de piqûre a été établi, il est très difficile de nettoyer les produits de la corrosion de la base de la piqûre, et la vitesse de corrosion peut augmenter de plus en plus.

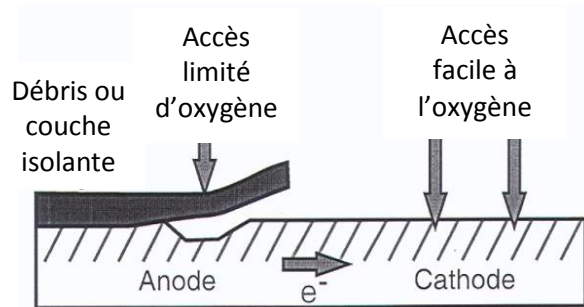
Les piqûres creusées posent également un grave problème, étant donné que la perte de métal peut être beaucoup plus importante que ce qui apparaît en premier lieu. Si les piqûres sont relativement peu profondes, la zone en surplomb peut se briser sous la pression et entraîner l'ouverture des piqûres. Sur une zone étendue comme les tôles de l'intérieur du fond, l'effet peut être l'équivalent d'une corrosion rapide et généralisée. Si les piqûres ne s'ouvrent pas, la vitesse de corrosion peut augmenter, étant donné que les piqûres contiennent tous les composants nécessaires à la corrosion et que les zones anodiques et cathodiques peuvent se séparer à l'intérieur de la piqûre. Tout comme les piqûres en forme de V, il est extrêmement difficile de nettoyer ces piqûres à fond, et la vitesse de corrosion peut être très rapide.

Les piqûres en soucoupe sont les moins préjudiciables, étant donné que la vitesse de pénétration dans le métal est relativement faible sur de courtes périodes par rapport aux autres types et qu'il est plus facile de les nettoyer et de les réparer.

### **Corrosion caverneuse**

La corrosion intense localisée, des petites piqûres jusqu'à l'attaque étendue sur toute la surface, peut se produire à l'intérieure des cavernes étroites formées par la géométrie de la structure, par exemple: les tôles rivetées ou les joints filetés. La corrosion caverneuse se caractérise par une configuration géométrique dans laquelle le réactif de la cathode, l'oxygène, peut facilement accéder à la surface métallique à l'extérieur de la caverne et peut moins facilement accéder dans la caverne. Le métal situé à l'intérieur de la caverne est par conséquent anodique par rapport à l'acier environnant et souffre de la corrosion préférentielle.



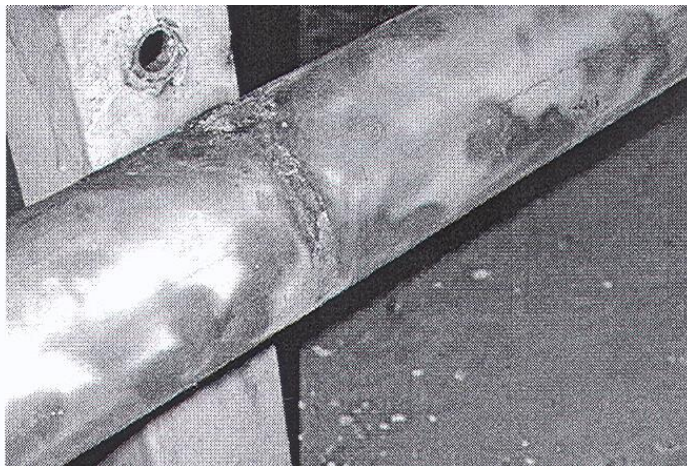


**Figure 10 - Corrosion caverneuse**

Lorsque de la boue, un revêtement qui adhère mal, le sable et d'autres débris recouvrent une surface passive, celle-ci subit un mécanisme de corrosion identique à celui des cavernes. Chaque fois que des débris détachés s'accumulent, on constate une raréfaction de l'oxygène dans une caverne. Par conséquent, la corrosion est localisée à cet endroit.

La corrosion caverneuse et les piqûres qui s'ensuivent peuvent également débuter aux emplacements où de la matière comme de la suie se déposent sur une surface métallique exposée. Les cavernes se forment aux emplacements où deux surfaces sont en contact étroit, par exemple les tuyaux et les supports de tuyau dans les citernes de ballast et de cargaison peuvent subir une corrosion caverneuse aux endroits où les deux éléments se touchent. Lorsque les éléments sont fabriqués dans des métaux différents, l'un aura tendance à se corroder de manière préférentielle. Lorsque les éléments sont fabriqués dans le même métal, ils peuvent développer des piqûres lorsqu'ils se trouvent en contact.

La corrosion caverneuse peut également se former entre une structure métallique et un élément non métallique, comme un joint d'étanchéité. Un exemple de corrosion caverneuse formant des piqûres est illustré à la figure 11.

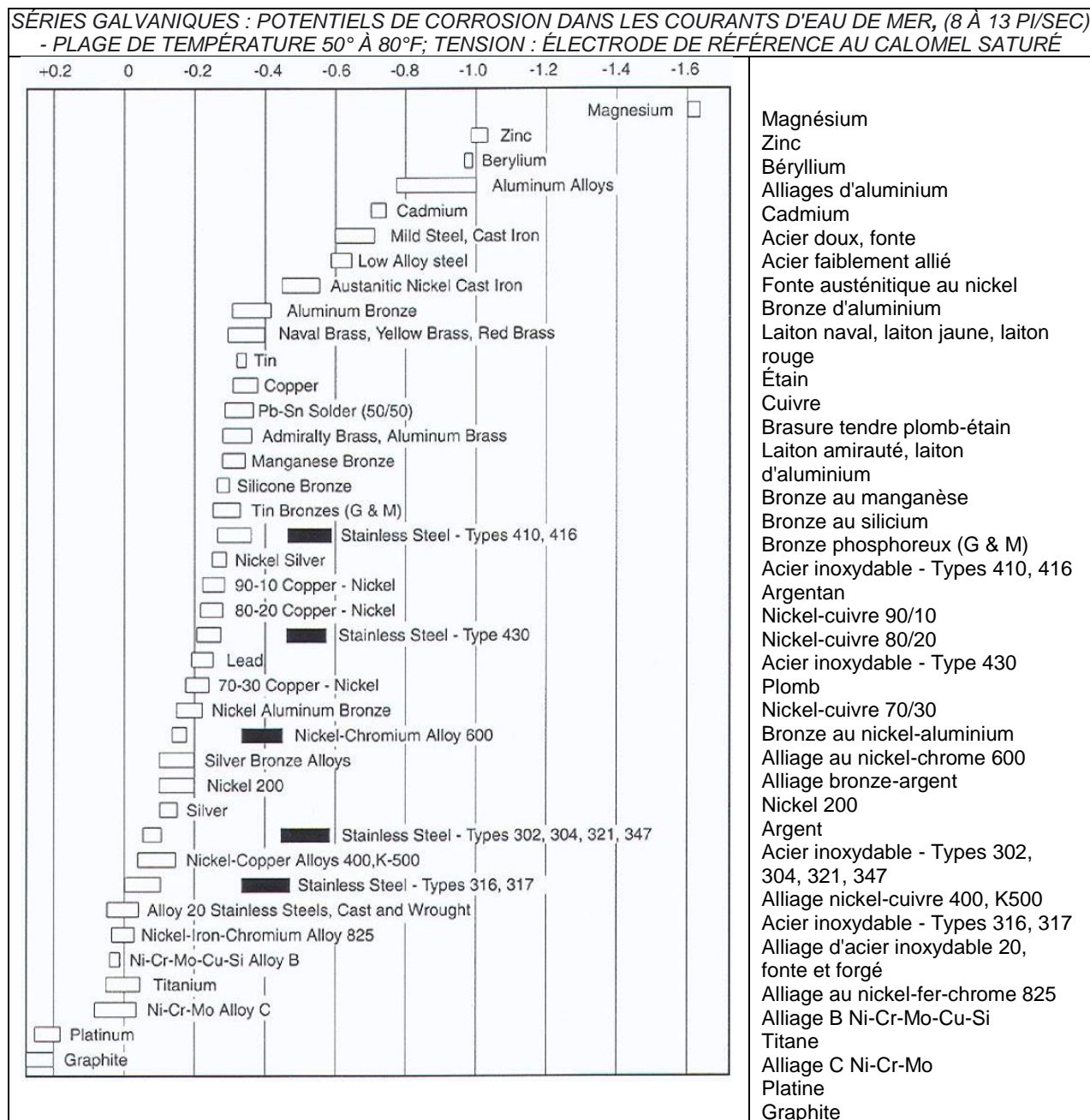


**Figure 11 - Piqûres se formant entre un support à étrier et un tuyau**

### **Corrosion galvanique**

Dans la série galvanique illustrée à la page suivante, le potentiel de référence correspond à une électrode au calomel saturé (ECS). Il s'agit d'un point de référence courant dans les environnements contenant du chlorure comme on en trouve dans l'industrie marine. La figure offre le classement

d'un certain nombre de matériaux d'ingénierie courants dans la série galvanique. Le matériau le plus positif (noble) est protégé de la corrosion au détriment du matériau le plus négatif (de base).



**Figure 12 - Séries galvaniques**

Les alliages sont énumérés par ordre de potentiel qu'ils produisent dans les courants d'eau de mer. Certains alliages indiqués par le symbole ■ dans l'eau à faible vitesse ou mal aérée et aux endroits blindés, peuvent devenir actifs et produire un potentiel de près de -0,5V.

Lorsque deux métaux différents de la série sont en contact électrique dans un électrolyte, p. ex. de l'eau de mer, l'un d'eux devient l'anode dans la réaction corrosive et l'autre devient la cathode. L'anode se corrode de manière préférentielle par rapport à la cathode. La cathode se trouve normalement à des emplacements qui présentent une réaction de raréfaction de l'oxygène.

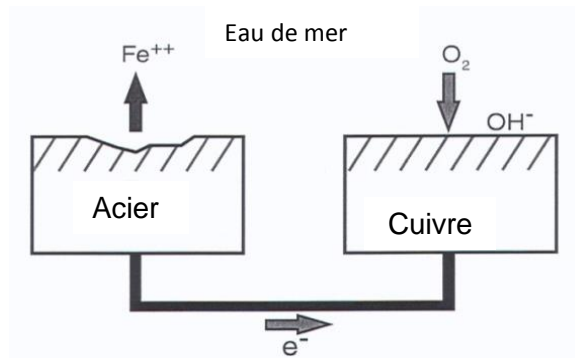
Par exemple, lorsque l'acier et le cuivre sont connectés comme dans la figure 13, l'acier représente le métal le moins noble et se corrode donc plus rapidement, tandis que le cuivre n'est pas touché, sauf sa surface qui devient plus alcaline.

Selon le concept traditionnel, un courant électrique se déplace du cuivre vers l'acier (de la cathode positive à l'anode négative). Le flux des électrons se déplace dans la direction opposée. La corrosion de l'acier est accélérée en cas de contact avec le cuivre. L'acier subit une corrosion galvanique, alors que le cuivre bénéficie d'une protection cathodique. L'acier inoxydable est également cathodique par rapport à l'acier doux. Lorsque les deux métaux sont en contact direct, l'acier doux se corrode de manière sacrificielle.

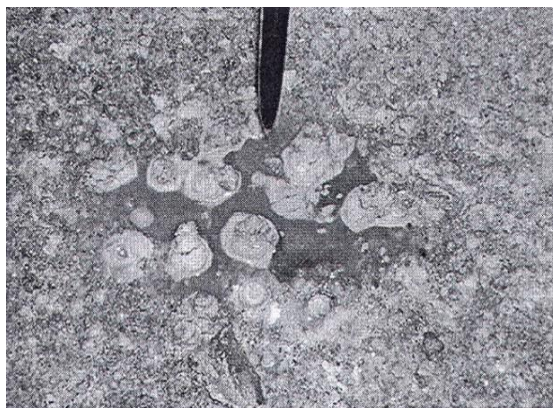
### Corrosion par dépôt

Ce type de corrosion se produit lorsque les ions d'un métal plus noble entrent en contact avec un métal moins noble et que le métal le plus noble se dépose sur les parois. Cela entraîne la formation d'un couple galvanique local, et le métal le moins noble se corrode.

Un exemple courant est le dépôt d'ions de cuivre provenant de la canalisation et des éléments chauffants sur les plafonds de ballast exposés en acier sur lesquels des piqûres se développeront rapidement. Reportez-vous à la figure 14.



**Figure 13 - Flux des électrons dans le couple fer-cuivre**



**Figure 14 - Ions de cuivres se déposant sur de l'aluminium et entraînant une corrosion**

### Corrosion par érosion

La corrosion par érosion se produit généralement au moment du lavage et du nettoyage des citernes. Les zones les plus proches des jets peuvent subir une perte de revêtement et des piqûres. La force du jet, qu'il s'agisse d'huile ou d'eau, est suffisante pour éliminer les couches protectrices d'oxyde de la surface métallique et lorsque les oxydes protecteurs ne peuvent pas se reformer, une corrosion localisée (piqûres) se produit.



### **Corrosion d'origine microbienne**

Ce type de corrosion peut se produire à de rares occasions dans les citernes de ballast et a parfois été tenu pour responsable du degré excessif de piqûres constaté dans les plafonds de ballast des très gros transporteurs de brut. Tous les métaux, même l'acier inoxydable, peuvent subir une corrosion d'origine microbienne. Il est très difficile de bien faire la différence entre la corrosion d'origine microbienne et les autres formes de corrosion, et les opinions divergent grandement sur sa signification. Sa présence peut être établie avec certitude seulement si l'on constate la présence de tapis ou de toiles de matière visqueuse dans des environnements clairement dépourvus d'oxygène (zéro oxygène).

Les deux types de bactéries les plus courantes à l'origine de la corrosion sont les bactéries acidogènes et les bactéries sulfatoréductrices. Toutes deux vivent dans des colonies attachées à la surface de l'acier où l'une contribue à la croissance de l'autre. Les bactéries corrosives, comme les bactéries sulfatoréductrices qui se développent dans des environnements dépourvus d'oxygène, prolifèrent rarement sur des surfaces importantes dans les conditions que l'on trouve à bord des navires. À bord des navires, les microbes peuvent subsister dans la couche d'eau située au fond des citernes à cargaison pétrolière et dans le sédiment des citernes de ballast, mais des conditions stagnantes sont généralement requises pour que la corrosion d'origine microbienne se développe. La réaction exacte entre les microbes et l'acier n'est pas claire, mais ces éléments produisent des acides, créent des cellules corrosives et produisent du sulfure d'hydrogène.

La détection initiale des bactéries sulfatoréductrices se fait d'abord visuellement lorsque l'on remarque un dépôt de résidus visqueux noirs à la surface de l'acier. De plus, la détection de sulfure d'hydrogène (odeur d'œuf pourri) peut être notée. La corrosion d'origine microbienne correspond presque toujours à des piqûres fortement localisées, et ces piqûres sont généralement remplies d'une matière ferreuse noire. Les parois des piqûres peuvent être étagées, et la surface métallique située en dessous des produits de la corrosion est souvent brillante et active. Une confirmation supplémentaire peut être obtenue par la mise en culture d'échantillons.

Cependant, des effets de corrosion semblables peuvent également être constatés alors que la corrosion d'origine microbienne n'est pas un facteur. Dans les citernes de pétrole brut, la corrosion et les piqûres sont provoquées principalement par les dépôts de soufre provenant de la cargaison ou produits par les systèmes de gaz inerte.

Tous les revêtements superficiels durs utilisés dans les citernes de cargaison et de ballast sont réputés résistants aux bactéries, à l'exception probable des vinyles. Ces derniers ne sont que rarement utilisés dans ces zones. L'ajout d'anodes sacrificielles à un système de protection par revêtement peut faire augmenter localement le pH à l'intérieur de la citerne. Les bactéries ne prolifèrent généralement pas dans des zones où le niveau de pH est situé dans une gamme alcaline comprise entre 10 et 14.

Il convient de noter qu'en dépit de la présence d'anodes sacrificielles, le pH local sous un biofilm constitué d'écailles de rouille peut devenir ou rester acide s'il est protégé des effets de l'anode sacrificielle. L'utilisation de biocides pour le traitement des zones touchées par les bactéries a été mise à l'essai avec succès dans de petites citernes fermées, mais ces produits engendrent des effets à court terme et sont coûteux. Des biocides comme le chlore, le peroxyde d'hydrogène, l'iode et l'amine quaternaire ont été utilisés.

Au cours de la nouvelle phase de construction, des caractéristiques de conception doivent être utilisées pour réduire ou éliminer les zones concernées par l'accumulation de boue et de sédiments. De plus, le drainage approprié de tous les liquides vers une zone d'assèchement commune est souhaitable pour éviter d'assister à une accumulation d'eau stagnante.

### Corrosion sur la zone de soudure:

Ce type de corrosion peut apparaître à de rares occasions sur les zones de soudure des tôles du bordé extérieur des navires transitant dans les zones de glace. Une attaque préférentielle peut apparaître dans le dépôt de métal de soudure ou sur la zone thermiquement affectée de la plaque de base. Reportez-vous aux figures 15 et 16 ci-dessous.

La cause de cette forme de corrosion a fait l'objet de recherches communes entre le MPO, la GCC et de CANMET, MRNC il y a quelques années. Des essais en laboratoire et des évaluations sur place ont révélé que les dépôts de métal de soudure en acier au carbone qui présentent une teneur élevée en silicium deviennent anodiques par rapport à la plaque de base.

Il a été prouvé par la suite qu'il était possible d'améliorer la noblesse du métal de soudure en contrôlant la teneur en silicium ou en alliant le métal de soudure avec de légers ajouts de cuivre et de nickel afin de compenser les effets du silicium sur la noblesse.



Figure 15 - Corrosion du métal de soudure



Figure 16 - Corrosion de la zone thermiquement affectée de la plaque de base

On a également découvert par la suite que lorsque le métal de soudure noble était déposé sur des plaques de base dont la teneur en manganèse était supérieure à 1,2 % en poids, la morphologie passait à une corrosion de la zone thermiquement affectée de la plaque de base attribuable à la structure martensitique de la zone thermiquement affectée de la plaque de base.

Ces observations ont été prouvées par la suite au cours d'une étude sur le terrain de trois ans réalisée sur le MV *Arctic* qui a permis d'établir une corrélation entre l'essai en laboratoire et la vitesse de corrosion en temps réel pendant une exposition dans l'Arctique.

Au cours de la construction de la nouvelle proue du NGCC *Louis S. St-Laurent*, l'aciérie a maintenu la teneur en manganèse en dessous de 1,30 % en poids, et le chantier naval a rempli le côté eau de mer des soudures sur chanfrein à une profondeur de 5 mm plus le bombement de la soudure à l'aide d'une électrode à faible teneur en silicium développée par Air Liquide (E48018-1 RCR).

Il est souhaitable de recourir à une technique de cordon de trempage pour le recouvrement afin d'adoucir la zone thermiquement affectée de la plaque de base comme il est illustré à la figure 17.

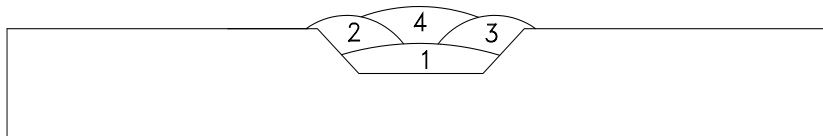


Figure 17 - Corrosion de la zone thermiquement affectée de la plaque de base

Un guide de correspondance des métaux de soudure visant à empêcher la corrosion de la zone de soudure ou à y remédier est proposé dans la sous-section 5.3.2.10 et l'annexe B de la version 2013 de la spécification de soudage du MPO et de la GCC. À ce jour, l'IACS et ses sociétés membres n'offrent aucune orientation ou exigence visant à réduire la corrosion de la zone de soudure.

### 1.6.5 Approche concernant les problèmes de corrosion

Pour essayer de résoudre les problèmes de corrosion, il faut d'abord consulter le tableau galvanique afin de déterminer la compatibilité des différents métaux en contact les uns avec les autres dans un environnement marin. En bref, du point de vue de la prévention de la corrosion, les choix de rectification qui vous sont offerts sont les suivants :

- Choisir les matériaux qui sont les plus compatibles entre eux.
- Isoler les matériaux qui sont incompatibles, grâce à un revêtement ou par d'autres moyens.
- Modifier les états nobles ou non grâce, par exemple, au placement d'anodes sacrificielles, à l'application de revêtements métalliques vaporisés à chaud ou à des tresses de mise à la masse.

**Exemple 1**, sur le type 1100, dans le système de refroidissement à l'eau de mer, des refroidisseurs Alpha Laval en titane ont été installés avec un tuyau en acier au carbone de paroi très épaisse entre les refroidisseurs et les canalisations en cuivre-nickel-fer. Le tuyau en acier au carbone a été conçu de manière à constituer un tronçon de tuyauterie destiné à se détériorer (anode sacrificielle). Sans cette anode sacrificielle (le tronçon de tuyauterie destiné à se détériorer), le tuyau en cuivre-nickel-fer ne serait pas noble par rapport au titane et se corroderait.

**Exemple 2**, l'acier galvanisé qui entre en contact avec l'aluminium rend tout d'abord l'acier galvanisé non noble jusqu'à l'élimination totale du zinc, auquel cas l'aluminium passe à l'état non noble en contact avec l'acier et se corrode.

**Exemple 3**, des boulons en acier inoxydable ont été montés sur la plaque grille d'entrée de prise d'eau à la mer du *John A. MacDonald*. À la mise en cale sèche suivante, la structure en acier à proximité des boulons en acier inoxydable était corrodée à un point nécessitant sa réparation. Une tresse de masse entre la coque et la plaque grille d'entrée aurait permis d'éviter cette situation.

**Exemple 4**, les anodes sacrificielles en zinc sont efficaces pour l'acier, mais pas autant pour l'aluminium, tandis que le magnésium est efficace pour l'aluminium, mais pas assez noble pour l'acier et se détériorerait beaucoup plus rapidement.

## Section 2 SOUDAGE

---

Le soudage remonte aux premiers travaux du métal. On pense que le premier procédé moderne de soudage a été élaboré en 1881. L'un des premiers navires soudés de première génération, le HMS Fulagar, semble avoir été lancé en 1920. Le soudage des navires en acier est devenu courant pendant la Seconde Guerre mondiale, et les enseignements tirés des Liberty Ships ont permis de construire des Victory Ships de meilleure qualité. Après la guerre, le soudage est devenu courant, remplaçant le rivetage en tant que forme principale d'assemblage.

Des problèmes relatifs à l'adoption et à l'utilisation correcte du soudage sont survenus en raison de sa nouveauté, ce qui a présenté des risques pour la sécurité publique dans beaucoup de secteurs industriels, notamment la marine. Par conséquent, dans les années 1930, des nations du monde entier ont reconnu le besoin de disposer de normes de soudage cohérentes, ainsi que de la réglementation uniforme de ces normes. Le début de la Seconde Guerre mondiale a mis provisoirement un frein au développement des normes de soudage.

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, beaucoup d'exigences nationales et d'exigences relatives à des matériaux propres aux produits, au soudage ainsi qu'aux END ont évolué à partir d'une vaste gamme de sources sous la forme de spécifications, de normes, de codes, de règles, de règlements, de guides et de programmes.

### 2.1 ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION

La Canadian Engineering Standards Association (CESA), constituée en 1919, qui est ensuite devenue l'Association canadienne de normalisation (CSA) en 1944. La CSA correspond à une association sans but lucratif fondée sur l'adhésion desservant les entreprises, l'industrie, le gouvernement et les consommateurs au Canada et sur le marché mondial. Le jeune organisme qui, en 1919, tentait d'accroître la sécurité des chemins de fer du Canada est devenu, au XXI<sup>e</sup> siècle, un chef de file des domaines de l'élaboration de normes, de la certification et de la mise à l'essai et de l'évaluation de produits de consommation.

La CSA est un organisme qui s'efforce de construire un monde meilleur, plus sûr, plus durable dans lequel les normes sont mises au service des personnes et des entreprises. Il s'agit d'un organisme de renommée internationale axé sur les solutions, travaillant sans relâche à l'élaboration de normes qui répondent à des besoins réels, tels que l'amélioration de la santé et de la sécurité du public, l'amélioration de la qualité de vie, la préservation de l'environnement et la facilitation du commerce. Il existe 11 programmes d'élaboration des normes CSA comportant plusieurs catégories pour chaque programme et plusieurs normes particulières au sein de chaque catégorie. Les normes de soudage CSA sont situées sous la rubrique Programme de construction, catégorie Soudage et charpentes métalliques.

En 1938, la CESA a publié la norme S-47 qui est devenue, en 1947, la norme CSA W47 – Certification des compagnies de soudage par fusion de l'acier. Le bureau canadien de soudage a été mis sur pied en tant que division de la CSA en 1947 avec pour mandat de gérer les exigences en matière de certification des diverses normes de soudage de la CSA. En 1940, la CESA publie la norme S-59 qui est devenue, en 1946, la norme CSA W59 Welded Steel Construction (Metal Arc Welding). Les normes de soudage de la CSA sont préparées par les comités techniques qui relèvent de la compétence du Strategic Steering Committee on Welding and Structural Metals et sont officiellement approuvées par les comités techniques.

Afin de promouvoir l'équité et de tirer parti de la force et de l'expertise d'un large éventail de groupes d'intérêt, chaque comité est constitué de façon équilibrée. La composition des comités

directeurs de la stratégie et des comités techniques est fixée avec l'objectif de veiller à ce que toutes les catégories d'intérêt des parties prenantes soient représentées de manière raisonnable. La composition permet d'établir un nombre minimal et maximal de membres votants pour chaque catégorie d'intérêt et offre un équilibre raisonnable dans la représentation de ces comités.

Au moment d'élaborer une norme, les membres du comité s'efforcent d'atteindre un consensus d'opinion et cherchent à établir un large terrain d'entente parmi les groupes d'intérêt représentés dans le comité. Le comité tient compte de l'opinion de tous les participants et élabore le contenu par l'intermédiaire d'un processus de consensus, mais sans forcément recourir à l'unanimité parmi tous les membres du comité. Lorsque les membres se sont entendus sur un projet de norme, celle-ci est soumise à l'examen du public et modifiée au besoin.

## 2.2 BUREAU CANADIEN DE SOUDAGE

Le bureau canadien de soudage est issu du CSA en 1991 pour devenir le Groupe CWB, un organisme sans but lucratif dédié à l'amélioration de la sécurité du public et au succès de ses clients et de ses membres au moyen de certifications de soudage, d'inscription à des systèmes de gestion, de l'adhésion et de services d'enseignement. Le groupe CWB comprend aujourd'hui trois secteurs d'activité et une association :

**Le bureau canadien de soudage :** Axé sur la certification et la qualification en matière de soudage, ainsi que sur la gestion des services connexes (examens, normes, etc.), le bureau canadien de soudage offre des services destinés à la certification CSA, ainsi qu'à des organismes, associations et sociétés internationaux.

**CWB Institute (CWBi) :** Axé sur le perfectionnement professionnel et sur la formation professionnelle, offre un large éventail de cours relatifs au soudage et aux END en ligne, en classe et sous forme hybride.

**QUASAR :** Axé sur l'enregistrement des normes, il s'agit du seul registre ISO du Canada.

**Canadian Welding Association (CWA) :** Axée sur la défense des professionnels du soudage et des entreprises de soudage, correspond à la plus grande association relative au soudage au Canada (environ 38 000 membres pour le moment).

À ce jour, le bureau canadien de soudage maintient son mandat d'origine de 1947 qui consiste à gérer les exigences en matière de certification des normes de soudage du CSA.

En tant qu'organisme technique, le bureau canadien de soudage constitue une source de connaissances essentielles. De l'examen et de l'approbation des procédures de soudage à la qualification sur place des soudeurs en fonction des principales normes, il est connu dans le monde entier en tant que chef de file de la gestion des normes.

- Le bureau canadien de soudage est agréé par le Conseil canadien des normes en tant qu'organisme de certification.
- Le bureau canadien de soudage est l'organisme national autorisé pour l'Institut international de la soudure (IIS) pour le système de certification du fabricant de l'IIS (ISO 3834) et le système de certification du personnel de l'IIS pour les ingénieurs, les technologues en soudure et les soudeurs.
- Le CWB Institute est agréé par Ressources naturelles Canada en tant qu'organisme de formation sur les END.
- Le QUASAR est agréé par le Conseil canadien des normes en tant que registraire ISO.

Le groupe et le bureau canadien de soudage desservent plus de 7 000 entreprises dans 34 pays du monde entier.

Le bureau canadien de soudage dispose actuellement de plus de 20 ingénieurs répartis dans plusieurs postes, parmi lesquels 7 sont des ingénieurs des procédures de soudage dédiés. Le groupe des procédures a examiné 33 443 fiches de données sur les procédures de soudage et a contribué aux spécifications des procédures de soudage, ainsi qu'à 2 345 rapports d'examen d'aptitude aux procédures en 2011. Il existe actuellement 20 068 rapports d'examen d'aptitude aux procédures consignés dans la base de données et le système de gestion des procédures de soudage du bureau canadien de soudage.

Le bureau canadien de soudage compte 115 réparateurs-représentants de services techniques. En 2011, les réparateurs-représentants de services techniques ont effectué plus de 11 500 audits d'entreprises certifiées, évalué 43 353 soudeurs, assisté à l'essai de 89 147 plaques d'essai individuelles et émis 61 622 cartes de qualification de soudeur. Ils ont également géré 1 767 essais de qualification de consommables de soudage et y ont assisté.

Les politiques et les procédures selon lesquelles le groupe CWB opère ne sont pas discriminatoires et sont gérées de manière non discriminatoire. Les procédures ne sont pas utilisées pour entraver ou empêcher l'accès aux demandeurs, autres que les dispositions prévues dans les normes régissant le programme de certification ou de qualification qui s'applique.

La structure du groupe CWB vise à renforcer la confiance dans les certifications et les qualifications accordées. L'administration centrale du groupe CWB est située à Milton, en Ontario.

Le groupe CWB possède des bureaux régionaux à Dartmouth, en Nouvelle-Écosse, à Laval, au Québec, à Milton, en Ontario, à Winnipeg, au Manitoba et à Edmonton, en Alberta.

Beaucoup des réparateurs-représentants de services techniques opèrent dans des bureaux satellites positionnés stratégiquement afin de desservir leur clientèle dans les meilleures conditions.

Le groupe CWB comprend actuellement 177 centres d'examen d'aptitude à l'échelle du pays dans lesquels il est possible de passer des examens d'aptitude au soudage en vue d'obtenir des cartes de qualification transférables du groupe CWB.

Colombie-Britannique	Alberta	Région du Centre-Ouest	Ontario	Québec	Région de l'Atlantique
19	14	14	73	32	25

Le groupe CWB comporte actuellement 97 entreprises certifiées conformes à la norme CSA W178.1 – Qualification des organismes d'inspection à l'échelle du pays, parmi lesquelles 47 entreprises sont en mesure d'appliquer toutes les méthodes abordées par la norme; VT, LPT, MT, RT, UT, ET ainsi que la métallographie et les essais mécaniques. Ces entreprises peuvent effectuer les essais requis dans le cadre de la norme d'essai sur les ensembles d'essais soudés auxquels a assisté le groupe CWB, à l'exception de l'interprétation des radiographies qui est toujours réalisée par le groupe CWB.

Colombie-Britannique	Alberta	Région du Centre-Ouest	Ontario	Québec	Région de l'Atlantique
7	19	4	27	27	13

Le groupe CWB s'efforce de fournir une certification de qualité, des services de qualification et d'enregistrement fiables, réactifs, de bonne réputation et compétents afin de garantir la satisfaction de ses clients. Depuis plus de 65 ans, le groupe CWB tient le rôle d'administrateur des normes CSA (W47.1, W47.2, W55.3, W186 et W48), depuis 20 ans, le rôle de registraire de plusieurs normes internationales (ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 et ISO 3834), ainsi que le rôle d'administrateur des normes propres à l'industrie (CAN A660, directives de l'ICCA et directives de l'ICCA en matière de ponts).

Le groupe CWB s'engage à mettre en œuvre et à maintenir un système de gestion de la qualité et détient plusieurs accréditations de tiers pour les services offerts. Tous les employés sont



encouragés à participer au système et sont responsables de la mise en œuvre, du maintien et de la prestation des possibilités d'amélioration du système.

Il existe plus de deux cents dossiers de certification au groupe CWB pour les entreprises certifiées conformes aux normes CSA de la série W47 situées au Canada et qui ont indiqué au groupe CWB avoir la marine pour première ou seconde activité.

Les services gratuits du bureau de sécurité publique du groupe CWB offerts aux STI de la GCC sont les suivants :

- Cours de formation sur les points suivants:
  - Aperçu des normes canadiennes.
  - Aperçu des normes internationales et aperçu des systèmes de qualité des soudures.
- Évaluation indépendante des spécifications des projets par rapport au soudage et aux matériaux

\*Ce service peut impliquer des frais en fonction de l'étendue de l'évaluation. Les services payants du groupe CWB offerts aux STI de la GCC sont les suivants :

- Élaboration de la spécification du projet (propre aux questions de soudage, de matériaux et d'inspection)
- Évaluations du fournisseur (avant l'attribution du contrat).
- Examen des procédures de soudage de l'entrepreneur, des qualifications des soudeurs.
- Examen des rapports d'inspection.
- Liaison des propriétaires avec les sociétés de classification du point de vue du soudage et des END
- Service de conseils techniques (honoraires mensuels pour des conseils offerts à la demande).

[Suivez ce lien pour obtenir les coordonnées du groupe CWB.](#)

## **2.3 NORMES PRESCRIPTIVES EN MATIÈRE DE SOUDAGE**

### **2.3.1 Normes CSA W47.1 et CSA W47.2**

Ces normes détaillent les exigences de certification des entreprises pour le soudage par fusion de l'acier (W47.1) et de l'aluminium (W47.2).

La norme CSA W47.1 a été introduite en 1938 en tant que norme préalable avant d'être publiée en 1947 sous la dénomination W47. L'édition de 2009 remplace les éditions précédentes publiées en 2003, 1992, 1983 et 1973.

La norme CSA W47.2 a été publiée pour la première fois en 1967. L'édition de 2011 remplace les éditions précédentes publiées en 1987 et 1967.

Ces normes ne sont pas destinées à des applications régies par des codes tels que l'ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

L'International Association of Classification Societies (IACS) reconnaît que les normes CSA W47.1 et W47.2 sont techniquement équivalentes aux normes mentionnées dans leurs directives destinées aux sociétés membres en ce qui concerne les soudeurs ainsi que la spécification et la qualification relatives à la procédure de soudage.

Ces normes précisent les exigences minimales qu'une entreprise doit respecter et maintenir de manière à obtenir et à conserver sa certification. La certification est accordée par le groupe CWB, l'organisme administratif chargé de ces normes.

Il est important de comprendre que la certification d'une entreprise indique qu'elle comprend l'organisme, le personnel, les procédures de soudage et l'équipement requis pour produire des



soudures satisfaisantes conformes à la division de certification.

Il existe trois divisions. Une entreprise de division 1 doit employer à plein temps un ingénieur en soudage, une entreprise de division 2 doit s'assurer les services d'un ingénieur en soudage à temps partiel et une entreprise de division 3 n'est pas tenue d'employer d'ingénieur en soudage ni d'avoir recours à ses services.

La production de soudures satisfaisantes relève de la responsabilité de l'entreprise certifiée. L'acheteur est tenu de s'assurer, grâce à une inspection appropriée, que la qualité requise a été atteinte. Bien que le groupe CWB effectue des inspections périodiques des entreprises certifiées afin de s'assurer qu'elles continuent de satisfaire aux exigences de ces normes, ces inspections ne permettent pas de se passer des méthodes de contrôle de la qualité d'une entreprise certifiée ou du programme complet d'inspection d'un acheteur.

Chaque année, CWB émet une lettre de validation pour chaque norme de certification. Une entreprise en défaut a 90 jours pour corriger la (les) question(s) soulevées de façon à satisfaire la CWB sinon la certification est révoquée. Chaque lettre de validation indique une période d'efficacité. Prudence devrait être exercée lorsqu'une lettre en cours de validation ne peut être fournie par l'entrepreneur. Il importe tout autant de garantir que les renouvellements sont atteints de manière opportune, lorsque la date de renouvellement coïncide avec la période d'un contrat donné.

[Cliquez ici pour rechercher les compagnies certifiées par le groupe CWB.](#)



Le Bureau canadien de soudage reconnaît que

### LEDUC LTÉE

123, rue de la Soudure, Montréal (Qc) Canada

est certifiée selon la **norme CSA W47.1**

Certification des entreprises pour le soudage de l'acier par fusion

dans la **DIVISION 2**

pour la période du **4 avril 2013** au **3 mai 2014**

Cod. de l'entreprise : LEDUL1

Portée : soudage et fabrication de charpentes en acier

Registraire



Le système de certification des produits exploité par le Bureau canadien de soudage se rapproche le plus du système décrit par  
Le Guide 67 ISO/IEC, Evaluation de la conformité – Principes fondamentaux de la certification des produits, système 6.



8260 Parkhill Drive, Milton, Ontario L9T 5V7  
Tél.: 905-542-1312 | 1-800-844-6790 | Téléc.: 905-542-1318  
Courriel: info@cwbgroupp.org | Site Web: www.cwbgroupp.org



### 2.3.2 Normes CSA W178.1 et CSA W178.2

Ces normes détaillent les exigences de certification des organismes d'inspection en soudage (W178.1) et des inspecteurs en soudage (W178.2).

La norme CSA W178.1 a été publiée pour la première fois en 1973. L'édition de 2008 remplace les éditions précédentes publiées en 2002, 1996, 1990 et 1973.

La norme CSA W178.1 offre un ensemble d'exigences permettant d'évaluer la capacité des organismes qui fournissent des services dans le domaine de l'inspection en soudage. Cette norme doit être utilisée avec la norme CSA W178.2, Qualification des inspecteurs en soudage.

Les exigences de la norme CSA W178.1 doivent être appliquées en même temps que les normes du système de gestion de la qualité, telles que les normes CAN/CSA-ISO 9000, ainsi que les normes relatives à la catégorie des produits.

La norme CSA W178.2 a été publiée pour la première fois en 1982. L'édition de 2008 remplace les éditions précédentes publiées en 2001, 1996, 1990 et 1982.

La norme CSA W178.2 fournit les exigences pour la qualification des inspecteurs en soudage, quel que soit l'endroit où ils travaillent. Il n'est pas nécessaire qu'un organisme d'inspection dépose une demande individuelle pour la qualification en vertu des exigences de cette norme.

L'efficacité de l'inspection en soudage dépend fortement des connaissances et de l'intégrité de la personne chargée de mener l'inspection. À ce titre, il existe un besoin réel d'inspecteurs en soudage possédant des connaissances appropriées et la capacité de faire preuve d'un jugement responsable. Cette norme n'a pas pour vocation de remplacer la responsabilité finale de l'employeur relative aux travaux ni le jugement d'un superviseur au sujet de l'aptitude d'un employé à effectuer une tâche donnée.

[Suivez ce lien pour rechercher des entreprises et des inspecteurs visuels en END certifiés par le groupe CWB.](#)

### 2.3.3 2.4.3 Norme 48.9712-2006 de l'ONGC

Cette norme définit les exigences de certification du personnel des END. La norme CAN/CGSB 48.9712- 2006 comporte trois niveaux de certification dans les méthodes d'essai de radiographie industrielle (RT), d'ondes ultrasonores (UT), de contrôle magnétoscopique (MT), de ressuage (PT) et par courants de Foucault (ET).

- Les personnes de niveau 1 sont autorisées à effectuer des essais ou à y contribuer sous la supervision directe d'une personne de niveau 2 ou 3.
- Les personnes de niveau 2 sont autorisées à mener des essais, à en interpréter les résultats et à préparer les rapports d'interprétation.
- Une personne de niveau 3 est autorisée à effectuer des essais, à en interpréter les résultats, à préparer les rapports d'interprétation et à rédiger les procédures d'essai.

Pour la **méthode RT**,

- EC = Secteur de l'ingénierie, des matériaux et des composants
- AS = Secteur de l'aérospatiale
- A = Pièces de fonderie et de forge en alliage léger
- B = Soudures et assemblages soudés
- C = Pièces de fonderie et de forge en métal lourd

Une certification dans les secteurs A, B et C équivaut à une certification dans le secteur de l'ingénierie, des matériaux et des composants.

Pour les **méthodes UT, MT, PT et ET**, l'ensemble de la certification concerne le secteur de l'ingénierie, des matériaux et des composants.

Ressources naturelles Canada (RNC) gère le programme national canadien pour la certification des personnes qui mènent des essais non destructifs. L'organisme national de certification (ONC) en END de RNC offre les services suivants :

- Certification en END RNC – CGSB-48.9712 : Certification du personnel des END.
- Certification d'opérateur d'analyse par fluorescence à rayons X : La certification des opérateurs d'analyseurs par fluorescence à rayons X portatifs conformément aux exigences du code de sécurité 34 de Santé Canada et à la norme ISO 20807.
- Examen écrit de l'accréditation des opérateurs d'appareil d'exposition : Qualification pour l'accréditation des opérateurs d'appareil d'exposition de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN).

Ces programmes sont mis en œuvre par le gouvernement fédéral afin d'offrir les services impartiaux à l'échelle du Canada nécessaires à la mise en œuvre d'un programme national. Afin de s'assurer que cet objectif est bien atteint, un comité consultatif composé de personnes qui connaissent bien les END au Canada conseille RNC au sujet du fonctionnement de cet organisme d'homologation et de ses programmes.

[Suivez ce lien pour rechercher du personnel des END certifié par RNC.](#)

Les pénalités recommandées au sujet des violations du code de conduite sont les suivantes : Pour la tricherie (aux examens), au moins une année de suspension de toutes les certifications et pour les fausses déclarations (la fraude), une suspension de 10 ans de toutes les certifications, p. ex. une fausse déclaration de certification ou de niveau de certification sur les rapports, les procédures ou sur les copies de cartes pour portefeuille.

## **2.4 NORMES DE SOUDAGE RELATIVES À LA CATÉGORIE DE PRODUITS**

### **2.4.1 Normes CSA W59 et CSA W59.2**

Ces normes détaillent les exigences relatives à la construction soudée en acier (W59) et en aluminium (W59.2).

La norme CSA W59 a été publiée pour la première fois en 1940. L'édition de 2003 remplace les éditions précédentes publiées en 1989, 1984, 1982, 1977, 1970, 1946 et 1940.

La norme CSA W59.2 a été publiée pour la première fois en 1991 en remplacement de la norme CSA S244-1969, Welded Design and Workmanship (Inert Gas Shielded Arc Processes). Elle a reçu un nouveau numéro afin de montrer qu'elle correspond à la norme CSA W59. L'édition de 1991 a été réaffirmée en 2008.

Ces normes comportent des exigences en matière de produits dans les domaines suivants :

- Conception des assemblages soudés
- Produits consommables pour le soudage
- Exécution des travaux
- Critères d'acceptation des soudures
- Inspection des soudures

Les annexes de ces deux normes contiennent de l'orientation au sujet d'un certain nombre de domaines

La norme CSA W59 comporte une section sur les procédures admissibles de soudage permettant aux assembleurs d'obtenir des approbations lorsqu'ils remplissent toutes les conditions de la norme sans avoir subi les examens d'aptitude aux procédures de soudage, contrairement à la norme CSA W59.2. Toutes les procédures doivent comporter le timbre d'acceptation du groupe CWB.

## 2.4.2 Spécification de soudage de la GCC relative à la construction et à la réparation des navires

La présente spécification établit les exigences relatives au secteur de Mécanique navale des Services techniques intégrés (STI) de la GCC de Pêches et Océans Canada. Les entreprises sont tenues de suivre et de respecter les exigences de la présente spécification lorsque le contrat l'exige. Celle-ci indique en détail les exigences de soudage et d'inspection non destructive des soudures de l'acier de structure, de l'aluminium et de l'acier inoxydable et du large éventail des autres matériaux utilisés pour l'installation de la tuyauterie sous pression, des réservoirs sous pression et des systèmes de confinement sous pression et de l'équipement embarqué.

La spécification se fonde sur l'intégration des normes commerciales aux exigences particulières ou spéciales du propriétaire (les STI de la GCC).

Cette spécification combine les matériaux de construction et la tuyauterie sous pression en un seul document; l'acier de construction, l'aluminium de construction, l'acier inoxydable de construction, les autres matériaux de construction et la tuyauterie sous pression. Elle est adaptée à la nouvelle construction, à la modernisation de mi durée, au prolongement de vie des navires et aux réparations.

Elle définit l'autorité technique et l'autorité d'inspection comme correspondant à celle du directeur, Ingénierie navale, STI à Ottawa et à son représentant délégué nommé. Elle renvoie également au régime de réglementation et aux organismes reconnus par la Sécurité et la sûreté maritimes de Transports Canada.

Elle a été formulée en tenant compte de la volonté interne de satisfaire aux exigences des normes commerciales, le cas échéant, et de manière suffisante pour réduire les coûts.

À ce titre, cette spécification renvoie aux normes commerciales suivantes :

- Structures de soudage
  - CSA W47.1 et CSA W59 pour l'acier.
  - CSA W47.2 et W59.2 pour l'aluminium.
  - CSA W47.1 et AWS D1.6 pour l'acier inoxydable.
  - ASME section IX et W59 pour les autres matériaux.
  - IACS – Directives pour les matériaux, les tolérances d'ajustement et la soudure.
- Tuyauterie sous pression, réservoirs sous pression et systèmes de confinement sous pression
  - ASME section IX et ASME B31.1
- Inspection et END
  - CSA W178 et 78.2
  - ONGC 48.9712-2006
  - ASME Section V

Cette spécification exige que les entreprises soient certifiées en division 1 ou 2 par le groupe CWB conformément aux normes CSA W47.1 et W47.2, ce qui constitue une exigence pour la GCC depuis maintenant 30 ans. Le groupe CWB possède actuellement environ 200 dossiers d'entreprises canadiennes certifiées qui ont indiqué avoir la marine pour première ou deuxième activité.

Cette spécification renvoie à l'exigence de conception en matière de soudure et aux symboles de soudage, conformément aux normes CSA W59 et W59.2.

Il existe un renvoi dans la spécification qui permet de faire correspondre les désignations des électrodes et des consommables selon la norme CSA W48 aux divers aciers de construction de navires, aux aciers de haute résistance résistants à l'effet d'entaille, aux aciers résistants à la corrosion atmosphérique et aux abouts et aux joints des navires transitant dans les zones de glace.

La section portant sur l'exécution des travaux renvoie aux normes CSA W59 et W59.2, ainsi qu'à la norme IACS n° 47 Shipbuilding and Repair Quality Standard (Norme de qualité dans la construction et la réparation navales) pour la déformation des plaques entre les raidisseurs, en plus d'un nombre limité d'exigences du propriétaire, de la manière suivante :

- 5.4.3 – Formage des plaques à la chaleur (cintrage le long de lignes de chaleur).
- 5.4.5 – Espacement des soudures adjacentes.
- 5.4.6 – Dimensions des pièces rapportées.
- 5.4.8 – Alignement des supports intercostaux.
- 5.4.9 – Chanfrein de transition entre des épaisseurs de plaque différentes.
- 5.4.10 – Exigences lorsque les soudures doivent être affleurantes.
- 5.4.11 – Exigences lorsque les soudures doivent être lisses.
- 5.4.13 – Exigences pour la séquence de soudage et les distances de relâchement.
- 5.4.15 – Exigences portant sur les soudures, les tenons et les assemblages.
- 5.4.16 – Exigences portant sur les coups d'arc.

La section portant sur l'inspection renvoie aux normes CSA W59, W59.2, W178.2 et à la norme 48.9712 de l'ONGC, ainsi qu'à un nombre limité d'exigences du propriétaire, de la manière suivante :

- 5.5.1 – Exigences relatives à la demande d'utilisation du contrôle ultrasonore en remplacement de la radiographie.
- 5.5.2 – Exigences du propriétaire relatives aux audits mensuels réalisés par des tiers de la part du groupe CWB.
- 5.5.3 – Exigences du propriétaire relatives aux audits sur le film radiographique réalisés par des tiers de la part de RNCAN.
- 5.5.6 – La quantité de formules d'inspection est maintenant la même pour les nouvelles constructions de navires en acier et en aluminium. Les quantités d'inspections ont été définies pour les projets d'entretien et de réparation.
- 5.5.7 – Exigences en matière de préparation de surface avant l'inspection.
- 5.5.8 – Exigences en matière d'inspection différée pour l'acier dont la limite d'élasticité est supérieure à 360 MPa.
- 5.5.9.1 et 5.5.9.2 – Le personnel de niveau 1 peut seulement observer ou aider le personnel de niveaux 2 ou 3.
- 5.5.9.3 – Exigences en matière de certificat de qualification pour les inspecteurs.
- 5.5.10 – Exigences en matière d'inspection et critères d'acceptation pour les charpentes en acier.
- 5.5.11 – Exigences en matière d'inspection et critères d'acceptation pour les charpentes en aluminium.
- 5.5.12 – Exigences de film à double chargement pour l'inspection radiographique.
- 5.5.13 – Exigences en matière de visionneuse radiographique.
- 5.5.14 – Exigences en matière de rapports d'inspection et de dessins de disposition des END.
- 5.5.15 – Exigences en matière de chevauchement du film.
- 5.5.16 – Exigences en matière de soudures ou de pièces rejetées.
- Le chapitre 6 comprend les exigences en matière de soudage des aciers inoxydables de construction en combinant l'utilisation des normes CSA W47.1 et AWS D1.6.

- Le chapitre 7 comprend les exigences en matière de soudage des autres matériaux de construction qui ne sont pas abordés dans les normes CSA W47.1 et W59, W47.2 et W59.2 et AWS D1.6 en combinant l'utilisation de la section IX de l'ASME et les critères d'acceptation de la norme CSA W59.
- Le chapitre 8 comprend les exigences en matière de soudage de canalisations sous pression en combinant la section IX et la norme B31.1 de l'ASME.
- L'annexe A comprend une liste des codes, des normes et des publications mentionnées.
- L'annexe B comprend des essais permettant d'évaluer la résistance à la corrosion des métaux de soudage en acier au carbone dans l'eau de mer.
- L'annexe C comprend les exigences en matière de formage à chaud et les exigences thermiques pour l'aluminium.

## 2.5 NORMES RELATIVES AUX ÉLECTRODES DE SOUDAGE ET AUX PRODUITS CONSOMMABLES

### 2.5.1 Norme CSA W48 – 06

La norme CSA W48 a été publiée pour la première fois en 1938. L'édition de 2006 remplace les éditions précédentes publiées entre 2001 et 1938. Le groupe CWB assiste à tous les essais requis par la norme.

Les normes en matière de métal d'apport visent à fournir une méthode générique de classification et d'évaluation qui permet à l'utilisateur final de choisir les produits consommables de soudage appropriés pour un procédé de soudage donné, ainsi qu'un produit ou une application. Les procédures et les essais énoncés dans la norme, lorsqu'ils sont respectés, sont conçus pour offrir un produit uniforme et des résultats d'essai aussi reproductibles que possible.

Le comité technique reste en contact avec d'autres organismes comme l'American Welding Society (AWS), le Comité européen de normalisation (CEN) et la Japan Welding Engineering Society (JWES).

Les exigences en matière de produits consommables pour le soudage à l'arc sous gaz avec fil plein ont été remplacées par l'adoption de la norme CAN/CSA-ISO 14341 et le renvoi à cette norme. L'annexe A (normative) fournit des équivalences de classification pour la première édition de la norme.

Des annexes non obligatoires de la norme fournissent des renseignements généraux et une explication du système de classification (annexes B et C), des descriptions et les utilisations prévues des métaux d'apport de soudage et des matériaux alliés (annexes D, E, F, G et H), des renseignements sur l'entreposage et le conditionnement des électrodes (annexe I), ainsi que des renseignements sur l'hydrogène diffusible (annexe J).

[Suivez ce lien pour obtenir une liste des produits consommables de soudage approuvés par le groupe CWB en fonction de la norme CSA W48.](#)

## 2.6 CONCEPTION DE SOUDURE

La conception de soudure correspond à la taille et au type de soudure pour une connexion donnée, à la taille de la gorge ou de l'aile pour les soudures d'angle et à la profondeur de pénétration pour les autres soudures.



Dans le cas des nouvelles constructions de grands navires, la conception de soudure suit les règles d'un organisme reconnu (société de classification). Pour les plus petits navires, la conception est souvent assortie de dessins et de plans de construction.

Pour les navires existants, il est toujours préférable de suivre la conception d'origine des soudures, à moins que la conception d'origine n'ait posé des problèmes depuis l'étape de la nouvelle construction.

En cas de doute, les principes suivants peuvent être appliqués :

Sauf indication contraire,

- toutes les soudures d'angle doivent être des cordons doubles continus;
- tous les joints bout à bout doivent être à pénétration complète;
- tous les joints d'angle doivent comporter une soudure à pénétration complète accompagnée d'une soudure d'angle continue.

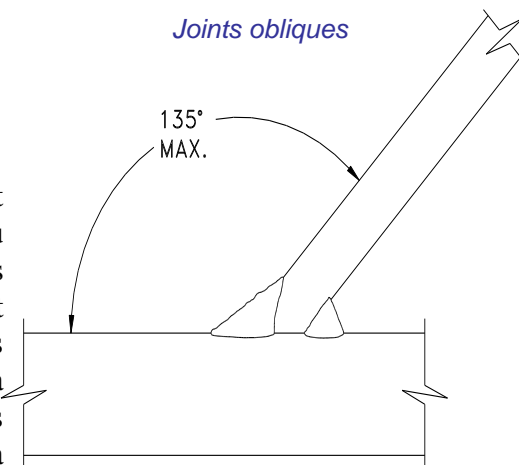
Il est important de savoir si la taille de la soudure d'angle figurant sur les plans présentés indique l'épaisseur de la gorge ou la longueur de l'aile. Lloyd's et DNV précisent la taille de la soudure d'angle selon l'épaisseur de la gorge, tandis que la SRA la précise selon la longueur de l'aile.

On peut convertir l'épaisseur de la gorge en taille de l'aile en la multipliant par un facteur de  $\sqrt{2}$ . On peut convertir la taille de l'aile en épaisseur de la gorge en la multipliant par un facteur de 0,707.

## 2.7 JOINTS OBLIQUES

Dans le cas d'un joint oblique où un membre n'est pas perpendiculaire à l'autre, les dimensions de la soudure d'angle doivent être déterminées à l'aide de la méthode décrite ci-dessous.

La longueur de l'aile déposée des soudures d'angle doit être ajustée en fonction de l'angle établi à l'aide du multiplicateur fourni dans le tableau ci-dessous. Les dimensions calculées de la soudure d'angle sont augmentées d'une dimension égale à l'écart entre les membres, le cas échéant. Les écarts inférieurs à 1,5 mm peuvent être ignorés. Les dimensions relevées de chaque soudure d'angle doivent être inférieures à la valeur la plus petite des deux dimensions d'aile.



Angle de dièdre en degrés	60	65	70	75	80	85	90	95
Facteur de multiplication	0,71	0,76	0,81	0,86	0,91	0,96	1,00	1,03
Angle de dièdre en degrés	100	105	110	115	120	125	130	135
Facteur de multiplication	1,08	1,12	1,16	1,19	1,23	1,25	1,28	1,31

Exemple: Dalle longitudinale oblique montée à un angle de 135°. La soudure d'angle souhaitée non oblique (90°) est de 5 mm. Longueur d'aile requise (5 mm x 1,31). En cas d'écart une fois montée, ajoutez la dimension de l'écart à la valeur calculée. Les écarts ne doivent pas dépasser 3mm (p. ex. 5 mm x 1,31+3mm). Arrondissez la valeur à la dimension supérieure la plus proche de la soudure d'angle.

## 2.8 SOUDURES À FORTE PÉNÉTRATION

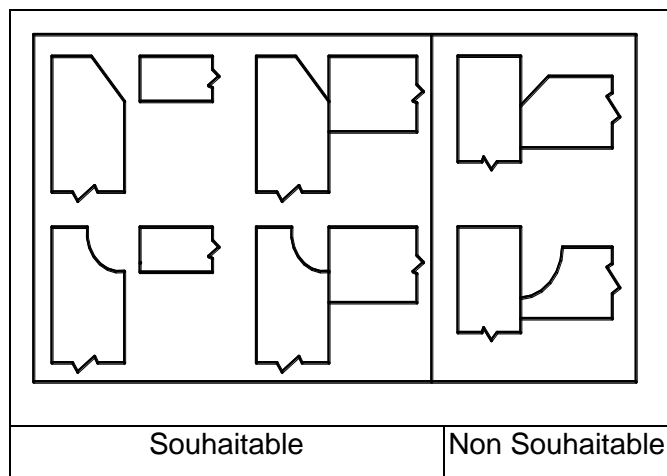
Le chantier naval peut demander au représentant délégué d'approuver une réduction des dimensions de la soudure d'angle en fonction de la forte pénétration qui peut être obtenue grâce à



l'utilisation de procédés de soudage comme le soudage à l'arc sous flux en poudre et l'écartement contrôlé des bords. Ce sujet doit être abordé avec la plus grande prudence, et l'approbation ne doit pas être accordée avant que le chantier naval ait prouvé, grâce à l'utilisation d'une éprouvette soumise à une attaque macrographique, que la diminution requise des dimensions de la soudure d'angle est souvent remplacée par une pénétration équivalente dans le bord du joint.

## 2.9 DÉCHIRURE LAMELLAIRE

Au cours du soudage de plaques épaisses (ép.>19mm), une déchirure lamellaire peut survenir à cause d'une mauvaise conception du joint, surtout dans le cas des joints d'angle. Les illustrations suivantes montrent les conceptions de joint souhaitables et non souhaitables dans les cas où il est impossible d'éviter les joints d'angles.



**Figure 18 - Conception de joint permettant d'éviter la déchirure lamellaire**

Les symboles de soudage sont utilisés pour décrire la soudure requise par le concepteur afin d'offrir le joint ou la résistance de connexion nécessaire et de satisfaire aux exigences de rendement en cours d'exploitation. Le fait de «décrire» la soudure implique, au besoin, de définir la géométrie du joint, le procédé à utiliser, le contour souhaité, le processus de finition, le nombre et les dimensions des soudures, les exigences en matière d'examen non destructif, etc. Il est important de prendre conscience du fait qu'une grande quantité de renseignements peut être illustrée sur le symbole de soudage, renseignements qui peuvent ne pas apparaître ailleurs, à moins qu'ils n'aient déjà été demandés.

L'American Welding Society, travaillant en étroite collaboration avec l'industrie du soudage en Amérique du Nord, a élaboré un plan systématique des symboles qui s'est uniformisé dans l'industrie. La norme AWS A2.4, « Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination » décrit ce système.

La norme CSA W59 a adopté ce système avec certaines modifications qui sont indiquées dans la norme.

Avant que les symboles de soudage puissent être utilisés et interprétés efficacement, l'utilisateur doit comprendre les différences de base entre un joint et une soudure tels qu'ils sont utilisés dans l'industrie du soudage.

Le type de joint décrit la façon dont les membres contigus peuvent être en contact l'un avec l'autre, et le type de soudure décrit la configuration du joint soudé, comme il est illustré ci-dessous.

**Figure 19 - Types de joints et types de soudures**

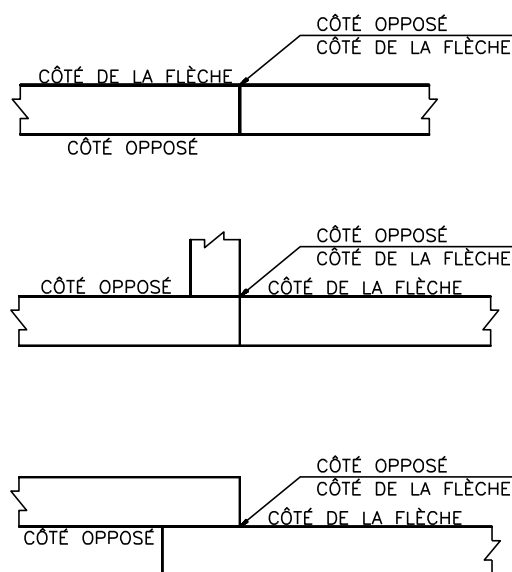
Diagram illustrating the components of a weld symbol, with labels in French:

- SYMBOLE DE FINITION
- SYMBOLE DE CONTOUR
- ÉCARTEMENT A LA RACINE; PROFONDEUR D'APPORT POUR LES SOUDURES EN BOUCHON ET EN BOUTONNIERE
- DIMENSION DE LA SOUDURE SUR PRÉPARATION
- PROFONDEUR DE LA PRÉPARATION DIMENSION OU RÉSISTANCE POUR CERTAINES SOUDURES
- SPÉCIFICATION PROCÉDÉ OU AUTRE REFERENCE
- QUEUE
- (QUEUE OMISE LORSQUE LA RÉFÉRENCE N'EST PAS UTILISÉE)
- SYMBOLE DE SOUDURE DE BASE OU AUTRE DÉTAIL DE RÉFÉRENCE
- ANGLE D'OUVERTURE; ANGLE D'OUVERTURE DE LA FRAISURE POUR LES SOUDURES EN BOUCHON
- LONGUEUR DE LA SOUDURE
- ÉCARTEMENT (ESPACEMENT CENTRE-A-CENTRE) DES SOUDURES
- SYMBOLE DE SOUDURE DE CHÂMP
- FLECHE RELIANT LA LIGNE DE RÉFÉRENCE AU MEMBRE DU CÔTÉ DU JOINT OU SE TROUVE LA FLECHE OU AU CÔTÉ DU JOINT OU SE TROUVE LA FLECHE
- SYMBOLE SOUDER-TOUT-AUTOUR
- LIGNE DE RÉFÉRENCE
- LES ÉLÉMENTS DANS CETTE ZONE RESTENT TELS QUELS LORSQUE LA QUEUE ET LA FLECHE SONT RENVERSÉES
- (N)
- (DEUX CÔTÉS)
- (CÔTÉ DE L'AUTRE CÔTÉ)
- NUMÉRO DE SOUDURES DE POINTAGE, DE GOUJON OU DE PROJECTION
- (E)
- (R)
- (F/A)
- (L/P)
- (S)
- (T)

### Figure 20 - Les symboles de soudage

Révisé Mai 2015

Le système du côté de la flèche et de l'autre côté sert à éviter la confusion relative au côté du joint où est placée la soudure. Le côté de la flèche ou l'autre côté du symbole correspond toujours à ce qui est illustré, quel que soit l'emplacement de la flèche.



**Figure 21 - Signification de l'emplacement de la flèche**

## 2.10 QUALIFICATIONS DES SOUDEURS

Les normes CSA W47.1 et W47.2 stipulent les exigences concernant les ingénieurs en soudage respectivement pour l'acier et l'aluminium.

Les entreprises certifiées par le groupe CWB de divisions 1 et 2 sont tenues de disposer d'un ingénieur en soudage à temps plein pour la division 1 et à temps partiel pour la division 2.

Le groupe CWB qualifie les ingénieurs selon les exigences des normes CSA et tient à jour une liste des ingénieurs qualifiés en soudage sur son site Web.

[Suivez ce lien pour localiser les ingénieurs qualifiés par le groupe CWB.](#)

Les normes CSA W47.1 et W47.2 stipulent les exigences concernant les superviseurs en soudage respectivement pour l'acier et l'aluminium.

Les entreprises de divisions 1, 2 et 3, certifiées par le groupe CWB sont tenues de disposer d'un superviseur qualifié en soudage.

Le groupe CWB qualifie les superviseurs en soudage en fonction des exigences des normes CSA. Les superviseurs en soudage doivent avoir de l'expérience, posséder une connaissance approfondie des spécifications et des fiches de données de soudage concernant les procédés utilisés par l'entreprise, être capables de lire les dessins et d'interpréter les symboles de soudage, connaître les défauts de soudure, les méthodes de contrôle de la qualité et d'inspection, le fonctionnement de l'équipement ainsi que les codes et les normes relatifs aux opérations de l'entreprise.

Les superviseurs de soudage reçoivent des cartes de qualification et des certificats qui peuvent être transférables ou non vers une autre entreprise certifiée par le groupe CWB.

Un exemple de certificat est illustré ci-dessous.

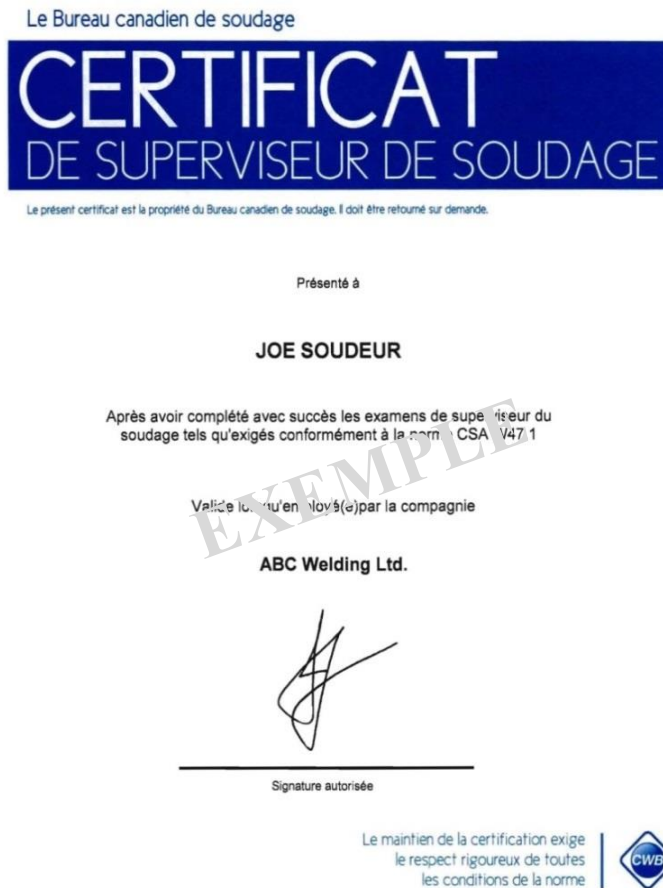


Image gracieusement offerte par le groupe CWB.  
Utilisation soumise à autorisation

Les opérateurs de soudeuse, les soudeurs et les assembleurs par points de soudure reçoivent leurs cartes de qualification après avoir réussi les épreuves décrites dans les normes qui s'appliquent; la norme CSA W47.1 pour les charpentes en acier et en acier inoxydable, la norme CSA W47.2 pour les charpentes en aluminium et la section IX de l'ASME pour la tuyauterie sous pression, les réservoirs sous pression et les systèmes de confinement sous pression.

- 1. Opérateur de soudeuse:** personne qui fait fonctionner de l'équipement de soudage automatique ou mécanisé.
  - a. Soudage automatique – équipement qui effectue le soudage sans nécessiter de réglage des commandes de la part de l'opérateur de soudeuse.
  - b. Soudage mécanisé – équipement qui effectue le soudage en observation et contrôle constant de la part l'opérateur de soudeuse.
- 2. Soudeur** – personne qui soude en manipulant un porte-électrode ou un pistolet de soudage.
- 3. Assembleur par points de soudure** – personne qui soude par points de manière à maintenir alignées les pièces à souder.

La carte indiquera si elle est transférable ou non et présentera le nom de la personne qualifiée, son employeur, la gamme d'épaisseurs comprise dans la qualification, la date d'expiration, le matériau, le procédé de soudage, le modedu procédé, la classification et la classe, le groupe du métal d'apport, la norme d'essai ainsi que d'autres renseignements propres à un procédé de soudage donné.

1. **Transférable** signifie que la qualification de la personne peut être transférée vers une autre entreprise certifiée par le groupe CWB, contrairement à la qualification non transférable.
2. **La gamme d'épaisseur** désigne la gamme des épaisseurs qui peuvent être soudées en vertu de la carte de qualification.
3. **Le matériau** désigne le type de matériau qui peut être soudé en vertu de la carte de qualification (acier, acier inoxydable ou aluminium).
  - a. **Acier** – aucune catégorie de division.
  - b. **Aluminium**
    - i. Groupe 1 – alliages 1050, 1060, 1100, 1350 et 3003.
    - ii. Groupe 2 – alliages 3004, 5005, 5052, 5154, 5254 et 5454.
    - iii. Groupe 3 – 5083, 5086 et 5456.
    - iv. Groupe 4 – 6005, 6061, 6063, 6101 et 6351.
    - v. Groupe 5 – 7004 et 7005.
4. **Procédé de soudage** qui peut être utilisé en vertu de la carte de qualification.
  - a. Le procédé SMAW désigne le soudage à l'arc avec électrode enrobée.
  - b. Le procédé SAW désigne le soudage à l'arc sous flux en poudre (fil et flux en poudre extérieur)
  - c. Le procédé FCAW désigne le soudage à l'arc avec fil fourré (fil tubulaire comportant une âme à flux interne à gaz externe ou autoblindé).
  - d. Le procédé MCAW désigne le soudage à l'arc à âme métallique (fil tubulaire comportant une âme interne « entièrement métallique » à blindage par gaz externe).
  - e. Le procédé GMAW désigne le soudage à l'arc sous gaz avec fil plein (fil revêtu de cuivre ou fil nu plein à blindage par gaz externe).
  - f. Le procédé GTAW désigne le soudage à l'électrode de tungstène (arc sous protection gazeuse produit entre le tungstène et le matériau avec ou sans métal d'apport à fil plein).
  - g. Le procédé PAW désigne le soudage au plasma (arc sous protection de gaz plasma avec ou sans métal d'apport à fil plein).
5. **Le mode** d'application du procédé offre des renseignements au sujet de la qualification. Le nombre d'électrodes (simple ou double) peut être assorti à n'importe quel mode ci-dessous :
  - a. Manuel
  - b. Semi-automatique
  - c. Automatique
  - d. Mécanisé
6. **La source d'alimentation** est indiquée pour le fil introduit et les procédés de soudage à l'électrode de tungstène comme étant conventionnelle ou à courant pulsé.
7. **La norme** désigne la norme utilisée pour les essais de qualification; la norme CSA W47.1 pour l'acier et l'acier inoxydable et la norme CSA W47.2 pour l'aluminium.
8. **La classe** désigne la position de soudage permise en vertu de la carte de qualification;
  - a. (F) est plate, (H) est horizontale, (V) est verticale vers le haut ou le bas et (O) est au plafond.

**9. La classification** en vertu de la carte de qualification s'effectue de la manière suivante;

**a. Acier**

- i. (T) désigne la pénétration complète d'un côté sans support (plaque, section creuse et tuyau)
- ii. (S) désigne la pénétration complète des deux côtés avec un gougeage à l'arrière ou une pénétration complète d'un côté avec un matériau de support.
- iii. (FW) désigne les soudures d'angle et les soudures par points.
- iv. (WT) désigne les soudures par points.
- v. (ASW) désigne les soudures à l'arc par points.

**10. Le groupe de métal d'apport** correspond à la classification de l'électrode pour le procédé SMAW pour l'acier, ainsi que les procédés GMAW et GTAW pour l'aluminium.

**a. Acier**

- i. F4 – EXX 15, 16 et 18
- ii. F3 – EXX 10 et 11
- iii. F2 – EXX 12, 13 et 14
- iv. F1 – EXX 22, 24, 27 et 28

**b. Aluminium**

- i. Groupe 1 - 5183, 5356, 5554, 5556 et 5654
- ii. Groupe 2 - 4043, 4047 et 4145
- iii. Groupe 3 – 1100

**Des exemples de cartes de qualification sont illustrés ci-dessous.**

 <p><b>Qualification des soudeurs</b> Valide uniquement lorsqu'employé dans une compagnie certifiée par le CWB</p> <p align="center"><b>Transférable Soudeur</b></p> <p>Nom: <b>CHARLES SOUDEUR</b> Date d'exp: <b>oct. 26, 2015</b> Employeur: <b>ABC Compagnie Inc.</b></p> <p>Gamme d'épaisseur: <b>3mm et plus</b> Matériau: <b>Acier au carbone</b> Procédé: <b>SMAW</b> Mode: <b>MANUEL</b> Norme: <b>CSA W47.1</b> Catégorie: <b>S</b> Électrode: <b>F4</b> Classe: <b>PLAT/HORIZONTALE/VERTICALE(M)/PLAFOND</b></p> <p align="center">Voir les conditions au verso</p>	<p><b>Conditions d'utilisation</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cette carte demeure la propriété du CWB et peut faire l'objet d'un rappel ou d'une annulation en tout temps. L'utilisation frauduleuse de cette carte pourrait entraîner la perte des qualifications de la personne concernée et/ou de la compagnie certifiée qui l'a embauchée.</li> <li>2. Cette carte doit être disponible en tout temps afin qu'un représentant du CWB ou tout autre représentant officiel désigné puisse l'examiner.</li> <li>3. Le CWB peut révoquer cette qualification si la personne concernée n'utilise pas le procédé pour lequel il est qualifié pendant une période de trois mois ou plus.</li> </ol> <p>Pour obtenir des questions sur cette qualification, veuillez communiquer avec nous en composant le numéro SANS FRAIS <b>1 800 844-6790</b> ou en nous faisant parvenir un courriel à l'adresse <b>www.cwbgroup.org</b>.</p> <div align="center">     </div>
<p>Images gracieusement offertes par le groupe CWB</p>	<p align="center">Utilisation soumise à autorisation.</p>
 <p><b>Qualification des soudeurs</b> Valide uniquement lorsqu'employé dans une compagnie certifiée par le CWB</p> <p align="center"><b>Transférable Soudeur</b></p> <p>Nom: <b>PATRICK SOUDEUR</b> Date d'exp: <b>nov. 11, 2015</b> Employeur: <b>ABC Compagnie Inc.</b></p> <p>Norme: <b>CSA W47.2-2011</b> Procédé: <b>GMAW</b> Mode: <b>Semi-automatique</b> Source de courant: <b>Conventionnel &amp; Pulsé</b> Groupe de métal: <b>1 &amp; 2</b> Catégorie: <b>S</b> Classe: <b>PLAT/HORIZONTALE/VERTICALE(M)</b> Gamme d'épaisseur: <b>1.5mm et plus</b></p> <p align="center">Voir les conditions au verso</p>	<p><b>Conditions d'utilisation</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cette carte demeure la propriété du CWB et peut faire l'objet d'un rappel ou d'une annulation en tout temps. L'utilisation frauduleuse de cette carte pourrait entraîner la perte des qualifications de la personne concernée et/ou de la compagnie certifiée qui l'a embauchée.</li> <li>2. Cette carte doit être disponible en tout temps afin qu'un représentant du CWB ou tout autre représentant officiel désigné puisse l'examiner.</li> <li>3. Le CWB peut révoquer cette qualification si la personne concernée n'utilise pas le procédé pour lequel il est qualifié pendant une période de trois mois ou plus.</li> </ol> <p>Pour obtenir des questions sur cette qualification, veuillez communiquer avec nous en composant le numéro SANS FRAIS <b>1 800 844-6790</b> ou en nous faisant parvenir un courriel à l'adresse <b>www.cwbgroup.org</b>.</p> <div align="center">     </div>
<p>Images gracieusement offertes par le groupe CWB</p>	<p align="center">Utilisation soumise à autorisation.</p>

Les inspecteurs visuels en soudage reçoivent des cartes de qualification après avoir satisfait aux exigences (études, formation, expérience et essais) de la norme CSA W178.2.








Il existe trois niveaux de qualification.

1. Niveau 1 – effectue les inspections visuelles et y contribue sous la supervision directe de personnes de niveaux 2 et 3.
2. Niveau 2 – effectue des inspections visuelles et en interprète les résultats.
3. Niveau 3 – élabore des procédures, effectue des inspections visuelles et en interprète les résultats.

Chaque inspecteur qualifié est tenu d'obtenir des approbations de code concernant le groupe d'industrie particulier pour lequel les inspections doivent être effectuées.

Pour les ouvrages structuraux généraux, les normes CSA W47.1/W59 sont privilégiées pour l'acier et les normes W47.2/W59.2 pour l'aluminium, les normes ASME pour la tuyauterie sous pression, les réservoirs sous pression et les systèmes de confinement sous pression et la SRA ou l'IACS pour la marine.

Un échantillon de carte de qualification est fourni ci-dessous.

 <b>Inspecteur en Soudage Certifié</b> <b>PIERRE DOSTIE</b> <b>No. Enr# 3414</b>  est un Inspecteur en soudage certifié de <b>Niveau3</b> et satisfait aux exigences de la norme CSA W178.2 « Qualification des inspecteurs en soudage ». <b>Valide jusqu'au février 16, 2015</b> Cette certification est valide pour le(s) code(s) et/ou la norme(s) suivant(es) : CSA W47.1/W59 <b>Valide jusqu'en août 2020</b> ASME VIII-1 IX <b>Valide jusqu'en novembre 2014</b> ASME B31.3 <b>Valide jusqu'en août 2020</b>	<b>Conditions</b> 1. La possession de cette carte ne signifie nullement que son détenteur représente un organisme d'inspection certifiée en vertu de la norme CSA W178.1 et ayant du personnel et des procédures approuvées par le Bureau canadien de soudage. 2. Cette carte demeure la propriété du Bureau et peut être rappelée en tout temps. 3. L'usage de la présente carte à des fins frauduleuses peut entraîner son annulation. Pour toute question concernant cette qualification, veuillez communiquer avec :  <b>1-800-841-6790   www.cwbgroup.org</b>     
Images gracieusement offertes par le groupe CWB	Utilisation soumise à autorisation.

## 2.11 SPÉCIFICATIONS DE LA PROCÉDURE DE SOUDAGE

L'entreprise certifiée par le groupe CWB prépare des spécifications de procédure de soudage pour chaque procédé de soudage et chaque type ou groupe de matériau. Les spécifications de procédure de soudage sont soutenues par un certain nombre de fiches de données de procédure de soudage (se reporter à la rubrique 2.15 du présent document). Pour les entreprises de division 1 et 2, les spécifications de procédure de soudage et les fiches de données de procédure de soudage doivent être acceptées par l'ingénieur de l'entreprise et par le groupe CWB grâce à des signatures ou à des timbres placés dans les cases appropriées. Pour une entreprise de division 3, le superviseur de soudage qualifié émet l'acceptation de l'entreprise à la place d'un ingénieur.



**Figure 22 - Spécification de procédure de soudage**

NOM DE L'ENTREPRISE \_\_\_\_\_

ADRESSE DE L'ENTREPRISE \_\_\_\_\_

**INSTRUCTIONS DE SOUDAGE : POUR SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODE ENROBÉE**

SPÉCIFICATION NO : \_\_\_\_\_

**Portée**

La présente instruction de soudage porte sur les opérations de soudage et connexes des structures en acier fabriquées conformément aux dispositions des normes CSA W47 1 et W59, versions les plus récentes. Les Fiches de données de méthodes de soudage ci-jointes font partie intégrante du présent devis.

Toutes les modifications aux variables essentielles qui figurent dans les paragraphes subséquents ou qui sont expliquées dans les Fiches de données de méthodes de soudage nécessitent un nouveau mode et/ou une nouvelle Fiche de données.

**Procédures de soudage**

Le soudage est exécuté à la main à l'aide du procédé de soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW). Les joints doivent être exécutés conformément aux méthodes stipulées dans la norme CSA W59, et peuvent comprendre des passes uniques ou multiples conformément aux Fiches de données de méthodes de soudage acceptées auxquelles se rapporte la présente spécification.

**Métal de base**

Le métal de base doit se conformer aux spécifications des groupes d'acier 1, 2, 3 conformément au tableau 11.1 ou 12.1 de la norme CSA W59. On peut souder d'autres groupes à condition que les Fiches de données de méthodes de soudage soient acceptées par le Bureau canadien de soudage.

**Épaisseur du métal de base**

On peut souder le métal de base dont l'épaisseur varie de 3mm (1/8po) jusqu'à une ÉPAISSEUR ILLIMITÉE conformément à la présente spécification à condition que les Fiches de données de méthodes de soudage soient acceptées pour les dimensions appropriées des soudures.

Acceptation par le BCS	Acceptation par l'ingénieur ou le superviseur

Exemples gracieusement offerts par le groupe CWB.

Utilisation soumise à autorisation.

**Métal d'apport**

Le Bureau canadien de soudage doit certifier que le métal d'apport est conforme à la norme CSA W59.

**Entreposage et conditionnement des électrodes**

**Électrodes basiques**

L'Entreposage et le conditionnement des électrodes basiques doivent être conformes à la norme CSA W59.

Toutes les électrodes basiques doivent être livrées dans des contenants hermétiques qui ne montrent aucun signe de dommage. Toutefois, si les contenants sont endommagés, les électrodes doivent être reconditionnées conformément aux exigences de la norme CSA W59.

Dès qu'on les retire des contenants hermétiques ou des fours de reconditionnement, les électrodes doivent être déposées dans des fours à température constante d'au moins 120°C (250°F).

Les électrodes basiques de classification E49XX qui ne sont pas utilisées dans les 4 heures après qu'elles sont retirées des fours doivent être reconditionnées conformément aux exigences de la norme CSA W59.

Les électrodes basiques doivent être séchées à nouveau une seule fois.

Les électrodes mouillées doivent être éliminées.

**Électrodes autres que les électrodes basiques**

Toutes les électrodes autres que les électrodes basiques doivent être entreposées dans un endroit chaud et sec et être tenues à l'écart de l'huile, de la graisse et d'autres produits nuisibles une fois qu'elles ont été retirées de leurs contenants et de leurs emballages.

Les électrodes mouillées doivent être éliminées.

### **Position**

Le soudage doit de préférence être exécuté à plat, mais d'autres positions comme le soudage à l'horizontale, à la verticale et au plafond sont admissibles à condition que les Fiches de données soient fournies et acceptées.

### **Préchauffage**

Le préchauffage minimum avant soudage doit se conformer au tableau 5.3 de la norme CSA W59. Il faut maintenir ou dépasser la température de préchauffage minimum pendant le soudage.

Si le soudage est interrompu quelque temps et que la température du métal de base diminue sous la température minimale de préchauffage, il faudra à nouveau préchauffer avant de reprendre le soudage.

Il faut laisser refroidir l'assemblage soudé jusqu'à la température ambiante sans produit de refroidissement externe. Autrement dit, il ne faut pas refroidir la soudure avec de l'eau ni la placer dans un environnement froid qui ferait changer rapidement la température.

**Exemples gracieusement offerts par le groupe CWB. Utilisation soumise à autorisation.**

### **Traitement thermique et recuit de détente**

Ne s'applique pas aux structures soudées conformément à la présente spécification, à moins qu'une Fiche de données indiquant tous les paramètres soit transmise au Bureau canadien de soudage et qu'elle soit acceptée.

### **Caractéristiques électriques**

Il faut utiliser un équipement de soudage qui présente une caractéristique statique plongeante. Le soudage doit être exécuté à l'aide de courant direct (polarité directe ou inverse) ou à l'aide de courant alternatif. La plage de courant doit être conforme aux instructions du fabricant des électrodes et doit figurer sur la Fiche de données de méthodes de soudage.

### **Technique de soudage**

L'intensité et la tension correcte, la vitesse de passe, l'épaisseur des passes, le nombre de passes, la position, le matériau des électrodes et toutes les instructions spéciales doivent être conformes à la Fiche de données.

Les coups d'arc à l'extérieur de la zone des soudures doivent être évités sur tous les matériaux.

### **Préparation du métal de base**

Les bordures ou les surfaces des pièces à souder doivent être préparées à l'aide d'un chalumeau d'oxycoupage. Lorsqu'il faut découper à la main, la bordure doit être meulée jusqu'à obtenir une surface lisse. Toutes les surfaces et bordures doivent être exemptes de bavures, de déchirures ou de fissures ou de tout autre défaut qui pourrait nuire à la qualité de la soudure.

Toute la calamine libre ou épaisse, la rouille, l'humidité, la graisse ou autre corps étranger qui pourraient empêcher une bonne soudure ou produire des émanations désagréables doivent être éliminés.

### **Qualité**

Les fissures ou les cavités qui apparaissent à la surface d'une passe doivent être éliminées avant de déposer la prochaine passe. La procédure et la technique doivent être telles qu'il est possible de minimiser les caniveaux dans le métal de base ou le métal d'apport adjacent. Les soudures d'angle et les soudures bout à bout doivent correspondre aux profils acceptables illustrés à la figure 5.4 de la norme CSA W59. Le renforcement des soudures sur chanfrein ne doit pas dépasser 3 mm (1/8 po) et doit présenter une transition graduelle vers le plan de la surface du métal de base en général. La qualité de la soudure doit respecter les exigences des clauses 11.5.4/12.5.4 de la norme CSA W59.

### **Nettoyage du métal d'apport**

Le laitier ou le flux décapant qui restent après une passe doivent être éliminés avant de déposer la prochaine passe. Avant la peinture, tout le laitier doit être éliminé et le métal doit être exempt de calamine libre, d'huile ou de saleté.

### **Traitement du dessous du chanfrein de soudure**

Avant de déposer le métal d'apport en dessous du chanfrein de soudure, la racine doit être gougée ou burinée jusqu'au métal sain, à moins d'indication contraire sur la Fiches de données applicables.

**Exemples gracieusement offerts par le groupe CWB.**

**Utilisation soumise à autorisation.**

L'entreprise certifiée par le groupe CWB prépare les fiches de données de procédure de soudage afin de soutenir une spécification de procédure de soudage particulière. Pour les entreprises de division 1 et 2, les fiches de données de procédure de soudage doivent être acceptées par l'ingénieur de l'entreprise et par le groupe CWB grâce à des signatures ou à des timbres placés dans les cases appropriés situées au bas de chaque page. Pour une entreprise de division 3, le superviseur de soudage qualifié émet l'acceptation de l'entreprise à la place d'un ingénieur.

**Figure 23 - Fiche de données de procédure de soudage**

Formulaire C/WB 16DF/2007-

FEUILLE DE DONNÉES DE  
MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE

FDMOS #: GMAW-2F

DATE: 04/12/09

Rev.:

Nom de la compagnie: Bureau canadien de soudage  
Adresse: 560 Michelin, Laval, QC H7L 5C1

Normes de référence: CSA W47.1 / W59

Spec no: GMAW-1

Produit de soudage:	1	GMAW	Pulse	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non
Gaz de protection:		90%Ar/ 10% CO <sub>2</sub>	Débit:	
Positions:		Horizontal		
Méthode d'application:	<input type="checkbox"/> Manuel	<input checked="" type="checkbox"/> Semi-Auto	<input type="checkbox"/> Machine	<input type="checkbox"/> Auto
Type d'assemblage:	<input type="checkbox"/> Bout à bout	<input checked="" type="checkbox"/> T	<input type="checkbox"/> Coin à coin	<input type="checkbox"/> Recouvrement
Type de soudure:	<input type="checkbox"/> Complet	<input type="checkbox"/> Partiel	E=	<input checked="" type="checkbox"/> Angle
Support envers:	Matériau		Épaisseur:	
Gougeage à l'envers:	<input type="checkbox"/> Oui	Méthode:		
	<input checked="" type="checkbox"/> Non	Profondeur:	Largeur:	
Longueur libre de fil:	20 mm			
Diamètre(s) de buse:	10 mm			
Classification du flux:	N/A			
Electrode de tungstène:	Type:	N/A	Dia:	
Procédures de nettoyage:	Brosse d'acier, nettoyage entre chaque passe.			

2	Pulse	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Débit:	

(illustrer la géométrie de préparation, les passes de soudure et la séquence des passes)

CSA W186 Type de jonction soudée des barres d'armature:  
☐ Aboutement direct    ☐ Aboutement indirect  
☐ Barre soudée à un élément de charpente    ☐ Par recouvrement

Identification du métal de base (pour CSA W186 indiquer le carbone équivalent et teneur maximum en soufre et phosphore)

Plaque	Normes de référence et grade ou classe	Épaisseur ou Diamètre	Exigences spécifiques
I	ASTM A36, A516 Gr. 70 G40 21Gr. 300W, 350	6-10 mm	N/A
II	ASTM A36, A516 Gr. 70 G40 21Gr. 300W, 350 W	6-10 mm	N/A

Identification du métal d'apport

Procédé	Classification	Numéro(s) de(s) passe(s)	Type de courant et polarité
GMAW	B-G 49A.3 C G6 (ER49S-B)	N/A	Article 5.2.4.5, CSA W59

Paramètres de soudage

Épaisseur des pièces ( )	Prof. de la préparation ( )	Dimension de la soudure ( )	No. de la couche	No. de passe	Diamètre du métal apport ( )	Vitesse de soudage ( )	Courant AMP.	Tension VOLT.	Vitesse d'arc ( )	Cordon tiré / poussé	Taux de fusion ( )	Apport thermique ( )
			1	1			260	28				
			1	1			260	28				
			1	1			260	28				
			2	2-3			260	28				

Traitement thermique

Préchauffage min:	10° C	Temp. entrapasse max:	250° C
		Temp. entrapasse min:	10° C

Remarques:

Conformément au tableau 5-3 de la norme CSA W59

Acceptation du CWB

Représentant de la Cie

Date: 04/12/09

Exemples gracieusement offerts par le groupe CWB. Utilisation soumise à autorisation

Avant de commencer les travaux de soudage, l'entrepreneur doit présenter ses spécifications de procédure de soudage comportant des timbres du groupe CWB, ainsi que les fiches de données de procédure de soudage liées aux travaux qu'il est sur le point d'effectuer en vertu du contrat.

## 2.13 JOINTS PRÉ-QUALIFIÉS

Certaines configurations de joint qui respectent les dispositions de la norme CSA W59 sont considérées comme pré-qualifiées. L'utilisation de ces joints peut être approuvée par le groupe CWB sans devoir recourir à des essais de qualification de procédure. Conformément à ce qui est requis par la clause 3.1.3.1 de la norme CSA W59, les procédures de soudage doivent respecter les clauses 4, 5 et 10 de la norme CSA W59 pour que le joint soit considéré comme pré-qualifié. Des joints pré-qualifiés existent pour les procédés de soudage à l'arc avec électrode enrobée, de soudage à l'arc sous flux en poudre, de soudage à l'arc sous gaz, de soudage à l'électrode de tungstène, de soudage à l'arc avec fil fourré et de soudage à l'arc avec fil fourré métallique.

Les joints pré-qualifiés peuvent être approuvés pour plus d'un procédé si les conditions de pré-qualification de chaque procédé de soudage sont respectées.

Les soudures d'angle qui respectent les clauses suivantes peuvent être désignées comme étant pré-qualifiées :

- Clause 5.5.3 – soudage à l'arc sous flux en poudre (procédé SAW)
- Clause 10.2.3 – Procédure pour le procédé SMAW
- Clause 10.4.3 – Procédure pour les procédés MCAW et FCAW à simple électrode
- Clause 10.5.3 – Procédure pour le procédé GMAW à simple électrode
- Clause 10.6.3 – Procédure pour le procédé GTAW à simple électrode

Les soudures sur chanfrein à pénétration complète qui respectent les clauses, tableaux et figures suivants peuvent être désignées comme étant pré-qualifiées :

- Procédé SAW – clause 10.3.1, figure 10.3 et 10.4 ainsi que les clauses 5.1.4, 5.5.1.6, 5.5.2, 5.5.3, 5.7 et 5.13.
- Procédé SMAW – clause 10.2.1, tableau 10.1, figure 10.1, figure 10.2 et clauses 5.1.4, 5.2.1.2, 5.5.1.6, 5.5.2, 5.7 et 5.13.
- Procédé FCAW – clauses 10.4.1 et 10.4.3, tableau 10.2, figures 10.5 et 10.6 ainsi que les clauses 5.1.4, 5.2.3, 5.5.1.6, 5.5.4, 5.7 et 5.13.
- Procédé MCAW – clauses 10.4.1 et 10.4.3, tableau 10.2, figures 10.9 et 10.10 ainsi que les clauses 5.1.4, 5.2.3, 5.5.1.6, 5.5.4, 5.7 et 5.13.
- Procédé GMAW – clauses 10.5.1 et 10.5.3, figures 10.7, 10.8, 10.11 et 10.12 ainsi que les clauses 5.1.4, 5.2.3, 5.5.1.6, 5.5.4, 5.7 et 5.13.
- Procédé GTAW – clauses 10.6.1 et 10.6.3, figure 10.13 ainsi que les clauses 5.1.4, 5.2.3, 5.5.1.6, 5.5.4, 5.7 et 5.13.

Les détails du joint peuvent être différents que ce qui est prescrit dans la clause 10 de la norme CSA W59. Cependant, la procédure de soudage proposée dans ce cas peut nécessiter des essais de qualification qui doivent être effectués conformément aux exigences de la clause 11 de la norme CSA W47.1.

Il n'existe pas de joint pré-qualifié dans la norme CSA W59.2 pour l'aluminium.

Les fiches de données de procédure de soudage des joints préqualifiés doivent comporter le timbre d'acceptation du groupe CWB, et les joints doivent être soudés d'une manière qui respecte la clause 5 des articles portant sur l'exécution des travaux énumérés ci-dessus.

## 2.14 SÉQUENCE DE SOUDAGE

Pour éviter l'accumulation de contraintes résiduelles élevées dans la structure en raison du soudage et afin d'éviter les fissures dans les assemblages soudés et les zones touchées par la chaleur dans les sections épaisses ou la déformation des plaques dans les sections fines, une séquence de soudage doit être établie afin de contrôler systématiquement la progression du soudage. Il existe trois applications de soudage dans la construction ou la réparation navales qui doivent être prises en compte afin de déterminer si la séquence de soudage proposée sera efficace :

1. La méthode de la construction en blocs.
2. La méthode de construction à ossature et plaques.
3. Pièces rapportées dans les plaques ou les sections structurelles assemblées.

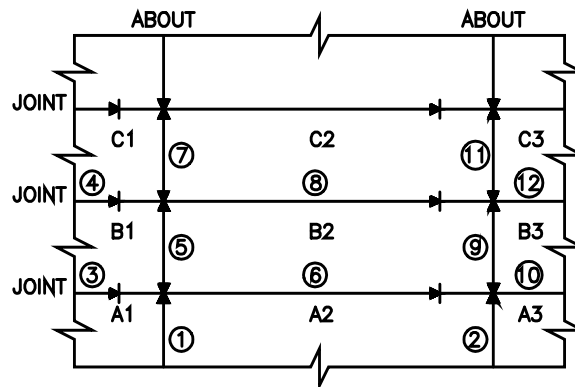
Pour les méthodes de construction d'unité, une séquence permettant de souder des assemblages individuels doit être établie, ainsi qu'une séquence de soudage de montage pour assembler les unités en les soudant à la cale de construction. Cependant, pour la méthode de construction à ossature et plaques, une séquence de soudage doit être établie pour chacun des éléments suivants :

- ✓ Des panneaux comme les ponts, les cloisons, les plaques et les raidisseurs des côtés et du dessus de la timonerie.
- ✓ Les abouts et les joints du bordé extérieur.
- ✓ Les membrures et les cloisons au bordé extérieur.
- ✓ Le bordé du plafond de ballast aux plaques du réservoir à double fond.
- ✓ La pièce rapportée et les plaques de renfort qui font partie de la poutre-coque principale.
- ✓ Les portiques de levage en « A », les tubes d'étambot et les composants essentiels similaires.

Dans l'établissement d'une séquence de soudage acceptable, les règles suivantes s'appliquent aux conditions les mieux adaptées :

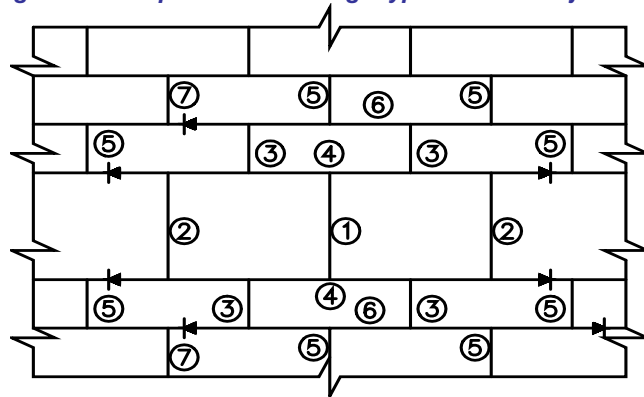
1. Les membres à souder doivent demeurer libres pendant le soudage.
2. Les soudures doivent être déposées en fonction d'une séquence qui permet d'équilibrer la chaleur appliquée tout au long de l'opération de soudage.
3. La progression de la soudure doit se faire des points fixes vers les points qui présentent une relative liberté de mouvement.
4. Les joints ou les soudures qui sont surdimensionnés ou qui doivent causer une retassure doivent être soudés en premier lieu.
5. Les gabarits, les appareils, les dispositifs de serrage et les renforts arrière doivent être conçus et fixés de façon à éviter une contrainte élevée.
6. Pour les panneaux formés de plusieurs plaques, les abouts doivent être soudés avant les joints. La progression de la soudure doit se faire du centre vers les bords extérieurs. Les angles de renfort soudés aux plaques doivent demeurer non soudés sur une distance d'au moins 230mm des bords des plaques.
7. Il importe de souder les membrures, les renforts ou les supports intercostaux les uns aux autres avant de les souder aux plaques.
8. Au moment de joindre les sous-ensembles les uns aux autres, les plaques de raccordement de joints doivent être soudées avant de souder les joints bout à bout des membrures.
9. Le soudage des abouts et des joints du bordé doit être effectué avant les soudures d'angle des membrures et des cloisons sur le bordé extérieur. S'il doit comporter des soudures d'angle, le membre traversant doit demeurer non soudé sur une distance d'au moins 230 mm.
10. Dans la mesure du possible, il faut commencer le soudage au centre du navire et progresser vers l'extérieur, vers l'avant et vers l'arrière, en soudant les abouts, puis les joints. Les joints doivent demeurer non soudés sur une distance d'au moins 230mm de chaque côté des abouts non soudés.

Voici la séquence de soudage correspondant aux conditions que l'on observe le plus fréquemment:



Les soudures 1,2,3, et 4 sont effectuées au préalable

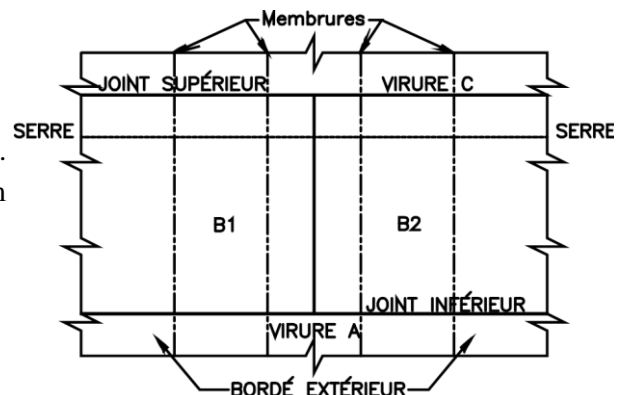
*Figure 24 - Séquence de soudage type – abouts et joints alignés*



*Figure 25 - Séquence de soudage type – abouts et joints décalés*

**Souder selon la séquence suivante :**

1. Souder les membrures et les poutres à moins de 230mm de tous les abouts et les joints non soudés.
2. Souder la totalité de l'about.
3. Souder la partie non soudée de la poutre vers l'about.
4. Souder le joint inférieur vers le point situé à 230 mm du prochain about.
5. Souder la partie non soudée des membrures vers le joint inférieur.
6. Souder le joint supérieur vers le point situé à 230 mm du prochain about.
7. Souder la partie non soudée des membrures vers le joint supérieur.
8. Terminer les joints.



*Figure 26 Séquence de soudage type pour les abouts et les joints – membrures fixées*



### Souder selon la séquence suivante

1. Membrures dégagées à moins de 230 mm de tous les abouts et joints non soudés.
2. About vertical no 2 terminé.
3. About vertical no 3 terminé.
4. Membrures non soudées vers les abouts verticaux.
5. Joint horizontal no 5, y compris les longueurs dégagées.
6. Joint horizontal no 6, y compris les longueurs dégagées.
7. Membrures non soudées vers les joints horizontaux.

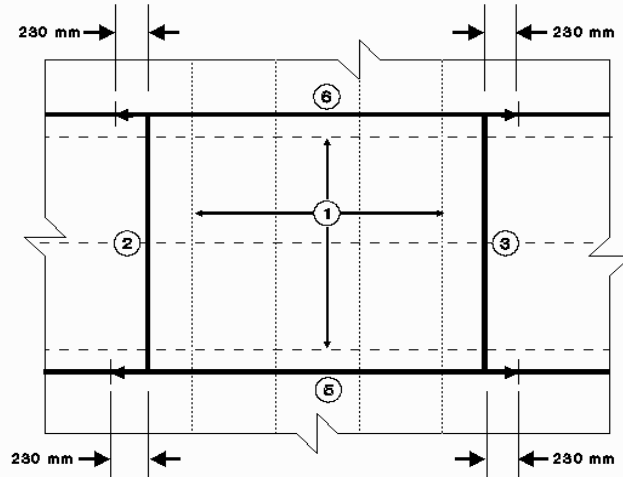
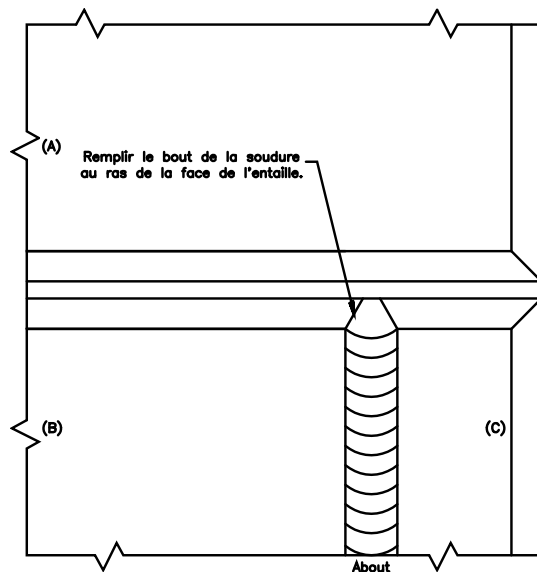
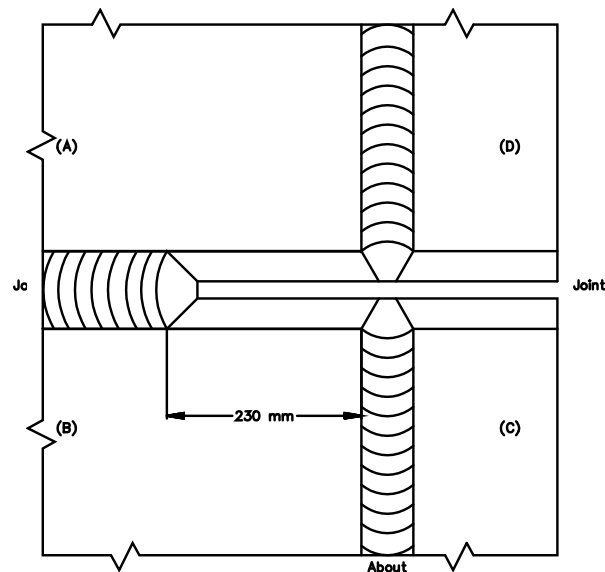


Figure 27 - Séquence de soudage type pour la réparation du bordé extérieur

**Remarque:** La longueur dégagée de 230 mm est fournie dans les joints horizontaux à chaque coin de la tôle encastrée.



1. About entre (B) et (C)
2. Joint de soudage entre (A) et (B)



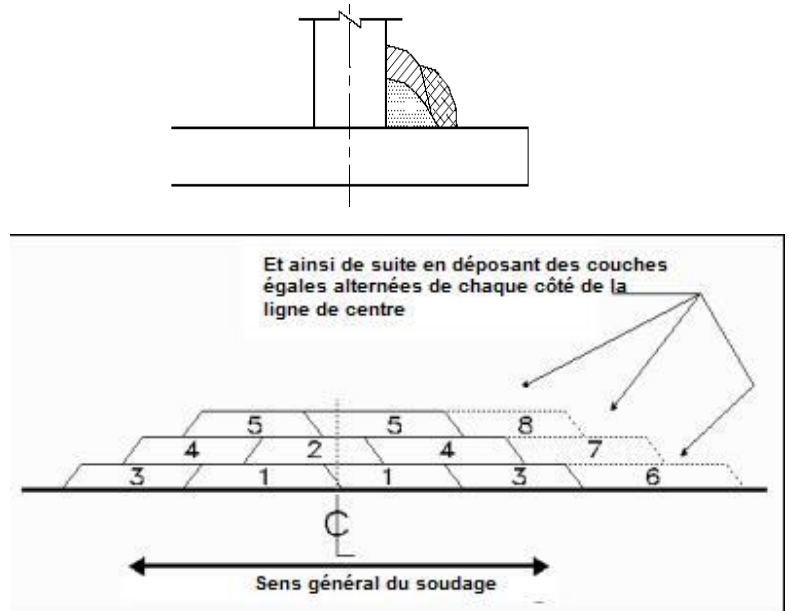
1. Souder le joint entre (A) et (B) à 230 mm du joint bout à bout
2. Souder l'about entre (B) et (C)
3. Souder l'about entre (A) et (D)
4. Terminer le soudage du joint entre (AD) et (BC)

Au moment d'assembler des plaques épaisses (ép. > 19 mm) par soudage, des fissures apparaissent souvent. Il est possible d'éviter les fissures si la séquence correcte de passes et de couches de soudure est systématiquement mise en œuvre.

Tableau 13 - Séquence de soudage type à l'intersection de l'about et du joint

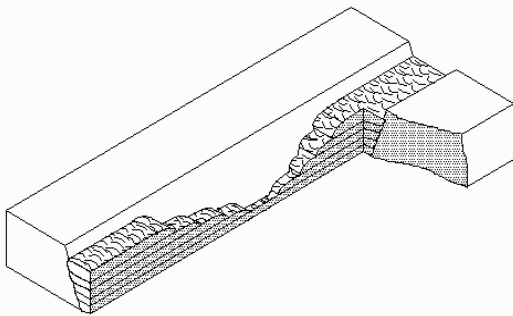
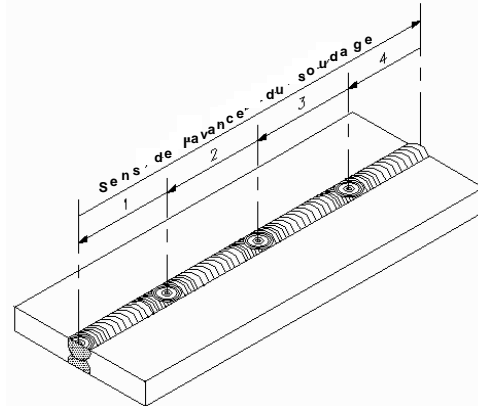
**Technique discontinue pour les soudures d'angle**

Dans le cas des soudures d'angle pour l'assemblage des plaques épaisses, la technique discontinue est efficace, comme il est illustré ci-dessous

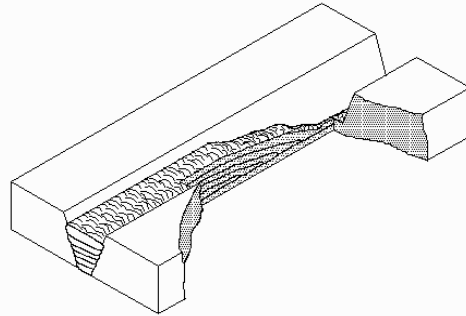


**Technique à pas de pèlerin**

Pour les soudures sur chanfrein dans les joints bout à bout des plaques épaisses, la technique à rebours, la technique en blocs ou la technique en cascade sont efficaces, comme il est illustré ci-dessous.



**Technique** par blocs pour soudage sur préparation



**Technique** en cascade pour soudage sur préparation

Il est cependant essentiel, quelle que soit la séquence de passe ou de couche de soudure adoptée, que ni la profondeur ni la largeur de la section du métal de soudure déposé sur chaque passe de soudure ne dépassent la largeur à la surface de la passe de soudure, comme il est illustré ci-dessous.

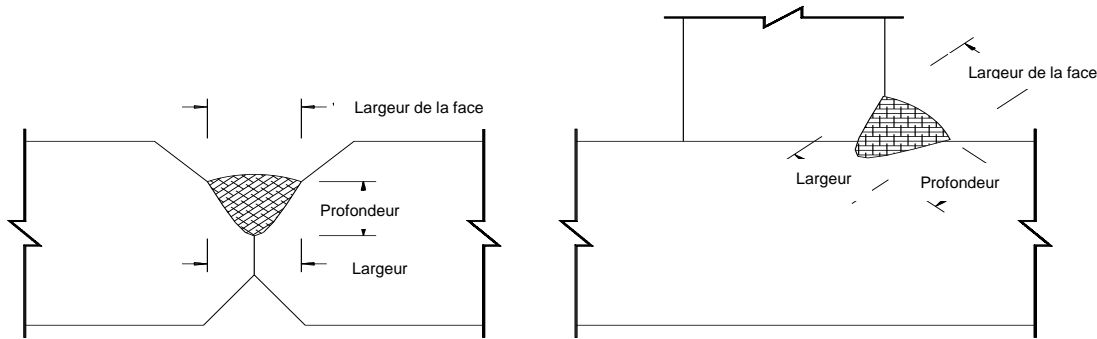


Figure 28 - Ratio largeur et profondeur

Dans des conditions de contrainte élevée, les propriétés de ductilité du métal de soudage doivent être maximales. La résistance mécanique à la traction du métal de soudage ne doit pas surclasser celle de la plaque de base. Des températures de préchauffage plus élevées ou une rétention d'hydrogène du métal déposé plus basse peuvent être nécessaires pour éviter l'apparition de craquelage à froid assisté ou provoqué par l'hydrogène.

## 2.15 PRÉCHAUFFAGE ET POST CHAUFFAGE

Un préchauffage est généralement appliqué pour l'une ou plusieurs des raisons suivantes :

1. Pour contrôler les contraintes dues au retrait lors du soudage de joints soumis à des contraintes élevées.
2. Pour réduire le taux de refroidissement grâce à la fourchette de températures critiques du matériau afin d'éviter la formation d'une microstructure durcie. Une microstructure trop durcie réduit la ductilité de la zone thermiquement affectée et accroît la susceptibilité du craquelage à froid provoqué par l'hydrogène.
3. Pour réduire le taux de refroidissement, accroître la durée au-dessus de 100 °C. Accroître la durée au-dessus de 100 °C permet la diffusion d'une plus grande quantité d'hydrogène à partir de la zone thermiquement affectée, réduisant ainsi le risque de craquelage à froid provoqué par l'hydrogène.
4. Pour éliminer l'humidité provenant d'une humidité élevée, de la condensation, de la pluie, de la neige ou de la rosée.

L'application principale du préchauffage vise à réduire la probabilité de craquelage à froid provoqué par l'hydrogène. Les éléments suivants doivent être pris en considération :

- Les facteurs qui influent sur le craquelage à froid provoqué par l'hydrogène se regroupent généralement en deux catégories principales :
  - Des facteurs internationaux qui peuvent être clairement définis comme la composition chimique et l'épaisseur.
  - Des facteurs locaux qui ne peuvent pas être définis facilement comme les détails de la géométrie de la racine de la soudure ou la séparation locale de certains éléments chimiques.
- Les méthodes actuelles permettant de réduire les risques de craquelage à froid provoqué par l'hydrogène ont été élaborées avec soin et, dans la plupart des cas, sont plutôt efficaces sans être excessivement conservatrices.
- Il existe cependant des cas où les facteurs locaux sont prédominants, ce qui fait qu'il est extrêmement difficile de prévoir avec précision les exigences en matière de préchauffage. Ces cas sont plus faciles à définir d'après l'expérience et doivent toujours être abordés avec prudence, en appliquant des exigences conservatrices en matière de préchauffage.
- Le craquelage à froid provoqué par l'hydrogène est très grave et peut se produire à tout moment entre une heure et six mois après la fin du soudage, de sorte que l'approbation et le rajustement des valeurs de préchauffage doivent toujours être abordés avec prudence.

Un entrepreneur peut demander l'un des éléments suivants :

1. Une augmentation ou une application de préchauffage (demandée après l'apparition du craquelage)
2. Une réduction du préchauffage (un chantier naval pourrait réaliser des économies importantes en réduisant simplement les températures de préchauffage).

Lorsque ces demandes sont formulées, se reporter à l'annexe P de la norme CSA W59 qui décrit les deux méthodes de base les plus largement acceptées dans l'industrie du soudage :

- ✓ Le contrôle de la dureté de la zone thermiquement affectée et;
- ✓ Le contrôle de l'hydrogène.

Ces méthodes et leur application sont décrites dans le présent document. Pour obtenir des renseignements plus détaillés et des commentaires au sujet de la détermination du préchauffage, reportez-vous à l'annexe P de la norme CSA W59"

#### 2.15.1 Méthode de contrôle de la dureté de la zone thermiquement affectée

La méthode de contrôle de la dureté de la zone thermiquement affectée est limitée aux soudures d'angle et est basée sur l'hypothèse selon laquelle le craquelage n'apparaîtra pas si la dureté de la zone thermiquement affectée est maintenue en dessous d'une valeur critique.

Cette méthode est appliquée de la manière suivante :

- ✓ Une valeur critique de dureté prenant en compte le type d'acier, la teneur en hydrogène, la contrainte et les conditions de service est sélectionnée. La valeur normale est généralement de 350 de dureté Vickers, et de 400 de dureté Vickers si la teneur en hydrogène diffusible est maintenue faible.
- ✓ Le taux de refroidissement critique qui devrait permettre d'obtenir des duretés inférieures à celles mentionnées plus haut dépend principalement de l'équivalent en carbone. La figure P2 de l'annexe P de la norme CSA W59 peut être utilisée pour déterminer le taux critique de refroidissement sur cette base.

La principale application de cette méthode consiste à pouvoir déterminer l'entrée minimale de chaleur (les dimensions minimales de soudure) qui peut être utilisée sans causer de durcissement excessif.

#### 2.15.2 Méthode de contrôle de l'hydrogène

La méthode de contrôle de l'hydrogène permet d'estimer le préchauffage nécessaire pour permettre la diffusion d'une quantité suffisante d'hydrogène en dehors du joint afin d'empêcher le craquelage à froid provoqué par l'hydrogène.

Cette méthode est appliquée de la manière suivante :

- ✓ Une formule modifiée d'équivalent en carbone est utilisée pour calculer une valeur appelée le paramètre de composition.
- ✓ Les produits consommables utilisés sont classés selon leur teneur en hydrogène, comme il est indiqué dans l'annexe P de la norme CSA W59.
- ✓ Le groupe d'indice de susceptibilité est déterminé à partir de l'annexe P de la norme CSA W59. Ce groupe prend en compte la teneur en hydrogène et le paramètre de composition.

La contrainte du joint est classée en fonction des critères suivants :

- **Contrainte faible :** joints soudés d'angle et sur chanfrein présentant une liberté de mouvement raisonnable.
- **Contrainte moyenne :** joints soudés d'angle et sur chanfrein pour lesquels la liberté de mouvement est réduite.
- **Contrainte élevée :** soudures de contrainte élevée dans les situations de réparation et l'assemblage de matériaux épais.

En tenant compte du groupe d'indice de susceptibilité, de l'épaisseur du matériau et du niveau de contrainte, les températures minimales de préchauffage et les températures minimales entre les passes peuvent être déterminées à partir de l'annexe P de la norme CSA W59.

Le préchauffage sera généralement appliqué par l'intermédiaire d'un chauffage à la flamme ou par résistance électrique. Le préchauffage se mesure le plus souvent au moyen de crayons thermosensibles ou de granulés qui fondent une fois que la température requise a été atteinte, ou à l'aide d'un pyromètre. Quelle que soit la méthode de préchauffage ou la méthode de mesure du préchauffage, les surfaces de la pièce à assembler doivent se trouver à une température égale ou supérieure à la température minimale requise, sur une distance égale à trois pouces ou correspondant à l'épaisseur du matériau, selon la mesure la plus élevée, latéralement et en avant de la soudure.

Le postchauffage est employé sur certains assemblages soudés, le plus souvent lorsque des moulages ont été incorporés dans un assemblage soudé qui se trouvera dans des parties soumises à de fortes contraintes de la structure comme les gouvernails et les étambots. Le postchauffage est utilisé le plus souvent pour les raisons suivantes :

- a) Réduire les contraintes résiduelles au niveau souhaité.
- b) Faire revenir l'assemblage soudé aux dimensions nécessaires pour l'ajustement ou l'usinage.

Il convient de faire preuve de prudence au moment d'approuver l'application du postchauffage sur beaucoup d'aciers trempés et revenus faiblement alliés ou sur d'autres matériaux qui acquièrent leurs propriétés grâce au recours à des traitements thermiques ou thermomécaniques, étant donné que les opérations de postchauffage pourraient nuire à ces propriétés. Pour l'acier ordinaire au carbone, le traitement habituel est d'une heure pour chaque pouce d'épaisseur maximale à une température de  $620 \pm 28$  °C.

## 2.16 PRATIQUES CONFORMES AUX NORMES DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ EN MATIÈRE DE SOUDAGE

Les opérations de soudage présentent certains risques potentiels qui peuvent entraîner des dommages corporels, des effets sur la santé à court ou long terme, de l'inconfort et, dans des circonstances graves, la mort. Les risques pour la santé couramment associés aux opérations de soudage sont intensifiés dans l'environnement de réparation ou de construction des navires en raison des restrictions d'espace et de la présence de matières inflammables et explosives. Les personnes doivent en tout temps prendre des mesures visant à se protéger des risques qui suivent.

### 2.16.1 Rayonnement

L'énergie de rayonnement peut provenir de l'arc de soudage ou être réfléchi à partir d'autres surfaces et est composée d'un rayonnement ultraviolet, de lumière visible et d'un rayonnement infrarouge. Le rayonnement infrarouge peut entraîner de l'inconfort chez l'opérateur, et lorsqu'il est puissant, entraîner des brûlures cutanées. Le rayonnement ultraviolet entraîne des brûlures cutanées et une irritation des yeux. Assurez-vous de bien couvrir la totalité de la peau exposée et d'utiliser un couvre-chef comme il est illustré dans les figures 4 et 5 de la norme CSA W117.2, afin de protéger le visage et les yeux lors de la surveillance du soudage en cours. Les lentilles filtres doivent être choisies après avoir consulté le tableau de sélection de teinte de la lentille. (Se reporter au tableau 7 de la norme CSA W117.2.)

Une condition souvent appelée « brûlure par arc électrique » ou « brûlure par flash électrique » provient d'une exposition importante des yeux au rayonnement ultraviolet de l'arc de soudage. Au moment de l'exposition, les effets peuvent ne pas être perceptibles. Cependant, plusieurs heures plus tard, la personne a la sensation d'avoir du sable ou de la poussière dans les yeux. Il faut avoir recours à des soins médicaux en cas de grave inconfort.

### 2.16.2 Brûlures

Soyez très attentifs aux matériaux brûlants. Le soudage, la coupe et les procédés d'alliage produisent du métal en fusion, des étincelles, du laitier et des surfaces de travail brûlantes. La meilleure protection contre les brûlures graves provenant des étincelles et du métal en fusion consiste à d'habiller avec soin avant de pénétrer sur le chantier. Toujours s'assurer que :

- ✓ Les vêtements sont faits de coton ou, au moins, de denim. Les vêtements synthétiques comme le nylon doivent être évités. Ces matières fusionnent avec la peau après avoir fondu et offrent peu de protection en cas d'incendie. Seuls les vêtements synthétiques approuvés pour une utilisation à haute température, comme le Nomex, doivent être portés.
- ✓ Les bottes de travail en cuir sont lacées jusqu'en haut.
- ✓ Retirer les poches ou les fermer et dérouler les deux manches.
- ✓ Il faut porter des bouchons d'oreille et des calottes résistants au feu lorsque des étincelles ou du laitier risque de tomber sur la tête.

### 2.16.3 Vapeurs et gaz

Les opérations de soudage peuvent produire des vapeurs semblables à de la fumée et des sous-produits gazeux. La quantité et la composition de ces vapeurs et de ces gaz dépendent de la composition du métal d'apport et du matériau de base, du procédé de soudage, du niveau de courant, de la longueur de l'arc, ainsi que d'autres facteurs. Les revêtements comme la peinture, la résine époxyde, le vinyle, le zinc, etc. produisent des gaz dangereux lorsqu'ils sont soumis à de hautes températures. Les procédés de soudage à l'arc sous gaz sont dangereux dans les espaces confinés en raison du déplacement de l'oxygène. Placez-vous toujours de façon à maintenir votre visage à l'écart du panache de vapeurs et de gaz produit par le procédé utilisé lorsque vous assistez au soudage. Dans les espaces confinés ou dans les compartiments dans lesquels aucune ventilation adéquate n'est disponible, il faut utiliser un équipement d'extraction des vapeurs ou porter un appareil respiratoire.

### 2.16.4 Décharge électrique

L'utilisation de l'électricité est courante et fait partie intégrante de beaucoup d'opérations de soudage. Une décharge électrique peut provenir d'un équipement défaillant ou mal entretenu combiné à un manque d'attention ou de connaissances de la part de l'opérateur. Il convient de prendre des précautions supplémentaires contre les décharges électriques en s'assurant que les vêtements et les chaussures de sécurité restent aussi secs que possible et que les chaussures comportent des semelles non conductrices.

### 2.16.5 Incendies et explosions

La nature même de l'environnement navire, les cales d'eau huileuse, les espaces relativement confinés, les espaces morts inaccessibles, les surfaces peintes, une abondance de produits chimiques et de combustibles, font des incendies et des explosions un sujet très préoccupant durant les opérations de soudage. Soyez toujours conscient du fait que les opérations qui se déroulent autour de vous peuvent déclencher un incendie ou une explosion.

### 2.16.6 Bruit

Le [Code canadien du travail, Règlement sur la sécurité et la santé au travail \(navires\), partie 12-161](#). Les « niveaux sonores » régissent l'exposition au niveau de bruit. Les opérations de meulage, de coupe et de gougeage produisent souvent des niveaux de bruit supérieurs aux limites d'exposition acceptables. Le risque de dommages auditifs augmente davantage lorsque ces opérations sont effectuées dans un espace clos. La pratique en vigueur consiste à utiliser des protecteurs d'oreille qui répondent aux normes de sécurité énoncées dans la norme Z94.2 de la CSA, bouchons d'oreille, pour réduire le niveau d'exposition sonore à 85 dB ou moins.



### 2.16.7 Produits chimiques

En plus des risques chimiques courants dans l'environnement navire, les opérations de soudage peuvent se traduire par une exposition aux dangers chimiques découlant des composés anti-éclaboussures, des flux, des solutions de salage en saumure et des gaz formés à partir des émanations de solvants. Lorsque de la chaleur et de la lumière sont appliquées à des substances autrement inoffensives, des réactions chimiques peuvent survenir et produire une substance chimique qui peut être absorbée par la peau ou pénétrer dans le corps par inhalation et avoir des effets graves sur la santé à court et à long terme.

### 2.16.8 Trébuchements et chutes

Les navires sont conçus de manière à utiliser tout l'espace disponible. Les opérations de travail à chaud nécessitent souvent le déroulage de tuyaux flexibles et de câbles, de même que des manœuvres dans un endroit exigü. Cela augmente le risque de trébuchement et de chute tant pour le personnel effectuant le travail à chaud que les personnes entrant dans la zone de travail. Soyez toujours attentif à votre environnement et regardez toujours où vous mettez les pieds.

Pour de plus amples renseignements au sujet des pratiques de soudage sécuritaires, veuillez consulter la norme CSA W117.2, « Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes » et CGC TP11515E, « Programme technique de santé et de sécurité en matière de soudage ».

## Section 3

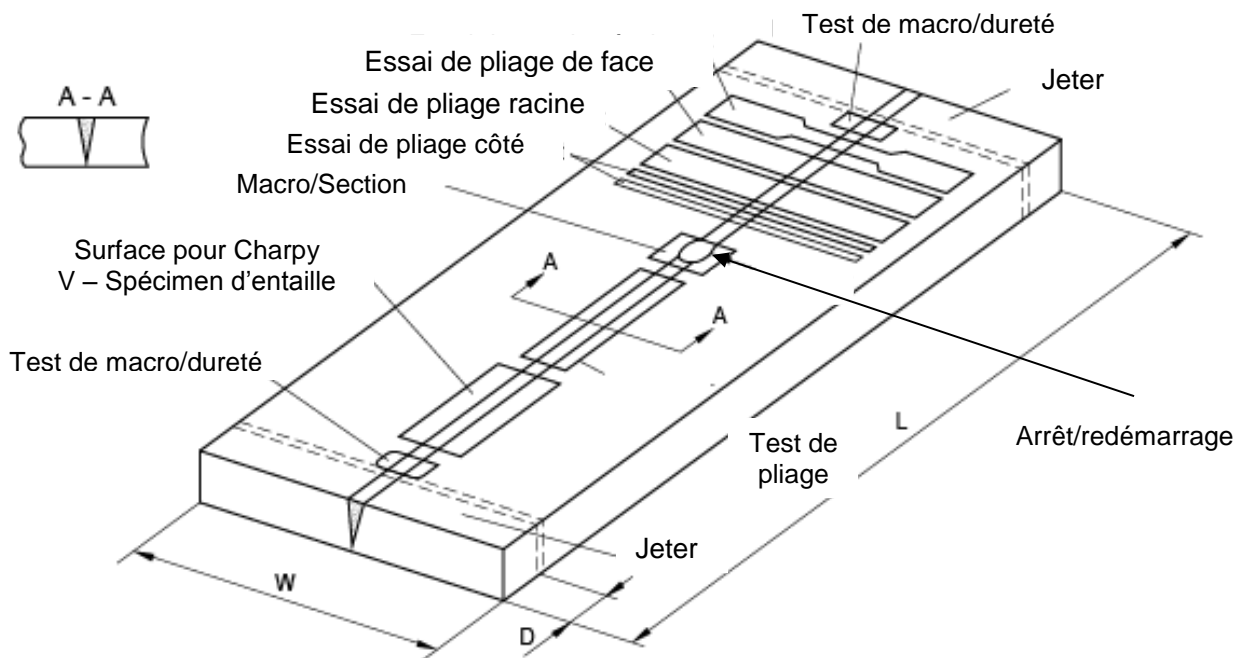
## ESSAIS MÉCANIQUES POUR LES SOUDURES

L'inspecteur est parfois amené à vérifier les essais mécaniques des soudures et les résultats d'essais. Les organisations reconnues ont toutes des exigences réglementaires en matière d'essais mécaniques qui font partie intégrante de leur plan d'approbation des matériaux, des électrodes de soudage et des produits consommables.

La plupart de ces exigences réglementaires respectent des normes nationales ou internationales reconnues. En Amérique du Nord, la publication qui concerne les méthodes normalisées de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) précise la manière d'appliquer les méthodes d'essais mécaniques pour les soudures. Cette publication tient compte des différentes propriétés selon les régions d'une soudure (métal de base, zones affectées thermiquement et métal d'apport).

La norme ANSI/AWS B4.0 XX, publiée par l'American Welding Society, rassemble toutes les méthodes d'essais mécaniques pour les soudures en un seul document. Les essais mécaniques peuvent être classés selon les groupes et catégories suivants :

SOUDURES SUR CHANFREIN ESSAIS	SOUDURES D'ANGLE ESSAIS	ESSAIS POUR LES SOUDURES SUR CHANFREIN ET LES SOUDURES D'ANGLE	SOUDURES À GOIJONS ESSAI
✓ Pliage	✓ Pliage guidé longitudinal	✓ Rupture avec entaille	✓ Pliage
✓ Tension	✓ Essai de qualité	✓ Dureté	✓ Traction
✓ Ténacité	✓ Cisaillement	---	---



La norme ANSI/AWS B4.0 XX présente des exigences en matière de préparation des éprouvettes, de paramétrage des essais et de procédures d'essai, mais n'indique aucun critère d'acceptation ni rayon de courbure, etc. De telles exigences sont indiquées dans les normes de conception du produit ou de qualité d'exécution. Les méthodes d'essai sont regroupées selon leur nature quantitative, qualitative ou mixte.

[Cliquez ici pour visionner une vidéo éducative de TWI sur les essais mécaniques.](#)

### 3.1 ESSAIS DE PLIAGE POUR LES SOUDURES SUR CHANFREIN

Sept essais de pliage peuvent être réalisés pour les soudures sur chanfrein :

**1. Pliage transversal sur le côté**

L'axe longitudinal de l'éprouvette est perpendiculaire à la soudure et l'éprouvette est pliée de manière à ce que l'une des surfaces latérales devienne la surface de tension de l'éprouvette.

**2. Pliage transversal à l'endroit**

L'axe longitudinal de l'éprouvette est perpendiculaire à la soudure et l'éprouvette est pliée de manière à ce que l'endroit de la soudure devienne la surface de tension de l'éprouvette.

**3. Pliage transversal à l'envers**

L'axe longitudinal de l'éprouvette est perpendiculaire à la soudure et l'éprouvette est pliée de manière à ce que l'envers de la soudure devienne la surface de tension de l'éprouvette.

**4. Pliage longitudinal à l'endroit**

L'axe longitudinal de l'éprouvette est parallèle à la soudure et l'éprouvette est pliée de manière à ce que l'endroit de la soudure devienne la surface de tension de l'éprouvette.

**5. Pliage longitudinal à l'envers**

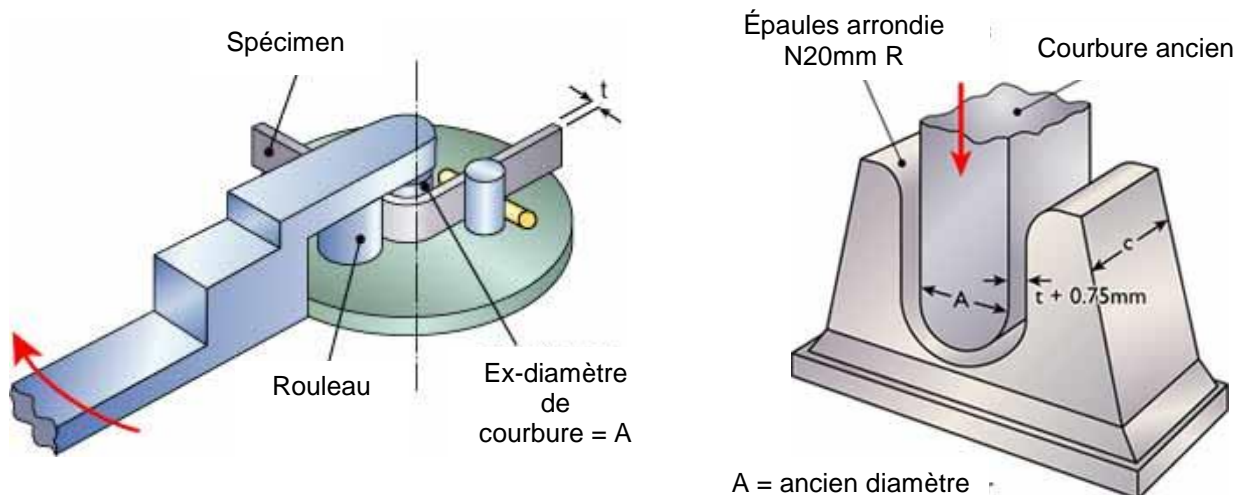
L'axe longitudinal de l'éprouvette est parallèle à la soudure et l'éprouvette est pliée de manière à ce que l'envers de la soudure devienne la surface de tension de l'éprouvette.

**6. Pliage à l'envers d'une soudure d'angle**

L'envers de la soudure doit être la surface de tension de l'éprouvette. Selon certains codes et certaines instructions, ce test peut remplacer l'essai de rupture de la soudure d'angle. Le joint est une soudure en I avec un support envers et une ouverture qui permet de placer deux soudures d'angle à une seule passe de 9,5 mm. Le joint est rempli par la soudure, puis plié une fois que le support est retiré.

**7. Pliage d'éprouvettes surfacées par soudure**

Ce pliage sert à vérifier le cordon de recouvrement pour un rechargement ou un surfaçage. La méthode d'essai comprend des dispositions pour les pliages sur les faces et sur les côtés.



## 3.2 ESSAIS DE TRACTION POUR LES SOUDURES SUR CHANFREIN

Voici les trois essais de traction de base pour les soudures sur chanfrein :

### 1. Essai de traction sur éprouvette cylindrique

**Tout métal d'apport :** Cet essai permet d'évaluer la résistance ultime à la traction, la limite d'élasticité, l'élongation et le coefficient de striction du métal d'apport. Le joint permet de vérifier le métal d'apport non dilué.

**Éprouvette à soudure transversale :** L'éprouvette à soudure transversale est utilisée avec le métal de base afin d'évaluer l'efficacité du joint. Seule la résistance ultime à la traction est normalement mesurée.

### 2. Essai de traction sur éprouvette rectangulaire

**Transversal ou longitudinal :** Cet essai permet de vérifier l'efficacité du joint. Normalement, seule la résistance à la traction est mesurée. Si l'épaisseur de l'éprouvette dépasse la capacité des appareils d'essai, la soudure est divisée en autant d'éprouvettes qu'il faut pour représenter l'épaisseur totale. Une moyenne des résultats des épaisseurs partielles est calculée.

### 3. Essai de traction sur éprouvette tubulaire



Pour les tuyaux de plus de 50 mm de diamètre nominal, on utilise des éprouvettes pour essai de traction réduit.

Pour les tuyaux ou les tubes dont le diamètre est inférieur à 50 mm, une éprouvette à section pleine est utilisée pour les essais sur les soudures.

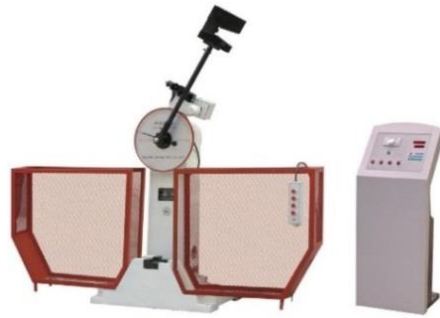
[Cliquez ici pour visionner une vidéo éducative sur les essais de traction.](#)

## 3.3 ESSAIS DE TÉNACITÉ POUR LES SOUDURES SUR CHANFREIN

Voici les méthodes d'essai de ténacité et les normes d'essai applicables pour les soudures sur chanfrein :

MÉTHODE D'ESSAI	NORME APPLICABLE
✓ Charpy V	ANSI/ASTM E23
✓ Déchirure dynamique	ANSI/ASTM E604
✓ Ténacité aux déformations planes	ANSI/ASTM E399
✓ Chute de poids et température de ductilité nulle	ANSI/ASTM E208

Les instruments nécessaires pour réaliser les divers essais de ténacité, la préparation des éprouvettes et les méthodes d'essai pour mesurer la ténacité d'une soudure sont compris dans chaque norme ANSI/ASTM indiquée.



[Cliquez ici pour visionner une vidéo éducative sur l'essai de résilience Charpy.](#)

### 3.4 ESSAIS DE QUALITÉ POUR LES SOUDURES D'ANGLE

Cet essai vise à vérifier la qualité des soudures d'angle. Il est de type qualitatif et l'acceptation dépend de l'étendue et de la nature de toute discontinuité inacceptable découverte.

L'une des ailes d'un joint en T est pliée sur l'autre afin de mettre la soudure sous tension. Pour réaliser cet essai de manière efficace, seul un côté du joint est soudé et la longueur résultante de l'aile doit être suffisamment faible par rapport à l'épaisseur de la tôle de base pour obtenir une fracture nette au centre de la soudure d'angle.

Cet essai est couramment réalisé pour les applications suivantes :

- Validation de la procédure de soudage d'angle
- Validation de la procédure de couche primaire
- Validation de la procédure de galvanisation
- Examen d'aptitude du soudeur
- Examen d'aptitude de l'assembleur par points de soudure

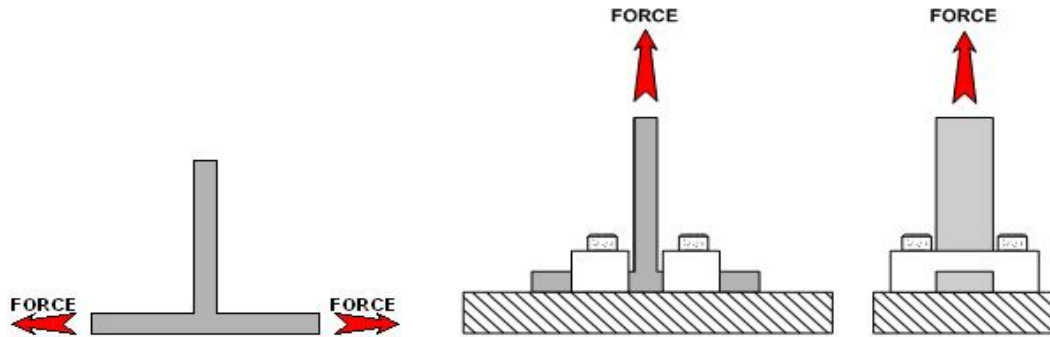


### 3.5 ESSAIS DE CISAILLEMENT POUR LES SOUDURES D'ANGLE

L'essai de cisaillement pour une soudure d'angle consiste à soumettre à un effort de tension une éprouvette qui a été préparée pour que l'effort produise un cisaillement de la soudure d'angle. Lorsque la soudure cède, sa résistance au cisaillement est indiquée en effort par unité de longueur de soudure, et comme contrainte de cisaillement dans la gorge de la soudure. Les données obtenues à partir d'un essai de cisaillement pour une soudure d'angle peuvent comprendre :

- l'effort de cisaillement unitaire;
- la résistance au cisaillement;
- l'emplacement de la fracture et le mode de fracture.

La méthode d'essai permet de vérifier le cisaillement dans les sens longitudinal et transversal. L'éprouvette est soumise à une tension jusqu'au cisaillement des soudures. Un essai n'est pas pris en compte lorsque la rupture a lieu dans le métal de base. L'effort de cisaillement par unité de longueur de la soudure est calculé en divisant la charge maximale par la longueur totale de la soudure à l'essai. La résistance au cisaillement dans la gorge de la soudure d'angle est calculée en divisant l'effort de cisaillement par millimètre linéaire par les dimensions moyennes de la gorge de la soudure cisailée



### 3.6 ESSAIS DE RUPTURE AVEC ENTAILLE POUR LES SOUDURES SUR CHANFREIN OU LES SOUDURES D'ANGLE

L'essai de rupture avec entaille est peu onéreux et permet de déterminer la technique appropriée et les paramètres de soudage nécessaires pour obtenir des joints de soudage sur chanfrein ou d'angle de qualité pour des tuyaux ou des tôles. L'intensité de la charge nécessaire pour causer la rupture n'a aucune importance.

Pour cet essai, trois méthodes permettent de fracturer l'éprouvette :

1. Maintenir les extrémités et en frapper une en son centre avec un marteau ou maintenir une extrémité et frapper l'autre avec un marteau.
2. Exercer une traction sur les extrémités des éprouvettes jusqu'à la rupture.
3. Maintenir les extrémités et appliquer une charge au centre du côté opposé.

Dans chaque cas, une encoche est réalisée au centre de la soudure sur chaque côté et à chaque extrémité. La profondeur de l'encoche (entre 1,5 mm et 3 mm) et son orientation dépendent du type d'éprouvette à l'essai. (Consultez la norme ANSI/AWS B4.0 XX.) La surface fracturée est examinée afin de vérifier l'absence de discontinuités inacceptables.



### 3.7 ESSAIS DE DURETÉ POUR LES SOUDURES

Les essais de dureté fournissent des données qualitatives qui peuvent être utilisées pour la conception de méthodes de soudage et pour l'analyse de soudures fracturées. Les essais de dureté Brinell et Rockwell produisent des indentations importantes et permettent par conséquent de vérifier de larges zones de joint de soudure. Les essais de dureté Vickers et Knoop, qui produisent des indentations relativement petites, sont largement utilisés pour mesurer la dureté des sections transversales de petites soudures ou de zones extrêmement localisées.



Pour effectuer des essais de dureté, une machine étalonnée introduit un poinçon dans la surface de l'éprouvette à l'essai. Des mesures de l'impression obtenue permettent de déterminer la valeur précise de la dureté. Le poinçon a une forme géométrique précise et est introduit dans le matériau au moyen d'une charge précise.

Voici une liste des méthodes d'essai standard de l'ASTM relatives aux essais de dureté :

NORME DE L'ASTM	DESCRIPTION DE L'ESSAI
E10	Méthode d'essai standard de dureté Brinell pour les matériaux métalliques
E18	Méthode d'essai standard de dureté Rockwell et de dureté superficielle Rockwell pour les matériaux métalliques
E92	Méthode d'essai standard de dureté Vickers pour les matériaux métalliques
E110	Méthode d'essai standard de résistance aux indentations des matériaux métalliques avec des duromètres portatifs

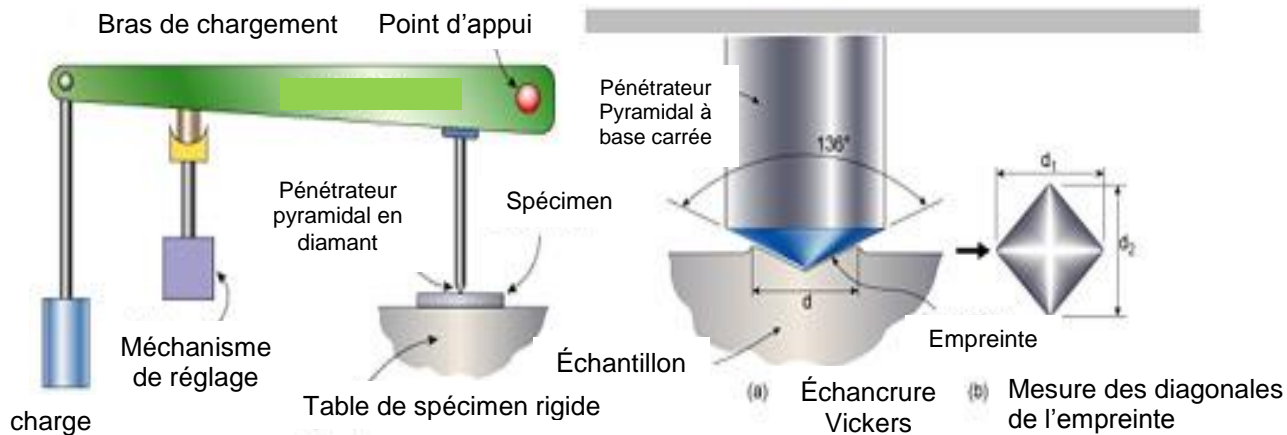


Figure 29 - Principe schématique de la machine d'essai de dureté Vickers

Les restrictions suivantes relatives aux essais de dureté s'appliquent :

1. Les méthodes d'essai de dureté portatives doivent être autorisées uniquement pour l'évaluation des métaux de base.
2. Les méthodes d'essai de dureté Brinell et Rockwell doivent être autorisées uniquement pour l'évaluation des métaux de base et du métal d'apport.
3. Les méthodes d'essai de dureté Vickers et Knoop doivent être les seules méthodes d'essai utilisées pour les évaluations à petite échelle dans une ou plusieurs zones du métal d'apport ou dans des zones affectées thermiquement.

Vous pouvez consulter les valeurs de conversion pour comparer les résultats des différentes méthodes d'essai de dureté, les types de poinçons et les charges au tableau D1 de la norme CSA W47.1.

### 3.8 ESSAIS POUR LES GOUJONS

Les essais techniques pour les goujons soudés à l'arc permettent d'évaluer la qualité, les propriétés de traction et la ductilité d'une soudure à goujon. Ils servent principalement de méthode de validation des procédures de soudage afin d'évaluer les paramètres de soudage et la préparation de surface.

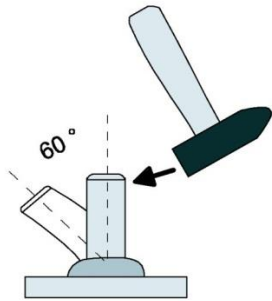
Deux méthodes permettent d'évaluer l'éprouvette d'une soudure à goujon :

1. Le goujon est plié au moyen d'un marteau ou à l'aide d'un tronçon de tuyau ou de tube.

2. Un effort de tension est appliqué sur le goujon à l'aide d'un outil approprié. Il s'agit le plus souvent d'une clé dynamométrique ou d'un manchon d'écartement.

Voici une liste des codes et des normes qui comprennent des exigences détaillées relatives au soudage et aux essais pour les soudures à goujon

NORME	DESCRIPTION
<b>CSA W59</b> , Clause n° 6 et Annexe H	➤ Construction soudée en acier
<b>CSA W59.2</b> , Clause n° 9 et Annexe E	➤ Construction soudée en aluminium



## Section 4 INSPECTION DE SOUDAGE

### 4.1 DÉFAUTS DE SOUDURE

Les résultats de l'inspection en cours de processus et de l'inspection finale des soudures peuvent attirer l'attention du représentant délégué responsable de l'inspection sur le type de défauts qui peuvent survenir et ainsi lui permettre de choisir les points à soumettre à un examen ponctuel à l'aide d'autres méthodes d'inspection non destructives. Il est très important de mentionner que chaque procédé de soudage peut se traduire par certains défauts lorsque les paramètres utilisés ne correspondent pas aux variables essentielles pour ce procédé.

Procédé	Défauts types
SMAW	Le plus sujet aux inclusions de laitier et à une pénétration incomplète. Selon l'état du revêtement de l'électrode, de la porosité grossière peut être observée. Le craquelage provoqué par l'hydrogène peut survenir si les électrodes ne sont pas sèches, si le taux de refroidissement est trop rapide ou si le joint est soumis à des contraintes élevées. Les revêtements de rutile et de cellulose tolèrent très bien la présence d'apprêts appliqués avant la construction. Les électrodes de base à faible teneur en hydrogène ne tolèrent pas les apprêts.
FCAW	Le plus sujet aux caniveaux, aux inclusions de laitier et à la porosité. Le craquelage le long de l'axe central de la soudure au moment de la solidification peut survenir si la vitesse de déplacement est trop rapide et se traduit par du métal de soudure liquide en forme de larme. Très faible tolérance à la présence d'apprêts appliqués avant la construction
GMAW	Le plus sujet à l'absence de fusion, à la porosité et à la pénétration incomplète. Selon les combinaisons fil/gaz, la ductilité peut être mauvaise. Pas de tolérance à la présence d'apprêts appliqués avant la construction.
SAW	Le plus sujet aux défauts continus le long de l'ensemble de la soudure. Une pénétration incomplète est courante lorsque le méplat est trop épais ou que la profondeur de la rainure est insuffisante. Faible tolérance à la présence d'apprêts appliqués avant la construction.

La préparation des bords et les conditions d'aménagement peuvent contribuer à la probabilité d'obtenir certains défauts dans une soudure si les conditions ne correspondent pas aux paramètres des variables essentielles pour un procédé de soudage donné.

État	Défauts types
<b>TYPE DE JOINT :</b>	
Soudure en té/ soudure d'angle	Caniveau, fusion incomplète à la racine et aile inégale pour tous les procédés de soudage dans l'angle horizontal et dans les positions au plafond.
Bout à bout/ chanfrein unique	Absence de fusion le long du bord droit. Pénétration incomplète lorsque non gougé à l'envers. Absence de fusion et inclusions de laitier avec des supports à l'envers permanents. Caniveau et concavité à la racine lorsque des matériaux de renfort non métalliques temporaires sont utilisés.
Joint en I	Pénétration incomplète lorsque non gougé à du métal sain et soudé des deux côtés.
État	Défauts types

<b>ANGLE INCLUS :</b>	
Trop petit	Inclusions de laitier et pénétration incomplète pour les procédés générateurs de laitier Absence de fusion et pénétration incomplète pour le GMAW. Une rainure plus profonde peut aider à prévenir la pénétration incomplète.
Trop grand	Augmente la section transversale du joint nécessitant plus de passes de soudure et de couches. Risque accru de défauts cumulés puisqu'il est nécessaire d'effectuer plus de soudage. Déformation angulaire sur une plaque mince et contraintes résiduelles élevées sur une plaque épaisse. Risque accru de craquelage lorsque les joints sont soumis à une contrainte élevée et que la ductilité du métal d'apport est faible.
<b>MÉPLAT :</b>	
Trop mince	Perçage par brûlure, profil convexe du méplat et porosité grossière dans la première passe ou couche de la soudure. Si le soudage se fait des deux côtés, la profondeur de la rainure peut être augmentée afin de retirer complètement le métal d'apport peu solide.
Trop épais	Pénétration incomplète si le soudage se fait des deux côtés sans gougeage. Pénétration incomplète et concavité si le soudage se fait d'un seul côté. Si le soudage se fait des deux côtés et qu'il y a gougeage, la profondeur de la rainure peut être augmentée afin de retirer complètement le métal non fondu.
<b>ÉCARTEMENT DES BORDS :</b>	
Trop étroit	Pénétration incomplète si le soudage se fait d'un côté, en présence ou non de supports à l'envers permanents.
Trop large	Perçage par brûlure, profil convexe du méplat et porosité grossière dans la première passe ou couche de la soudure. Si le soudage se fait des deux côtés, la profondeur de la rainure peut être augmentée afin de retirer complètement le métal d'apport peu solide. Augmente la superficie de la section transversale du joint nécessitant plus de passes de soudure et de couches. Risque accru de défauts cumulés puisqu'il est nécessaire d'effectuer plus de soudage. Déformation angulaire sur une plaque mince et contraintes résiduelles élevées sur une plaque épaisse. Risque accru de craquelage lorsque les joints sont soumis à une contrainte élevée et que la ductilité du métal d'apport est faible.
<b>PROFIL</b>	
Profondeur trop	Pénétration incomplète.
Trop petit ou absence de rayon	Pénétration incomplète et inclusions de laitier pour les SMAW, FCAW et SAW. Absence de fusion et pénétration incomplète pour le GMAW.
Trop profond ou trop large	Perçage par brûlure sur des matériaux minces et l'aluminium. Augmente la superficie de la section transversale du joint nécessitant plus de passes et de couches de soudure. Risque accru de défauts cumulés puisqu'il est nécessaire d'effectuer plus de soudage. Déformation angulaire sur une plaque mince et contraintes résiduelles élevées sur une plaque épaisse.

La technique de soudage peut également contribuer à la probabilité d'acquérir certains défauts dans une soudure si les conditions ne correspondent pas aux paramètres des variables essentielles pour un procédé de soudage donné.

État	Défauts types
<b>PROFILS ENTRE LES PASSES:</b>	Pour les SMAE, FCAW et SAW, le laitier peut adhérer fortement aux bords de la soudure et, si elles ne sont pas enlevées, les inclusions de laitier peuvent être emprisonnées. Pour le GMAW, la silice peut adhérer fortement aux bords de la soudure et, si elles ne sont pas enlevées, les inclusions non métalliques peuvent être emprisonnées. S'il y a du chevauchement sur les bords de la soudure, une absence de fusion pourrait être observée. Si une passe de soudure entrave le bord de plaque dans les couches de soudure multipasse, l'absence de fusion ou des inclusions de laitier peuvent survenir.
<b>OSCILLATION</b>	L'oscillation ne devrait pas être utilisée pour unir l'aluminium ou lorsque le GMAW est utilisé. L'oscillation est permise pour l'acier et couramment utilisée pour le SMAW et le FCAW. Pour le SMAW, la largeur d'oscillation ne devrait pas dépasser 1,5 fois le diamètre du revêtement de l'électrode ni se traduire par des largeurs ou des profondeurs de passe simple dépassant celles mentionnées dans le présent document. Des techniques d'oscillation inappropriées peuvent se traduire par l'absence de fusion et les inclusions de laitier. Toutefois, l'oscillation est moins sujette à ces défauts lorsqu'elle est effectuée à la verticale vers le haut.

## 4.2 NORMES D'ACCEPTATION DES SOUDURES

Les soudures peuvent contenir des profils ou des discontinuités qui peuvent être jugés acceptables ou non en fonction des critères d'acceptation définis dans les normes d'acceptation. Les discontinuités peuvent être visibles sur la surface ou être situées sous la surface dans la section transversale de la soudure qui est de nature structurelle et elles sont décelables uniquement à l'aide d'un examen non destructif. La spécification de soudage de la GCC définit les normes d'acceptation des profils de soudure et des discontinuités visibles et structurelles en renvoyant aux critères d'acceptation énoncés dans les normes commerciales.

Une bonne soudure peut se définir comme une soudure qui répond aux normes d'acceptation pour son épaisseur ou sa taille tout en contenant différentes discontinuités acceptables d'orientation et de formes diverses, mais qui est exempte d'états inacceptables de profil ou de discontinuités visibles ou structurelles.

### 4.2.1 Profils

Pour les soudures d'angle, la convexité, la concavité et la façon dont le bord de la soudure d'angle s'intègre au métal de base sont évaluées en fonction des critères d'acceptation des normes d'acceptation

Les états inacceptables types peuvent inclure :

- Taille de la gorge insuffisante.
- Longueur d'aile insuffisante.
- Convexité supérieure à la limite acceptable.
- Caniveaux supérieurs à la limite acceptable.
- Chevauchement au bord de la soudure.

Pour les soudures sur chanfrein, le renforcement et la façon dont le bord de la soudure d'angle s'intègre au métal de base sont évalués en fonction des critères d'acceptation des normes d'acceptation, de même que des tolérances pour les soudures nécessitant une préparation des surfaces lisses ou affleurantes du métal commun.

Les états inacceptables types peuvent inclure :

- Gorge insuffisante (concavité ou aspiration inverse).
- Convexité supérieure à la limite acceptable.
- Caniveaux supérieurs à la limite acceptable.
- Chevauchement au bord de la soudure.
- Tolérance des surfaces lisses inacceptables.
- Tolérance des surfaces affleurantes inacceptables.

#### 4.2.2 Discontinuités visibles

En plus des exigences de profil des critères d'acceptation des normes d'acceptation, les discontinuités visibles suivantes ouvertes vers la surface **sont permises** dans les limites des critères d'acceptation des normes d'acceptation :

- Porosité isolée pour les soudures d'angle à d'autres emplacements que les réservoirs humides et de carburant.

Les discontinuités visibles suivantes ouvertes vers la surface **ne sont pas permises** quelle que soit leur longueur selon les exigences des critères d'acceptation des normes d'acceptation :

- Fissures dans n'importe quelle orientation
- Absence de fusion entre la soudure et le métal de base.
- Porosité ouverte vers la surface dans les soudures sur chanfrein.

#### 4.2.3 Discontinuités structurales

En plus des exigences de profil et de discontinuités visibles des critères d'acceptation des normes d'acceptation, les discontinuités suivantes sous la surface et dans la section transversale de la soudure **sont permises** dans les limites des critères d'acceptation des normes d'acceptation :

- Porosité.
- Absence de fusion.
- Pénétration incomplète.
- Inclusions non métalliques (laitier).
- Inclusions métalliques globulaires (tungstène).

Les discontinuités suivantes sous la surface et dans la section transversale de la soudure **ne sont pas permises** quelle que soit leur longueur selon les exigences des critères d'acceptation des normes d'acceptation :

- Fissures dans n'importe quelle orientation.

La spécification de soudage de la GCC attribue les normes d'acceptation suivantes pour les soudures :

Acier de construction – Norme CSA W59	Acier inoxydable de construction - AWS D1.6
Aluminium de construction – Norme CSA W59.2	Autres matériaux de construction – CSA W59
Tuyauterie sous pression – ASME B31.1	

### 4.3 INSPECTION VISUELLE

Les étapes de base de l'examen visuel peuvent être classées en tant qu'inspections périodiques avant, pendant et après le soudage. Idéalement, le chantier naval devrait retenir les services d'un inspecteur de soudage certifié qui a été approuvé par le Bureau canadien de soudage (BCS) au niveau 2 ou 3 de la norme CSA W178.2. Le personnel de niveau 1 peut observer ou aider une personne possédant les niveaux 2 ou 3 à effectuer des inspections en vertu des exigences de la spécification de soudage de la GCC. Les personnes doivent détenir une approbation du code pour la norme CSA W47/W59 et Marine (ABS ou SIGC).



Dès le départ, le représentant délégué responsable d'effectuer l'inspection devrait s'adresser aux services responsables de l'assurance de la qualité ou du contrôle de la qualité pour obtenir un plan d'inspection et de mise à l'essai qui comprend au moins les éléments ci-dessous :

1. Craie à code de couleur à utiliser par chaque parti pour identifier les défauts de fabrication nécessitant une réparation (un inspecteur du chantier naval, de la SSMTTC ou d'une organisation enregistrée ainsi qu'un inspecteur de la société de classification), au besoin.
2. Accès sécuritaire et exigences en matière d'éclairage.
3. Signalement, approbation et gestion des défauts de fabrication déclarés.
4. Points d'arrêt pour inspection dans le plan de production.
5. Calendrier d'inspection fondé sur la méthode de construction (construction en bloc ou à ossature et plaques) et les types d'inspection (visuelle, autre essai non destructif, hydrostatique, essais d'étanchéité, etc.).
6. Préavis minimal nécessaire pour les inspections planifiées.

#### **4.3.1 Avant l'assemblage ou la réparation à la soudure**

Au minimum, les processus d'AQ et de CQ doivent traiter des éléments ci-dessous de façon suffisamment détaillée pour faciliter une vérification périodique par le représentant délégué responsable de l'inspection.

##### **1. Matériaux**

- ✓ Vérification que les matériaux indiqués sur les bons de commande des fournisseurs sont ceux précisés par l'équipe de conception et qu'ils sont d'une qualité conforme aux règles en vigueur de la société de classification.
- ✓ Vérification que les certificats de l'aciérie sont conformes aux bons de commande et aux exigences réglementaires de la société de classification. Détermination si un énoncé de conformité de l'aciérie ou du fournisseur répond aux exigences de certification du matériel.
- ✓ Vérification que le marquage du matériel provenant de l'aciérie se retrouve dans les certificats de l'aciérie et les bons de commande.
- ✓ Vérification que le matériel est acceptable et exempt de dommages découlant de la manutention et de l'expédition, de rouille ou de piqûres, d'écaillage important, de délamination, d'entailles et de rainures, et qu'il a l'épaisseur requise dans l'exigence réglementaire pour la tolérance d'usinage.
- ✓ Vérification que la pratique d'entreposage des matériaux est adéquate, propre à maintenir les matériaux dans un état acceptable jusqu'à ce qu'on en ait besoin sur le chantier.

##### **2. Conception de joint**

- ✓ Vérification que la conception de joint a fait l'objet d'une vérification de convenance à la contrainte, au soudage et à l'accès à la soudure.
- ✓ Vérification que la préparation des bords a été choisie avec soin pour les plaques épaisses pour lesquelles il y a un risque de déchirure lamellaire.
- ✓ Vérification que la concentration de soudure a été évitée par l'application de pièces de transition appropriées.

##### **3. Conception de soudure**

- ✓ (Les dessins de structure indiquent la convention du chantier naval en ce qui concerne la taille de la soudure d'angle (taille de la gorge ou longueur d'aile). Les règles d'ABS énumèrent la longueur d'aile alors que d'autres énumèrent la taille de la gorge.
- ✓ (Les facteurs de soudage concernant le type de membres joints par soudures d'angle

indiqués dans les règles de la société de classification ont été suivis.

- ✓ (Toutes les soudures de joints bout à bout sont à pénétration complète à moins que la taille réelle de la gorge soit indiquée et que les exigences réglementaires de la société de classification permettent des soudures à pénétration partielle.

#### **4. Électrodes de soudage et produits consommables**

- ✓ (Les électrodes de soudage à utiliser pour chaque nuance de métal de base et procédé de soudage ont été identifiées et énumérées.
- ✓ Les électrodes de soudage et produits consommables sont approuvés par les codes en vigueur.
- ✓ (Les procédures et installations d'entreposage et de manutention d'électrodes de soudage et de produits consommables sont conformes aux exigences et codes applicables. Cela vise les fours de maintien et les carquois de soudeur installés en permanence et portatifs.
- ✓ (Procédures pour l'autorisation et l'utilisation de matériaux de remplacement approuvés par d'autres codes et normes.

#### **5. Procédures de soudage**

- ✓ D'après les exigences et dessins du projet, rédiger et fournir une liste de matériaux, d'épaisseurs, de types de joint et de préparation des bords pour le travail à effectuer. Énumérer les procédés de soudage à utiliser pour le travail à effectuer et jumeler cette liste à la liste préalablement préparée de produits consommables pour le soudage.
- ✓ (Déterminer la position de soudage pour divers paramètres en fonction de la méthode de production (c.-à-d. construction en bloc ou à ossature et plaques).
- ✓ (Examiner les fiches signalétiques de procédure de soudage et identifier les soudures qui ne sont pas traitées dans les fiches signalétiques approuvées. Informer le représentant délégué des lacunes observées et du plan d'action pour préparer de nouvelles fiches signalétiques de procédure de soudage approuvées par les autorités compétentes.

#### **6. Soudeurs, opérateurs de soudeuse et assembleurs par points de soudure**

- ✓ Définir le nombre de soudeurs qui seront embauchés pour respecter le calendrier de production et fournir une liste des qualifications de chacun ainsi que les dates des nouveaux essais obligatoires. De façon aléatoire, demander les copies des certificats d'au moins 25 % de l'effectif des soudeurs et les vérifier à l'aide de la liste fournie.
- ✓ S'assurer que les qualifications des personnes conviennent aux exigences de production du projet en fonction du type de matériaux, des procédés de soudage, des électrodes de soudage, des positions de soudage, de la technique (c.-à-d. soudage d'un ou de deux côtés, tuyau ou plaque, bord ouvert ou support à l'envers, manuel, semi-automatique ou automatique, etc.). Aviser le représentant délégué des lacunes et des dates des essais planifiés.
- ✓ Produire des rapports mensuels sur l'état des qualifications de l'effectif de soudage, y compris un nouvel essai.

#### **7. Séquence de soudage**

- ✓ Assurance que des séquences de soudage adéquates ont été préparées et examinées avant la tenue de toute opération de soudage :
  - Séquences de construction en bloc pour la fabrication de panneaux, de blocs et de blocs de jonction au poste d'amarrage.
  - Séquences de construction à ossature et plaques pour les panneaux de soudage, le plafond de ballast, les cloisons transversales et longitudinales, et le bordé extérieur

de l'ossature.

- Tôles encastrées, renouvellements partiels ou complets du bordé extérieur, séquence de soudage pour chaque différent aménagement qui existe (c.-à-d. ajustement et liaison aux abouts et joints existants, ovale, circulaire, rectangulaire ou carré avec des coins arrondis, etc.)

#### 4.3.2 **Pendant l'assemblage ou la réparation à la soudure**

Au minimum, les processus de CQ et d'AQ doivent traiter des éléments ci-dessous de façon suffisamment détaillée pour faciliter une vérification périodique par le représentant délégué responsable de l'inspection.

##### **1. Matériaux**

- ✓ Vérification que les différentes qualités des matériaux sont utilisées où il se doit.
- ✓ Vérification que les bords coupés au chalumeau sont exempts d'entailles, de rainures, d'une rugosité inacceptable de la surface et de délamination.
- ✓ Vérification que les matériaux n'ont pas été endommagés par la manutention, qu'ils sont exempts de corrosion, de piqûres et de cicatrices causées par le retrait des oreilles soudées et que les fixations temporaires ont été réparées et qu'elles sont en bon état.
- ✓ Vérification que les matériaux sont exempts d'adhésions de projections et de laitiers résultant des opérations de soudage et de coupe au chalumeau.
- ✓ Vérification que toutes les cicatrices du bordé extérieur exposé à l'eau de mer et à l'intérieur des réservoirs humides ont été réparées par soudage à l'aide de métal de soudage à résistance à la corrosion approprié.

##### **2. Conception de joint**

- ✓ Vérification que la géométrie des joints correspond à celle indiquée sur les dessins approuvés.
- ✓ Vérification que les tolérances structurelles des plaques installées sont respectées (c.-à-d. alignement, carénage, etc.).
- ✓ Vérification que l'écartement des bords, les angles inclus, les méplats et les supports à l'envers se situent dans les limites de tolérance.

##### **3. Conception de soudure**

- ✓ Vérification que la taille et les dimensions des soudures correspondent à celles indiquées sur les dessins approuvés ou dans les exigences réglementaires de la société de classification.

##### **4. Électrodes de soudage et produits consommables**

- ✓ Vérification que l'environnement où les électrodes de soudage sont entreposées est adéquat et que les électrodes dont l'emballage était endommagé ont été mises en quarantaine.
- ✓ Vérification que les fours à électrodes sont fonctionnels et maintenus à la bonne température pour les types d'électrodes qui y sont conservés et qu'ils font l'objet d'une vérification pour déceler la présence de matière indésirable qui pourrait produire de l'humidité.
- ✓ Vérification que les documents sur les matériaux en quarantaine sont préparés et classés.
- ✓ Vérification que les électrodes de soudage et les produits consommables dont les soudeurs disposent sont du bon type et qu'ils n'ont pas dépassé la durée d'exposition admissible.
- ✓ Vérification que la qualité des électrodes et produits consommables est la bonne pour les

nuances de métal de base utilisées pour le soudage.

- ✓ Vérification que les électrodes humides, surexposées et endommagées sont mises en quarantaine et jetés
- ✓ Vérification que le bon gaz ou les bons mélanges de gaz sont utilisés.

#### **5. Soudeurs, opérateurs de soudeuse et assembleurs par points de soudure**

- ✓ Vérification que les qualifications des matériaux, du procédé de soudage, des électrodes et des positions de soudage sur le lieu de travail sont à jour.

#### **6. Procédures de soudage**

- ✓ Vérification que les fiches de données sur la procédure de soudage sont disponibles pour consultation par les soudeurs de l'atelier.
- ✓ Vérification que les procédures ont été approuvées et catégorisées adéquatement à l'aide d'un essai (PQR), au besoin.
- ✓ Vérification que les soudeurs effectuent les joints soudés conformément aux procédures approuvées
- ✓ Vérification de la technique :
  - Couche de soudure et séquence de passe;
  - Taille maximale de la soudure d'angle à passe simple;
  - Largeur maximale du faisceau de la passe simple et profondeur de la couche;
  - Retirer des profils de métal sain;
  - Soudures par points à intégrer dans la dernière soudure.
- ✓ Vérification que le préchauffage, le réglage de la température entre les passes et le postchauffage sont effectués conformément aux fiches signalétiques de procédure de soudage, que les méthodes utilisées pour mesurer la température sont précises et que la température de la plaque est mesurée latéralement et à l'avant de l'arc de soudage.

#### **7. Séquence de soudage**

- ✓ Vérification que la séquence de soudage approuvée et que les distances de relâchement minimales pour les abouts, les joints et les soudures internes sont suivies.
- ✓ Vérification que les techniques appropriées sont utilisées à l'intersection de l'about et du joint

#### **8. Réparation des déformations**

- ✓ Vérification que les procédures approuvées sont utilisées et suivies pour la réparation des déformations

### **4.3.3 Après l'assemblage ou la réparation à la soudure**

#### **1. Préparation de la surface**

Vérification qu'avant l'inspection, les surfaces des soudures et le métal de base adjacent ont été nettoyés pour permettre une interprétation précise de la zone d'intérêt (zone de soudure) et que la peinture n'a pas été appliquée sur la zone de soudure avant l'inspection finale et l'acceptation.

#### **2. Échafaudage et accès**

Vérification qu'un échafaudage a été mis à disposition pour que l'accès aux lieux d'inspection soit sécuritaire et pour permettre une inspection visuelle directe à une distance de 610 m ou moins et à un angle de 30° ou plus de la surface à examiner.

#### **3. Éclairage**

Vérification que la pièce ou section spécifique examinée est éclairée, au besoin, à l'aide d'une lampe de poche pour obtenir au moins 160 lux pour un examen général et 540 lux pour la détection ou l'étude de petites anomalies.

#### 4. Matériaux

Vérification que des inspections détaillées du profil de la surface ont été effectuées pour détecter la présence de déformations, de fissures, de cicatrices et de projections.

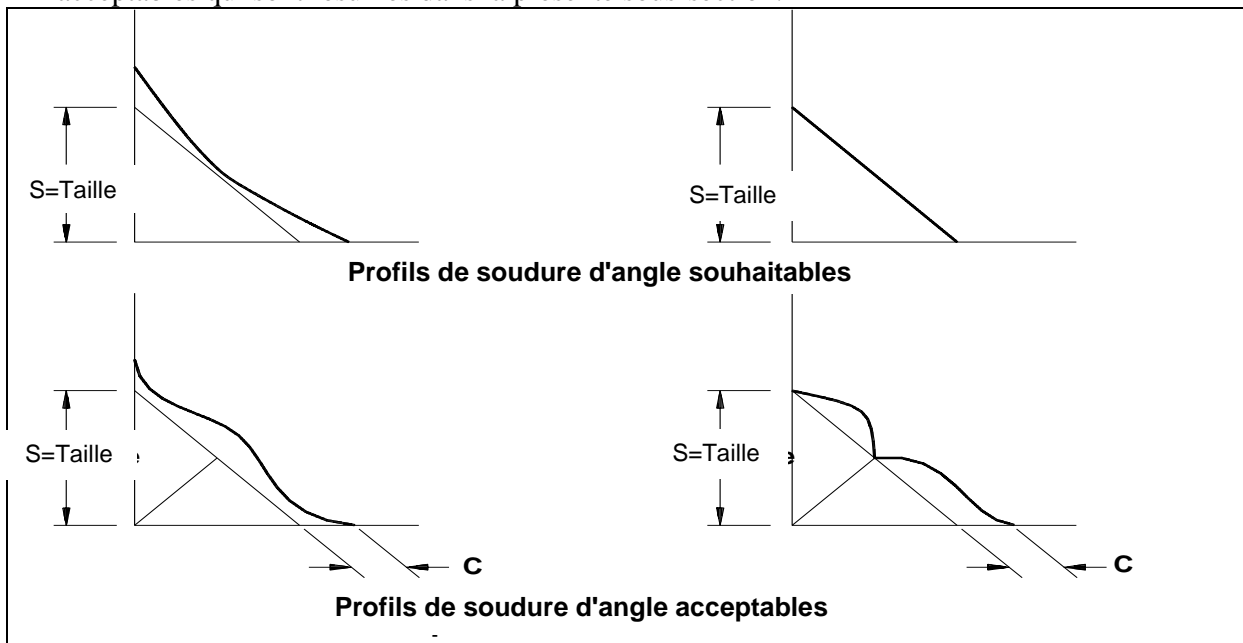
#### 5. Soudures

- ✓ Vérification que toutes les soudures ont été effectuées.
- ✓ Vérification que la conception de soudure requise a été respectée à l'égard de la taille (aile et gorge), de la longueur ou de l'espacement (continu, double continu, discontinu ou discontinu alterné), du retour autour des extrémités des soudures d'angle des joints, des épissures dans les supports à l'envers fixés de façon permanente et des soudures d'angle fixant les supports à l'envers dans les emplacements humides.
- ✓ Vérification que les soudures ont fait l'objet d'une vérification du profil, du renforcement et de la présence de discontinuités telles qu'un caniveau, du chevauchement, l'absence de fusion, des cratères, des pores ouverts vers la surface, des perforations, de la pénétration à la racine et des fissures.

[Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo d'une inspection visuelle du soudage par le Bureau canadien de soudage.](#)

#### 4.3.4 Critères d'acceptation des soudures

La spécification de soudage de la GCC renvoie aux normes CSA pour les profils acceptables et inacceptables qui sont résumés dans la présente sous-section.

	
La convexité C d'une soudure ou d'un cordon individuel de surface ne doit pas excéder 0,07 fois plus 1,6mm (1/16po) la largeur réelle respectivement de la face de la soudure ou du cordon individuel.	La convexité C d'une soudure ne doit pas excéder $0,10 S + 1,5 \text{ mm}$ .
<b>Critères d'acceptation – Acier</b> Voir la norme CSA W59, Clause 5.9	<b>Critères d'acceptation–Aluminium</b> Voir la norme CSA W59.2, Clause 6.0

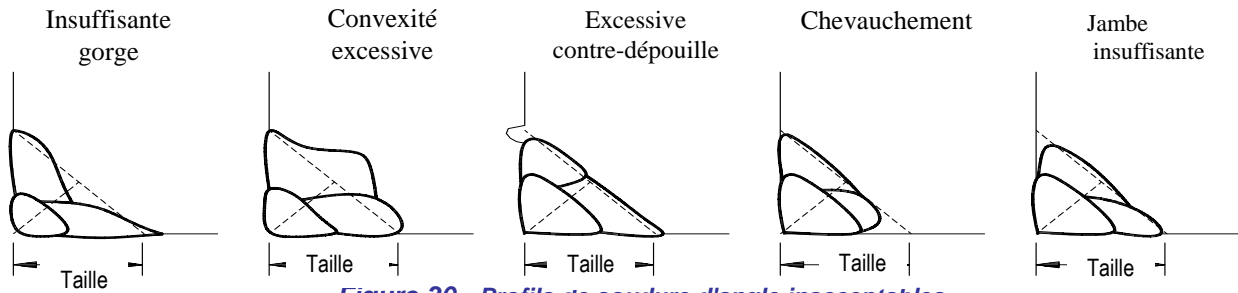


Figure 30 - Profils de soudure d'angle inacceptables

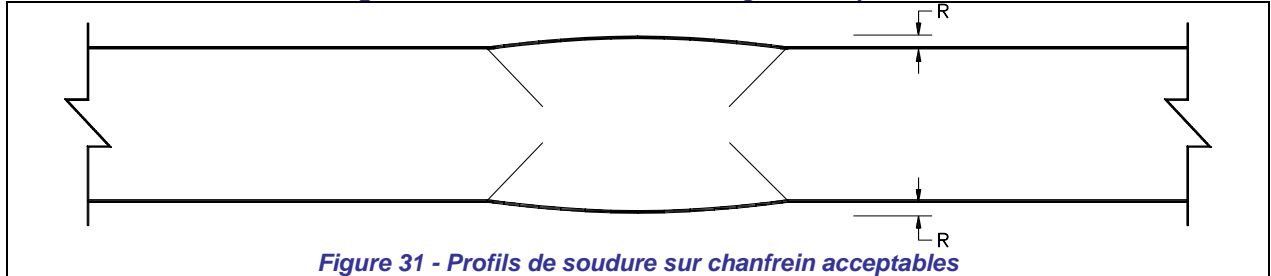


Figure 31 - Profils de soudure sur chanfrein acceptables

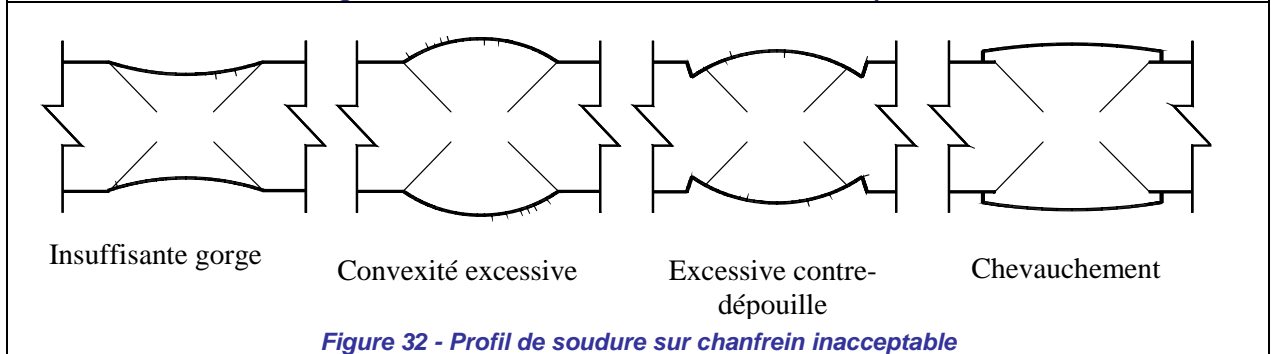


Figure 32 - Profil de soudure sur chanfrein inacceptable

Le renforcement «R» ne doit pas excéder 3mm	Structures chargées statiquement : Le renforcement « R » ne doit pas excéder 1,5 mm + 20 % de la largeur de la face. Structures chargées dynamiquement : Le renforcement « R » ne doit pas excéder 1,5 mm + 15 % de la largeur de la face.
<b>Critères d'acceptation—Acier</b> Voir la norme CSA W59, Clause 5.9	<b>Critères d'acceptation – Aluminium</b> Voir la norme CSA W59.2, Clause 6.0

[Cliquez sur ce lien pour voir la partie n° 1 – Alignement, mesure et instruments de mesure de soudure.](#)

[Cliquez sur ce lien pour voir la partie n° 2 – Alignement, mesure et instruments de mesure de soudure.](#)

Gorge insuffisante non permise	Gorge insuffisante non permise
Aucun chevauchement	Aucun chevauchement
Le caniveau parallèle à la contrainte principale n'excède pas 1mm de profondeur	Le caniveau continu n'excède par la valeur la plus petite entre $t/5$ ou 1mm de profondeur, l'épaisseur du joint
Le caniveau transversal à la contrainte principale n'excède pas	Le caniveau isolé n'excède pas 2mm de profondeur, et la longueur du caniveau dont la profondeur est supérieure à 1mm ne doit pas excéder 15mm. Les intervalles entre ces caniveaux isolés doivent excéder 100mm



Aucune fissure visible.	Aucune fissure visible.
Absence de fusion entre le métal de base et la soudure	Absence de fusion entre le métal de base et la soudure
Aucune porosité visible pour les soudures sur chanfrein	Si de la porosité est visible, une inspection interne est nécessaire
Pas plus d'un pore visible de diamètre inférieur à 2,5mm pour chaque 100mm de longueur de soudure d'angle.	
Profils acceptables.	Profils acceptables.
La longueur des soudures d'angle simples continues peut être inférieure de 2,0mm à celle de la longueur d'aile nominale des soudures d'angle sans qu'il soit nécessaire d'effectuer une correction si la portion de la taille non réglementaire n'excède pas 10% de la longueur de la soudure. Sur les soudures de l'âme à la semelle, aucun prolongement n'est permis aux extrémités pour une longueur égale au double de la largeur de la semelle.	La longueur des soudures d'angle simples continues peut être inférieure de 1,5mm à la longueur d'aile nominale des soudures d'angle sans qu'il soit nécessaire d'effectuer une correction si la portion de la taille non réglementaire n'excède pas 10% de la longueur de la soudure. Sur les soudures de l'âme à la semelle, aucun prolongement n'est permis aux extrémités pour une longueur égale au double de la largeur de la semelle.
<b>Critères d'acceptation – Acier</b>	<b>Critères d'acceptation – Aluminium</b>
Voir la norme CSA W59, Clauses 5.9 et 12.5.4.1	Voir la norme CSA W59.2, Clause 6.0

Les critères d'acceptation pour l'acier inoxydable sont énoncés dans les clauses 5.11 et 6.29.1 de la norme AWS D1.6.

Les pores ouverts vers la surface sont indésirables pour les abouts et les joints du bordé et pour toute soudure située dans un réservoir ou un emplacement humide, surtout les réservoirs transportant du carburant.

Les pores ouverts vers la surface dans les soudures en aluminium sont une bonne indication de porosité grossière dans la section transversale d'une soudure, et ces zones devraient être examinées de façon plus approfondie à l'aide d'autres méthodes d'inspection non destructives, comme la radiographie.

Trois finis de base pour les soudures sur chanfrein peuvent être nécessaires dans la construction ou la réparation des navires. Brut de soudage, lisse ou affleurant.

Dans l'état brut de soudage, les bords de soudure devraient se fondre harmonieusement dans le métal de base sans interruption. Pour les couches de finition multipasse du métal d'apport, chaque passe devrait se fondre harmonieusement avec une autre afin qu'il n'y ait pas de rides ni de vallées inadmissibles entre chaque passe.

Lorsque des revêtements à faible coefficient de frottement sont appliqués sur les brise-glace, il est souhaitable au moins d'adoucir les soudures, et peut-être de les meuler à ras.

Les surfaces des soudures sur chanfrein qui doivent être lisses devraient être finies afin que la surépaisseur de soudure ne dépasse pas 2,0 mm. Aucune vallée ou rainure entre les cordons de soudure individuels (technique stringer) n'est tolérée, et les bords de soudure doivent se fondre harmonieusement dans le métal de base, sans caniveau ni chevauchement.

Les surfaces des soudures sur chanfrein qui doivent être affleurantes devraient répondre aux exigences suivantes :

## Inspection de soudage

Renforcement : ➤ 1 mm maximum.	Renforcement : ➤ Aucune exigence.
Concavité : ➤ Épaisseur de plaque de 5 % à 1 mm ➤ maximum.	Concavité : ➤ Effectuer un test en usine de la tolérance standard.
Rugosité parallèle à la contrainte principale : ➤ 6 µm maximum.	Rugosité parallèle à la contrainte principale : ➤ 12 µm maximum.
Rugosité maximale dans toutes les directions : > 3 µm maximum.	Rugosité maximale dans toutes les directions : ➤ 6 µm maximum.
<b>Critères d'acceptation – Acier</b> Voir la norme CSA W59, Clause 5.9	<b>Critères d'acceptation – Aluminium</b> Voir la norme CSA W59.2, Clause 6.0

### 4.3.5 Liste de contrôle pour l'inspection visuelle

La liste de contrôle de vérification suivante pour l'inspection visuelle n'est fournie qu'à titre indicatif.

*Tableau 14 - Liste de contrôle pour l'inspection visuelle*

MATÉRIAUX	Qualification de l'inspecteur	<input type="checkbox"/> Études <input type="checkbox"/> ou système d'accréditation officiel <input type="checkbox"/> Formation <input type="checkbox"/> Expérience
	Procédures	<input type="checkbox"/> Procédures officielles acceptables <input type="checkbox"/> Approche systématique <input type="checkbox"/> Examen de documents (certificats des essais effectués en usine, registres de traitement thermique) <input type="checkbox"/> Identification des matériaux et transfert <input type="checkbox"/> Examen de l'état (dommages causés par l'expédition, la manutention et l'entreposage)
	Rapports	<input type="checkbox"/> Rapports sur l'état <input type="checkbox"/> Documentation aux fins de traçabilité des rapports sur l'état
SOUDAGE	Qualification de l'inspecteur	<input type="checkbox"/> Certifié par le Bureau canadien de soudage conformément à la norme CSA W178.2 (niveau 2 ou 3 pour l'interprétation et l'évaluation) avec une approbation du code appropriée aux travaux inspectés.
	Procédures	<input type="checkbox"/> Liste de contrôle écrite ou feuille d'état <input type="checkbox"/> Vérification du soudeur selon la procédure approuvée <input type="checkbox"/> Vérification du type et de la manutention des produits consommables <input type="checkbox"/> Vérification de l'aménagement et des surfaces à souder <input type="checkbox"/> Après la soudure, la géométrie et la qualité de l'exécution
	Rapports	<input type="checkbox"/> Soudeur, procédure de soudage et documents sur les matériaux <input type="checkbox"/> Résultats, y compris les détails demandés au sujet des réparations

[Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo d'introduction aux essais non destructifs produite par le TWI.](#)

## 4.4 ESSAI PAR RESSUAGE (PT)

L'essai par ressuage (PT) est une méthode sensible pour déceler et repérer les discontinuités qui sont ouvertes vers la surface. La méthode utilise un colorant liquide pénétrant qui est appliqué sur la surface à examiner. Si une discontinuité est ouverte vers la surface, le colorant pénètre par celle-ci. Après une période de pénétration appropriée, l'excès de liquide d'imprégnation est retiré de la surface et la pièce est asséchée. Un révélateur agissant comme papier buvard est appliqué pour retirer le liquide d'imprégnation de la discontinuité. Du liquide d'imprégnation absorbé d'ouverture à la surface indique la présence et l'emplacement d'une discontinuité.

Il y a deux versions de la méthode d'essai :

1. **Liquide d'imprégnation visible** : Il est habituellement de couleur rouge pour offrir un contraste à l'arrière-plan blanc du révélateur.
2. **Liquide d'imprégnation fluorescent** : Il est habituellement jaune verdâtre pour offrir un contraste à l'arrière-plan foncé lorsqu'il est visualisé dans un endroit sombre à l'aide d'une source de lumière noire (ultraviolet).

Il existe trois liquides d'imprégnation différents à utiliser avec ces deux méthodes :

1. **Enlevable au solvant**
  - Utilisé pour les inspections « sur place ».
  - Enlevé par un nettoyeur à base de solvant par une technique d'essuyage à la main.
2. **Lavable à l'eau**
  - Utilisé pour les « inspections de petites pièces à la station ».
  - Peu utilisé puisque des installations pour l'eau, l'élimination et le séchage sont nécessaires.
3. **Postémulsifiable**
  - Utilisé pour la détection de très petites discontinuités.
  - Enlevé à l'aide d'un émulsifiant distinct. Les mêmes installations que pour le liquide d'imprégnation lavable à l'eau sont nécessaires.

L'essai par ressuage peut être effectué sur des matériaux magnétiques ou non. La surface doit être lisse. Pour les sites marins, le processus d'inspection est plus couramment utilisé pour la détection de fissures et de discontinuités de surface sur l'arbre, le corps de la pompe, etc. Il faut mentionner que certaines substances des liquides d'imprégnation peuvent avoir des effets délétères sur les soudures ou les métaux de base sur lesquels ils sont utilisés.

### 4.4.1 Qualification du personnel

Au Canada, le personnel qui effectue et interprète les essais par ressuage est accrédité par l'organisme d'accréditation de Ressources naturelles Canada (RNCAN) à la norme 48.9712 de l'ONGC. Le membre du personnel peut être accrédité aux niveaux 1, 2 ou 3.

Le personnel de niveau 1 peut observer ou aider une personne possédant les niveaux 2 ou 3, à effectuer des inspections, en vertu des exigences de la spécification de soudage de la GCC. Le personnel de niveaux 2 et 3 peut rédiger les procédures et interpréter les résultats. Le personnel de niveau 3 a montré une meilleure connaissance de la méthode d'inspection et peut être appelé à effectuer de la supervision, rédiger des procédures et des techniques plus complexes et régler les interprétations litigieuses.

Chaque personne accréditée reçoit un certificat de poche qui indique sa qualification et son niveau. [Suivez ce lien pour rechercher du personnel des END certifié par RNCAN.](#)

#### 4.4.2 Procédures

Les procédures de traitement général suivantes s'appliquent aux méthodes d'inspection à l'aide de liquide d'imprégnation fluorescent et visible enlevable au solvant.

##### 1. *Pré-nettoyage*

La surface doit être sèche et exempte de rouille, calamine, flux de soudage, projection, graisse, peinture, film huileux, etc.

##### 2. *Imprégnation*

La température de la pièce doit être entre 16 °C et 50 °C. Vaporiser le liquide d'imprégnation uniformément sur la zone d'intérêt et le laisser s'écouler. Faire attention de ne pas répandre de flaques de liquide d'imprégnation. Régler la période de pénétration conformément à la recommandation du fabricant du liquide d'imprégnation.

##### 3. *Retrait*

Enlever à l'aide de chiffons de tissu propres et non pelucheux jusqu'à ce qu'il n'y ait pratiquement plus de traces de liquide. Mouiller légèrement un nouveau chiffon à l'aide de solvant et frotter la surface jusqu'à ce que toutes les traces de liquide d'imprégnation aient été enlevées. Utiliser le type de solvant recommandé par le fabricant et éviter de faire tremper le chiffon dans le solvant. Laisser le solvant s'évaporer.

##### 4. *Révélation*

Appliquer un révélateur humide non aqueux en le vaporisant de façon à assurer une couverture complète d'une couche mince et uniforme. Le délai avant que la zone recouverte soit examinée visuellement pour déceler des indications ne doit pas être inférieur à sept minutes, ou selon la recommandation du fabricant. Le délai de révélation commence dès que le révélateur non aqueux est sec. Si le ressuage ne modifie pas les résultats de l'inspection, des périodes de révélation de plus de 30 minutes sont permises.

##### 5. *Inspection*

Les indications visibles de liquide d'imprégnation peuvent être inspectées sous un éclairage naturel ou un éclairage artificiel blanc à une intensité lumineuse minimale de 350 lux sur la surface à l'examen. Les indications du liquide d'imprégnation fluorescent sont inspectées dans des endroits sombres. Une lumière ambiante maximale d'environ 32 lux est permise. L'intensité d'une lumière noire devrait être d'au moins 800  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  mesurée à la surface.

##### 6. *Nettoyage ultérieur*

Les révélateurs devraient être enlevés peu de temps après l'inspection. Une technique appropriée, comme le trempage dans le solvant ou le nettoyage par ultrasons, peut être employée. Pour d'autres processus utilisant un liquide d'imprégnation, consultez l'ASTM E165, Pratique normalisée recommandée pour la méthode d'essai par ressuage.

#### 4.4.3 Critères d'acceptation

Au cours de l'examen des soudures à l'aide d'un essai par ressuage, les critères d'acceptation devraient être ceux adoptés pour l'inspection visuelle et présentés à la section 3.2.0 de la présente, de même que ceux présentés dans les clauses 5.9 et 12.5.4.1 de la norme CSA W59 pour l'acier, dans les clauses 6.7.6 et 6.29.4 de la norme AWS D1.6 pour l'acier inoxydable et dans la clause 6.2 de la norme CSA W59.2 pour l'aluminium.

#### 4.4.4 Rapports d'interprétation

Un rapport d'interprétation devrait au moins contenir les renseignements ci-dessous :

1. Date à laquelle l'essai a été effectué.

2. Nom de l'organisme d'inspection.
3. Méthode, fabricant et nom commercial.
4. Période de pénétration.
5. Référence à la fiche explicative d'une procédure ou d'une technique.
6. Nom de l'inspecteur, niveau de l'ONGC et signature.
7. Nom de l'interprète, niveau de l'ONGC et signature.
8. Le code du critère d'acceptation.
9. Numéro du rapport d'interprétation.
10. Numéro d'identification d'une pièce ou d'une soudure individuelle.
11. Discontinuités déclarées, leurs emplacements, leurs longueurs individuelles et cumulatives, l'acceptabilité ou le rejet.

Une fiche explicative de la procédure devrait contenir les renseignements ci-dessous :

1. Référence à une procédure d'imprégnation.
2. Système d'imprégnation (fabricant et matériaux)
3. Propreté de la surface.
4. Période de pénétration.
5. Liquide fluorescent ou contraste de couleur.
6. Méthode de nettoyage, méthode de prélèvement du liquide d'imprégnation.
7. Conditions générales de visionnement.
8. Étalonnage de la lumière noire, si elle est utilisée.

#### 4.4.5 Liste de contrôle pour l'essai par ressuage

[Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo du CWBi sur l'essai de ressuage.](#)

La liste de contrôle de vérification suivante pour l'essai par ressuage n'est fournie qu'à titre indicatif.

*Tableau 15 - Liste de contrôle pour l'essai par ressuage*

<b>Qualification de l'inspecteur</b>	<input type="checkbox"/> ONGC 48.9712 Niveau 2 ou 3
<b>Procédure</b>	<input type="checkbox"/> Procédure écrite approuvée conforme à l'ASTM E165.
<b>Équipement et matériaux</b>	<input type="checkbox"/> Système d'imprégnation (fabricant et matériaux) <input type="checkbox"/> Propreté de la surface <input type="checkbox"/> Période de pénétration <input type="checkbox"/> Liquide fluorescent ou contraste de couleur <input type="checkbox"/> Méthode de nettoyage, méthode de prélèvement du liquide d'imprégnation <input type="checkbox"/> Conditions générales de visionnement <input type="checkbox"/> Étalonnage de la lumière noire, si elle est utilisée
<b>Rapports</b>	<input type="checkbox"/> Méthode <input type="checkbox"/> Fabricant et nom commercial <input type="checkbox"/> Période de pénétration du liquide d'imprégnation <input type="checkbox"/> Résultats

## 4.5 CONTRÔLE MAGNÉTOSCOPIQUE

Le contrôle magnétoscopique est utilisé pour détecter les discontinuités dans les matériaux magnétiques à la surface ou près de la surface. La méthode d'essai est fondée sur le principe que les lignes de force magnétiques, lorsqu'elles sont présentes dans les matériaux ferromagnétiques, seront déformées par une interruption de la continuité des matériaux, comme une discontinuité ou une variation dimensionnelle abrupte. Si une discontinuité d'un matériau magnétique est ouverte ou fermée vers la surface, les lignes de flux magnétique seront déformées à la surface, état appelé dispersion du flux. Si des particules magnétiques fines sont distribuées sur la zone de discontinuité en présence de dispersion du flux magnétique, elles s'accumuleront à la discontinuité et s'y maintiendront.

Il y a trois exigences essentielles pour la méthode d'essai :

1. La pièce doit être magnétisée.
2. Les particules magnétiques doivent être appliquées pendant que la pièce est magnétisée.
3. Toute collecte de particules magnétiques doit être observée et interprétée.

Un matériau ferromagnétique peut être magnétisé comme suit :

- ✓ En faisant passer un courant électrique dans le matériau.
- ✓ En plaçant le matériau dans un champ magnétique émanant d'une source externe.

Il y a trois orientations du champ magnétique qui peuvent être utilisées pour l'essai :

1. Magnétisation circulaire.
2. Magnétisation longitudinale.
3. Magnétisation localisée.

Si une discontinuité est orientée de façon parallèle aux lignes de force, elle sera essentiellement indétectable. À ce titre, la sélection de l'orientation de la magnétisation dépend de la forme de la pièce et de la position des discontinuités potentielles relativement aux lignes de force.

### 4.5.1 Qualification du personnel

Au Canada, le personnel qui effectue et interprète les essais par ressuage est accrédité par l'organisme d'accréditation de Ressources naturelles Canada (RNCAN) à la norme 48.9712 de l'ONGC. Le membre du personnel peut être accrédité aux niveaux 1, 2 ou 3.

Le personnel de niveau 1 peut observer ou aider une personne possédant les niveaux 2 ou 3 à effectuer des inspections en vertu des exigences de la spécification de soudage de la GCC. Le personnel de niveaux 2 et 3 peut rédiger les procédures et interpréter les résultats. Le personnel de niveau 3 a montré une meilleure connaissance de la méthode d'inspection et peut être appelé à effectuer de la supervision, rédiger des procédures et des techniques plus complexes et régler les interprétations litigieuses.

Chaque personne accréditée reçoit un certificat de poche qui indique sa qualification et son niveau.

[Suivez ce lien pour rechercher du personnel des END certifié par RNCAN.](#)

### 4.5.2 Procédures

Pour l'inspection des soudures, la magnétisation localisée est utilisée dans l'une ou l'autre des deux formes ci-dessous :

1. Magnétisation directe à l'aide d'électrodes c.c.
2. Magnétisation indirecte à l'aide d'une chape (c.a. ou c.c.).



<b>Électrodes c.c. ou chape c.c.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Largement utilisées pour l'examen des zones de soudure.</li> <li>✓ Les électrodes doivent être maintenues fermement sinon des arcs peuvent se former sur la plaque.</li> <li>✓ Il est nécessaire de réorienter les électrodes à environ 90 degrés pour effectuer une inspection complète</li> <li>✓ Elles sont plus sensibles que le c.a. pour la détection des discontinuités sous la surface.</li> <li>✓ Le courant monophasé à demi-onde redressée fournit une sensibilité maximale en raison de la mobilité des particules.</li> </ul>
<b>Chape c.a.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Utilisée pour repérer les discontinuités à la surface.</li> <li>✓ Seule la surface du métal est magnétisée.</li> <li>✓ Elle peut être utilisée pour inspecter les soudures lorsqu'une évaluation sous la surface n'est pas requise</li> </ul>

Les plages approximatives d'intensité du courant pour les différentes méthodes de magnétisation sont les suivantes :

**Tableau 16 - Plages d'ampérage approximatives pour différentes méthodes magnétisées**

<b>Longitudinale</b>	De 3 000 à 10 000 ampères-tours en fonction du rapport entre le diamètre de la bobine et celui de la pièce.
<b>Circulaire</b>	Magnétisation globale: De 100 à 1 000 ampères par pouce de diamètre de la pièce.
<b>Électrode</b>	De 90 à 125 ampères par pouce d'espacement de l'électrode en fonction de l'épaisseur du métal.
<b>Chape</b>	Courant suffisant pour soulever 40lb avec une chape c.c. et 10lb avec une chape c.a.

Des particules magnétiques de diverses couleurs, mobilité et luminescence peuvent être choisies pour fournir la sensibilité optimale de l'essai pour chaque situation d'essai spécifique. L'état de la surface d'essai et les types de défauts soupçonnés ont une incidence sur le type de moyen d'inspection sélectionné.

<b>Méthode à sec</b>	Particules ferromagnétiques recouvertes pour améliorer la mobilité.
	Particules teintées de différentes couleurs pour offrir un net contraste avec des arrière-plans différents.
	Particules appliquées par un distributeur de particules, un atomiseur ou un pistolet de vaporisation en un nuage à faible débit.
	Méthode à portabilité maximale et plus satisfaisante pour les surfaces rugueuses.
<b>Méthode humide</b>	Particules ferromagnétiques de plus petite taille suspendues dans un distillat de pétrole léger
	Particules disponibles en rouge ou en noir et recouvertes d'un colorant fluorescent qui devient intense sous une lumière noire (ultraviolette).
	Particules pouvant être utilisées dans un bain d'huile ou d'eau et un aérosol peut être pulvérisé sur la pièce.
	Méthode la plus appropriée pour les petits défauts de surface sur les surfaces lisses. Moins susceptible de révéler les défauts sous la surface. Les particules fluorescentes peuvent indiquer des défauts très fins et permettre une inspection rapide des surfaces irrégulières ou sombres.

Pour obtenir de plus amples renseignements sur les procédures et techniques de contrôle magnétoscopique, veuillez consulter la norme ASTM E709 sur la pratique normalisée recommandée pour l'examen de particules magnétiques et la norme ASTM E125 sur les indications de particules magnétiques sur les pièces moulées en fer.

#### 4.5.3 Critères d'acceptation

Pour l'examen de soudures à l'aide du contrôle magnétoscopique, les critères d'acceptation devraient être ceux des clauses 5.9, 12.5.4.1 et 12.5.4.4 de la norme CSA W59 pour l'acier et des clauses 6.7.7 et 6.29.2 de la norme AWS D1.6 pour l'acier inoxydable.

#### 4.5.4 Rapports d'interprétation

Un rapport d'interprétation devrait au moins contenir les renseignements ci-dessous :

1. Date à laquelle l'essai a été effectué.
2. Nom de l'organisme d'inspection.
3. Méthode et niveau de magnétisation.
4. Propriétés des agents contrastants.
5. Propriétés des particules magnétiques : couleur, taille et viscosité des particules et du liquide
6. Conditions de visionnement et dispositifs d'éclairage.
7. Référence à la fiche explicative d'une procédure ou d'une technique.
8. Nom de l'inspecteur, niveau de l'ONGC et signature.
9. Nom de l'interprète, niveau de l'ONGC et signature.
10. Le code du critère d'acceptation.
11. Numéro du rapport d'interprétation.
12. Numéro d'identification d'une pièce ou d'une soudure individuelle.
13. Géométrie et forme de la pièce, état de la surface.
14. Discontinuités déclarées, leurs emplacements, leurs longueurs individuelles et cumulatives, l'acceptabilité ou le rejet.

Une fiche explicative de la procédure ou de la technique devrait contenir les renseignements ci-dessous

1. Référence à une procédure pour les particules magnétiques.
2. Type d'équipement de magnétisation.
3. Type et intensité du courant.
4. Magnétisation continue ou résiduelle.
5. Direction(s) de la magnétisation.
6. Vérification de la sensibilité de la suspension fluorescente.
7. Étalonnage de la lumière noire, si elle est utilisée.

#### 4.5.5 Liste de contrôle de vérification pour le contrôle magnétoscopique

La liste de contrôle de vérification suivante pour le contrôle magnétoscopique n'est fournie qu'à titre indicatif.

[Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo du CWBi sur le contrôle magnétoscopique.](#)

Tableau 17 - Liste de contrôle pour le contrôle magnétoscopique

<b>Qualification de l'inspecteur</b>	<input type="checkbox"/> ONGC 48.9712 Niveau 2 ou 3
<b>Procédure</b>	<input type="checkbox"/> ASTM E709 <input type="checkbox"/> Procédure d'inspection approuvée
<b>Équipement et matériaux</b>	<input type="checkbox"/> Type d'équipement de magnétisation. <input type="checkbox"/> Type et intensité du courant <input type="checkbox"/> Magnétisation continue ou résiduelle <input type="checkbox"/> Direction(s) de la magnétisation <input type="checkbox"/> Milieu indicateur <input type="checkbox"/> Vérification de la sensibilité de la suspension fluorescente <input type="checkbox"/> Étalonnage de la lumière noire
<b>Rapports</b>	<input type="checkbox"/> Détails de la procédure <input type="checkbox"/> Résultats

### 4.6 CONTRÔLE RADIOGRAPHIQUE

La méthode la plus commune pour examiner les soudures dans les structures du navire est l'inspection radiographique. Il s'agit en partie d'avoir une preuve tangible sous la forme d'un film développé qui peut être examiné par l'inspecteur.

Le contrôle radiographique est adéquat pour mesurer la porosité, la pénétration incomplète et les inclusions de laitier. Toutefois, cette méthode d'inspection comporte quelques limites à l'égard de sa capacité à repérer l'absence de fusion et les fissures dans la paroi latérale qui est parallèle à la surface de la plaque pendant les techniques d'inspection où la source de rayonnement est placée à 90 degrés de la surface de la plaque.

Il y a essentiellement deux sources de rayonnement : les rayons gamma émis par des matériaux radioactifs dont l'iridium 192 ou le cobalt 60, et les rayons X.

Dans un cas comme dans l'autre, les rayons traversent la soudure et sont enregistrés sur un film spécial, comme un photogramme. Seules les densités relatives du matériau sont illustrées sur le film développé. Les discontinuités comme les fissures, la porosité, les inclusions de laitier et la pénétration incomplète sont indiquées par les zones sombres qui contrastent avec les zones plus claires, lesquelles illustrent le métal sain plus dense. Les inclusions de l'électrode de tungstène et les brins de la brosse métallique en acier inoxydable apparaissent toutefois plus pâles sur le film puisque ces matériaux sont plus denses que l'acier ordinaire au carbone ou l'aluminium.

La clarté du film obtenue avec les rayons X est meilleure qu'avec les rayons gamma. Les rayons X doivent être utilisés pour examiner les soudures dans l'aluminium et ils constituent la source de rayonnement de choix pour les soudures dans l'acier qui ont une épaisseur inférieure à 6 mm. Bien que les rayons X soient mieux que les rayons gamma pour toutes les épaisseurs d'acier, l'encombrement et la masse des tubes rendent leur utilisation inefficace pour la construction et la réparation des navires.

#### 4.6.1 Qualification du personnel

Au Canada, le personnel qui effectue et interprète les essais par ressuage est accrédité par l'organisme d'accréditation de Ressources naturelles Canada (RNCAN) à la norme 48.9712 de l'ONGC. Le membre du personnel peut être accrédité aux niveaux 1, 2 ou 3.

Le personnel de niveau 1 peut observer ou aider une personne possédant les niveaux 2 ou 3 à effectuer des inspections en vertu des exigences de la spécification de soudage de la GCC. Le personnel de niveaux 2 et 3 peut rédiger les procédures et interpréter les résultats. Le personnel de niveau 3 a montré une meilleure connaissance de la méthode d'inspection et peut être appelé à effectuer de la supervision, rédiger des procédures et des techniques plus complexes et régler les interprétations litigieuses.

Chaque personne accréditée reçoit un certificat de poche qui indique sa qualification.

[Suivez ce lien pour rechercher du personnel des END certifié par RNCAN.](#)

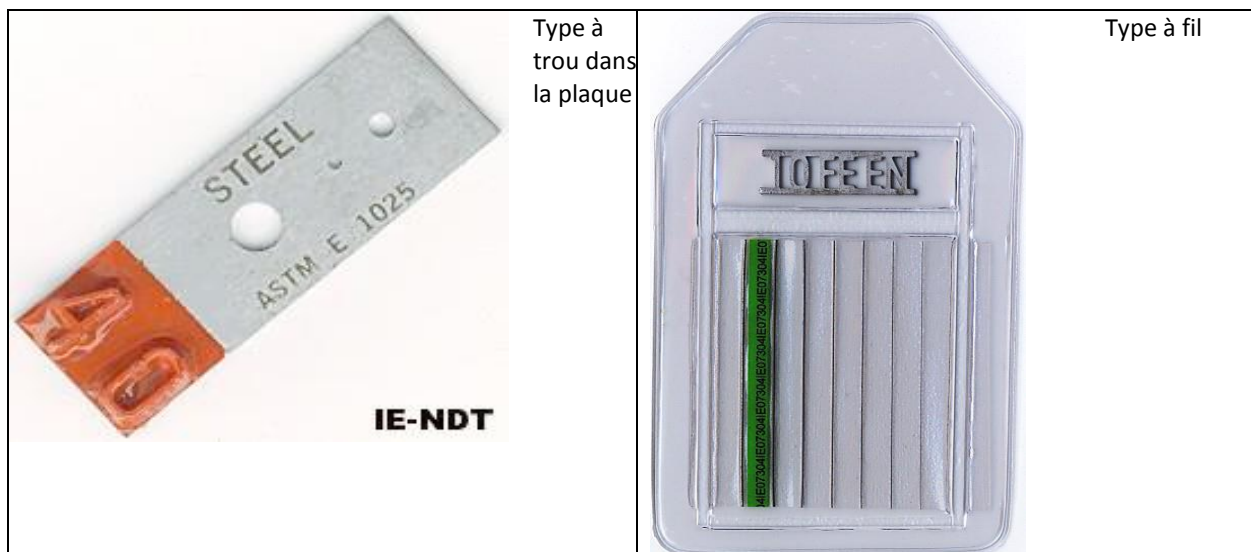
#### 4.6.2 Indicateurs de qualité d'image (pénétramètres)

Les indicateurs de qualité d'image (IQI) sont placés du côté de la source pour la pièce à examiner afin de permettre à la personne qui examine le film de mesurer la sensibilité de la technique radiographique.

La qualité de l'image radiographique peut être évaluée de trois façons :

- Netteté de l'image – habituellement, en radiographie, c'est l'inverse de la netteté, soit le flou ou le brouillage, qui est utilisé.
- Contraste de l'image – changement de densité sur un film pour un changement d'épaisseur donné du spécimen. Si un petit détail de l'image est légèrement visible, il s'agit d'une image à faible contraste; si le détail est facilement visible, il s'agit d'une image à contraste élevé.
- Bruit d'image – aux fins de radiographie sur film, il s'agit de la granulosité. En radioscopie, il y a des caractéristiques supplémentaires qui ont une incidence sur l'image.

Une bonne conception des indicateurs de qualité d'image devrait permettre de montrer les changements pour tous les facteurs ci-dessus. Quatre types d'indicateurs de qualité d'image sont utilisés, comme il est illustré ci-dessous :





**Figure 33 - Quatre types d'IQI utilisés aujourd'hui**

Les types à trou dans la plaque, à étape ou trou et à fil sont abondamment mentionnés dans plusieurs normes pour la radiographie sur film.

L'indicateur de qualité d'image à fil double n'est pas souvent utilisé pour la radiographie sur film de routine en raison de ses coûts de production élevés. Il comprend une série de paires de fils en matériau de haute densité (tungstène et platine), où chaque paire de fils d'un diamètre (d) donné est espacée d'une distance (d) donnée.

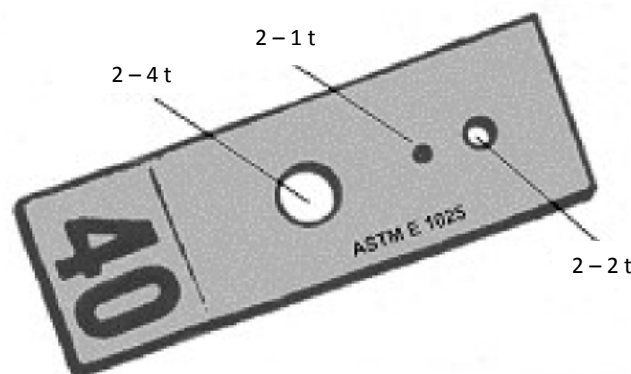
À mesure qu'une personne observe les images de ces paires de fils, elle atteint une paire où les images de fils individuels sont fusionnées et où il n'est plus possible de distinguer les deux fils. Le diamètre (d) de cette paire est une mesure du flou efficace total de l'image radiographique.

Cet indicateur de qualité d'image de type à fil double mesure uniquement le flou et est facile à utiliser. À l'heure actuelle, sa principale utilisation est de mesurer le flou total des images d'écran radioscopique (radioscopie en temps réel), où plusieurs causes de flou agissent simultanément, et dans les expériences de laboratoire. Positionnement de l'indicateur de qualité d'image pour des épaisseurs inégales

Les indicateurs de qualité d'image de type à trou dans la plaque sont couramment utilisés en Amérique du Nord, alors que le type à fil est grandement utilisé ailleurs. Les normes de soudage du CSA et de l'AWS permettent l'utilisation des indicateurs de qualité d'image à plaque ou à fil, mais c'est le type à plaque qui est le plus couramment utilisé au Canada.

Un indicateur de qualité d'image de type à trou dans la plaque est :

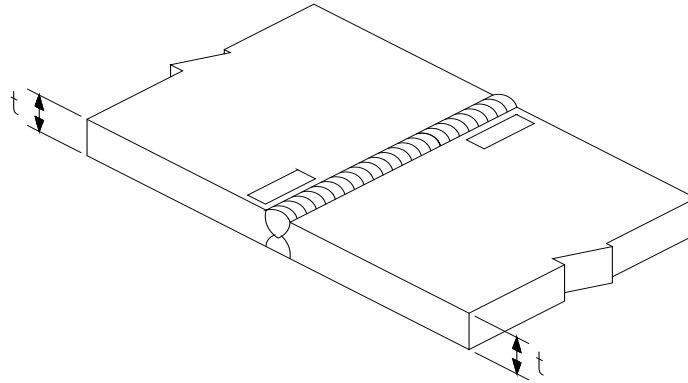
- ✓ fabriqué dans un matériau semblable à celui qui est examiné.
- ✓ conçu afin que son épaisseur corresponde à 2 % de l'épaisseur de la pièce à l'examen.
- ✓ conçu pour contenir trois trous essentiels; 2-1t, 2-2t et 2-4t, où t correspond à l'épaisseur de



l'indicateur de qualité d'image.

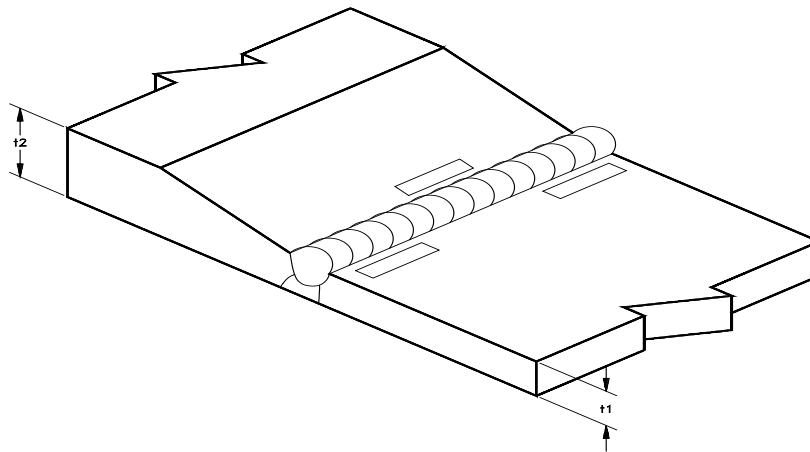
Si le trou essentiel précisé est projeté clairement sur le film, la technique a démontré une capacité à projeter une discontinuité égale au diamètre et à la profondeur du trou essentiel précisé dans l'épaisseur du matériau à l'examen.

Pour des épaisseurs égales, un indicateur de qualité d'image est placé à chaque extrémité du film, comme cela est illustré ci-dessous :



*Figure 34 - Positionnement de l'indicateur de qualité d'image pour une épaisseur égale*

Pour des épaisseurs inégales, un indicateur de qualité d'image est placé à l'extrémité plus épaisse du film, comme cela est illustré ci-dessous :



*Figure 35 - Positionnement de l'indicateur de qualité d'image pour des épaisseurs inégales*

L'indicateur de qualité d'image devrait être placé aussi près que possible du bord de la soudure sans empêcher l'interprétation de la zone d'intérêt (zone de soudure).

Si le renforcement de la soudure n'a pas été enlevé par meulage ou usinage, une cale dont l'épaisseur est égale au renforcement (deux couronnes de soudure) doit être placée sous l'indicateur de qualité d'image.



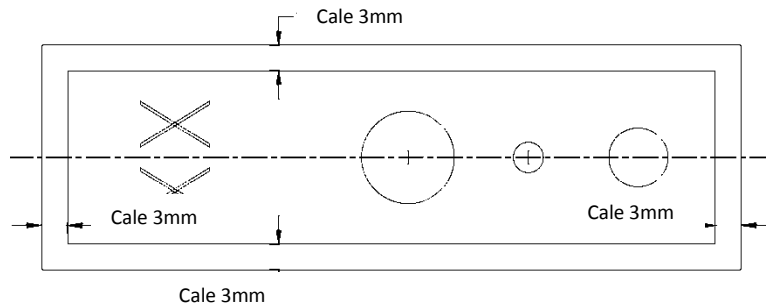


Figure 36 - Dimension et positionnement de la cale

Conformément à la spécification de soudage de la GCC, un radiogramme exposé devrait montrer le contour de l'indicateur de qualité d'image, le contour de la cale, le numéro d'identification de l'indicateur de qualité d'image et l'image du trou essentiel, comme cela est illustré ci-dessous :

Épaisseur du matériau	Épaisseur du matériau (pouces)	Numéro d'identification de l'IQI
< 6	< 0,25	10
> de 6 à 10	> 0,25 jusqu'à 0,375	12
> de 10 à 16	> de 0,375 à 0,625	15
> de 16 à 20	> de 0,625 à 0,75	17
> de 20 à 25	> 0,75 jusqu'à 1,0	20
> de 25 à 32	> 1,0 à 1,25	25
> de 32 à 38	> de à 1,50	30
> 38 à 50	> de à 2,0	35
> de 50 à 65	> de à 2,5	40
> de 65 à 75	> de à 3,0	45
Source de rayonnement	Épaisseur du matériau	Trou essentiel
Rayons X	Toutes les épaisseurs pour l'aluminium et les épaisseurs inférieures ou égales à 6 mm pour l'acier.	2-2t
Rayons gamma	Pour les épaisseurs d'acier supérieures à 6 mm et inférieures à 12,5mm à l'aide du film de catégorie 1.	2-2t
Rayons gamma	Pour les épaisseurs d'acier supérieures à 12,5 mm et inférieures à 30 mm.	2-4t
Rayons gamma	Pour toutes les épaisseurs d'acier supérieures à 30mm	2-2t

#### 4.6.3 Densités de film

La densité de film transmise par l'image radiographique du corps de l'indicateur de qualité d'image approprié et de la zone d'intérêt adjacente (zone de soudure) devrait être : de 1,8 à 3,5 pour les rayons X et de 2,0 à 3,5 pour les rayons gamma.

Si la densité des radiogrammes de la zone d'intérêt (zone de soudure) varie par plus de moins 15 % ou plus 30 % de la densité dans le corps de l'indicateur de qualité d'image pour les plages minimales/maximales de densité recommandées, un indicateur de qualité d'image supplémentaire devrait être utilisé pour chaque zone exceptionnelle, et le radiogramme devrait être repris.

#### 4.6.4 Flou géométrique

Le flou géométrique du radiogramme ne devrait pas être supérieur aux valeurs ci-dessous :

Épaisseur du matériau	Flou géométrique
-----------------------	------------------

MCGE#3324469: MATÉRIAUX DE SOUDAGE ET INSPECTION DES SOUDURES  
**Inspection de soudage**

<b>Métrique</b>	<b>Système Impérial</b>	<b>Métrique</b>	<b>Système Impérial</b>
Jusqu'à 25 mm	Jusqu'à 1 po	0,125 mm	0,005 po
de 25 à 50 mm	de 1 à 2 po	0,250 mm	0,010 po
de 50 à 75 mm	de 2 à 3 po	0,375 mm	0,015 po

#### 4.6.5 **Qualité du film développé**

L'interprétation de la zone d'intérêt (zone de soudure) inspectée ne devrait pas être entravée par l'interférence des indicateurs de qualité d'image ou des marqueurs de plomb. La zone d'intérêt devrait également être exempte d'imperfections mécaniques, chimiques ou autres afin de ne pas masquer les discontinuités potentielles se trouvant dans la zone d'intérêt. Les films qui présentent des taches d'eau, des taches, des stries, des empreintes, des lignes abruptes, des zones laiteuses, des tons brunâtres et un voile devraient être repris

#### 4.6.6 **Interprétation**

Un rapport d'interprétation devrait au moins contenir les renseignements ci-dessous :

1. Date à laquelle le radiogramme a été pris.
2. Nom de l'organisme d'inspection.
3. Référence à la fiche explicative d'une procédure ou d'une technique.
4. Nom du radiographe, niveau de l'ONGC et signature.
5. Nom de l'interprète, niveau de l'ONGC et signature.
6. Le code du critère d'acceptation.
7. Numéro du rapport d'interprétation.
8. Numéro d'identification du film individuel.
9. Discontinuités déclarées, leurs emplacements sur le film, leurs longueurs individuelles et cumulatives, l'acceptabilité ou le rejet.

Une fiche explicative de la procédure devrait contenir les renseignements ci-dessous :

1. Référence à une procédure radiographique.
2. Conception de l'indicateur de qualité d'image et numéro d'identification.
3. Type de rayonnement à la source.
4. Distance entre la source et le film.
5. Angle de rayonnement incident.
6. Conception de l'écran d'intensification, si un tel écran est utilisé.
7. Type de matériau, épaisseur, type de joint et géométrie.

#### 4.6.7 **Critères d'acceptation**

Pour l'examen des soudures à l'aide d'une inspection radiographique, les critères d'acceptation devraient être ceux adoptés pour l'inspection visuelle et présentés dans les clauses 5.9, 12.5.1 et 12.5.4.3 de la norme CSA W59 pour l'acier, dans les clauses 6.9, 6.10 et 6.29.2 de la norme AWS D1.6 pour l'acier inoxydable et dans la clause 6.0 de la norme CSA W59.2 pour l'aluminium.

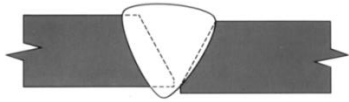
Les défauts apparaissant sur la surface du film devraient être réparés, et le radiogramme devrait être repris. Il est toujours conseillé d'effectuer un examen visuel de l'emplacement sélectionné pour l'inspection radiographique avant de prendre le radiogramme.

Les radiogrammes de référence de l'IIS pour l'acier et l'aluminium devraient être consultés s'il y a une question à l'égard de la façon dont les défauts devraient apparaître sur le film radiographique. Dans l'éventualité d'une interprétation contestée, une évaluation par un tiers de niveau 3 effectuée par l'organisme d'accréditation de RNCAN devrait être demandée.

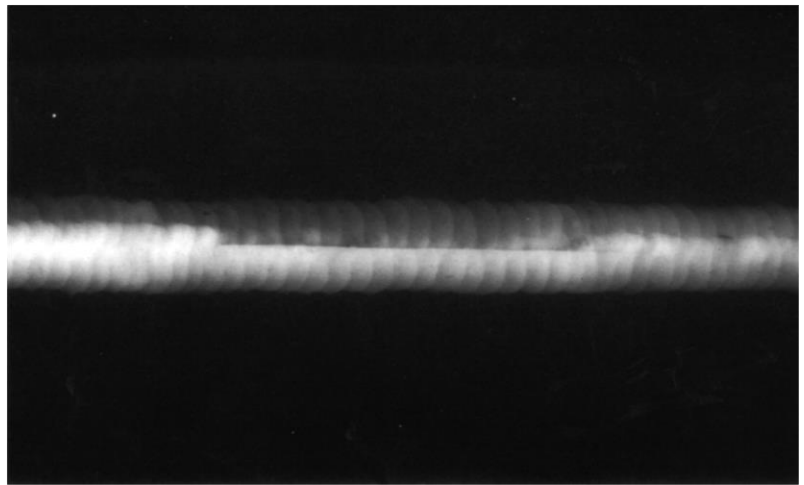
#### 4.6.8 **Apparence des défauts de soudure sur le film radiographique**

Ce qui suit illustre la façon dont certains types différents de discontinuités dans les soudures apparaîtront sur le film radiographique.

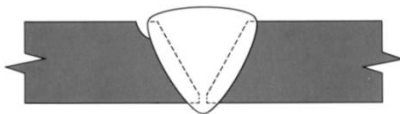
Décalage ou mésappariement  
de la  
pénétration



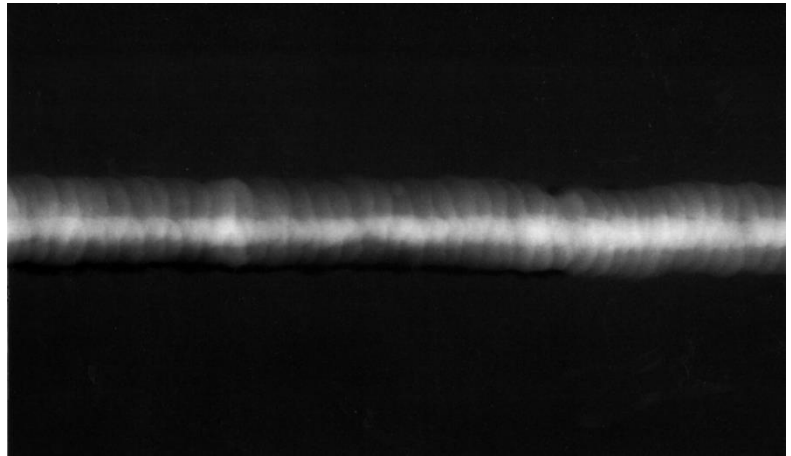
Un mauvais alignement des  
pièces à souder et un  
remplissage insuffisant du bas  
de la soudure ou « zone de la  
racine ».



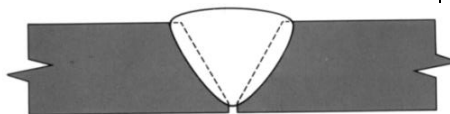
Caniveau



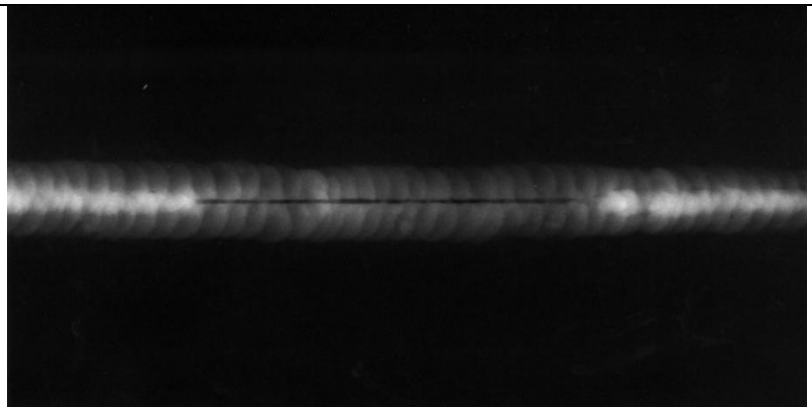
Un gougeage de la pièce à  
souder le long du bord de la  
partie supérieure ou « externe » de la  
surface de la soudure.



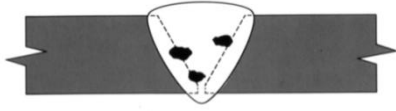
Pénétration incomplète ou  
absence de pénétration



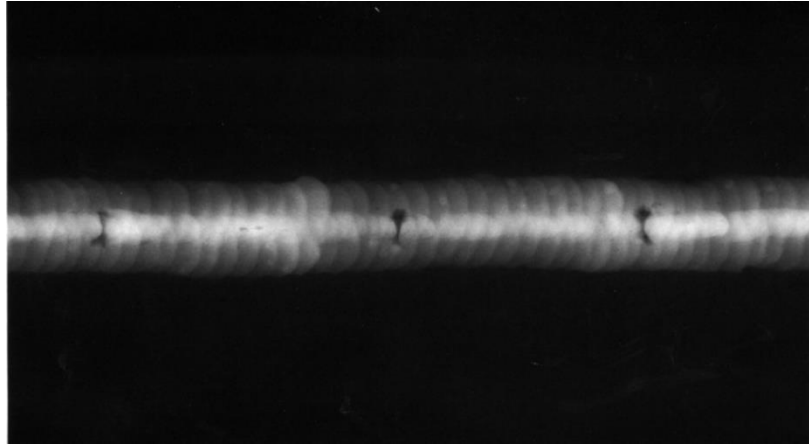
Les rebords des pièces n'ont pas  
été soudés ensemble,  
habituellement au bas des  
soudures en V sur chanfrein.



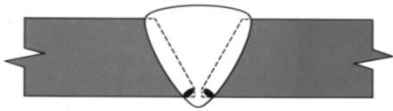
Inclusions de laitier entre les passes



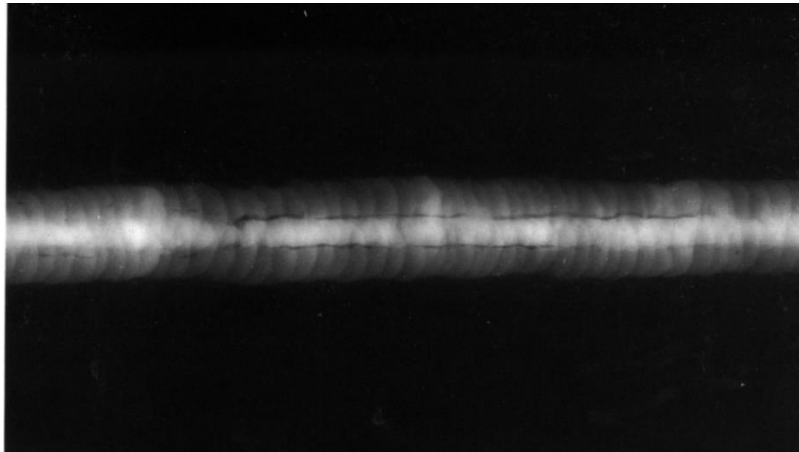
Généralement des impuretés non métalliques qui ont durci sur la surface de la soudure et qui n'ont pas été enlevées entre les passes de soudure.



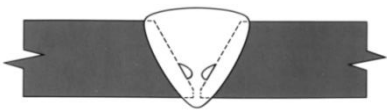
Lignes allongées d'inclusions de laitier (rails).



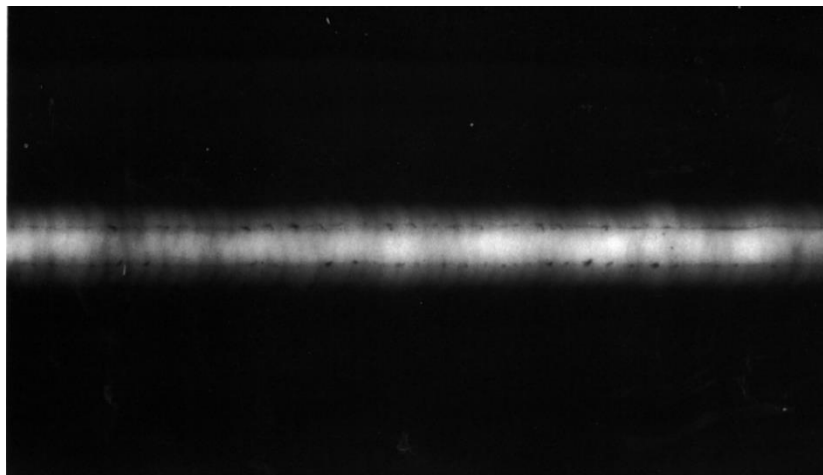
Impuretés qui ont durci sur la surface après le soudage et qui n'ont pas été enlevées entre les passes.

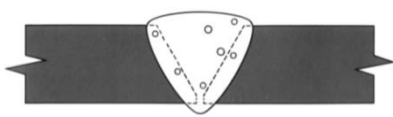
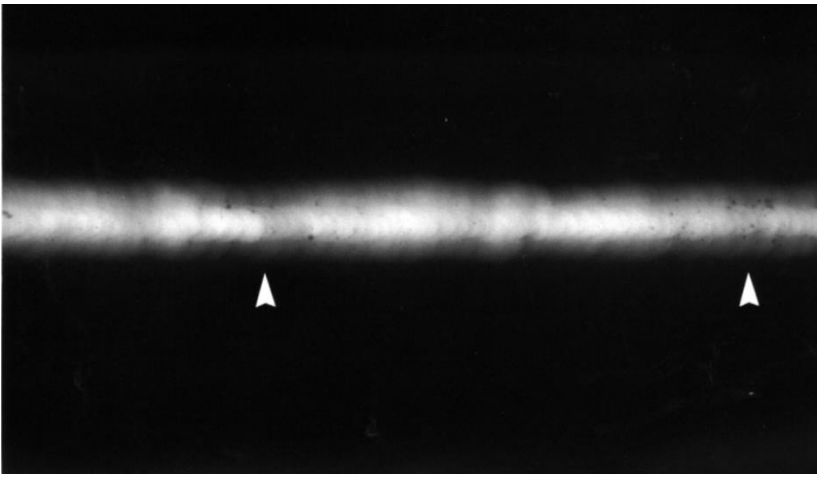
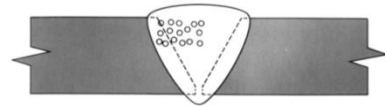
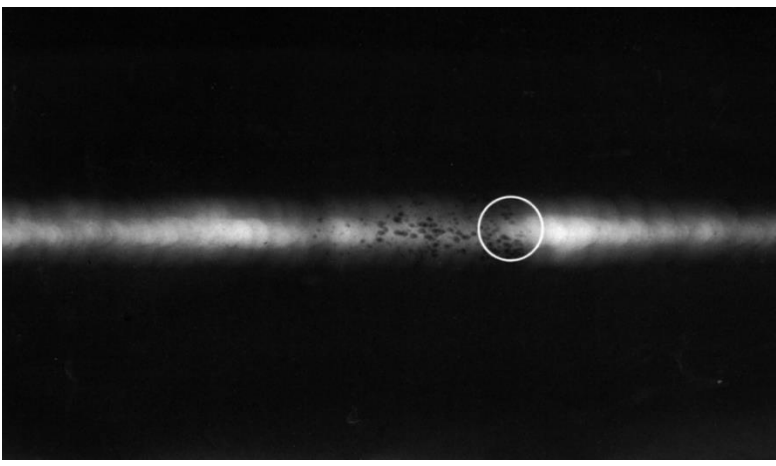
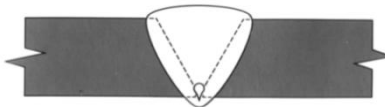
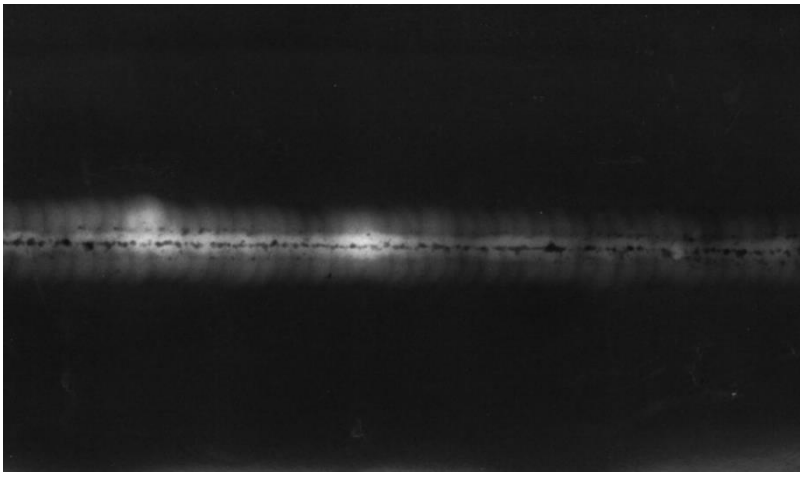


Absence de fusion sur la paroi latérale

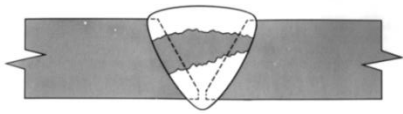


Vides allongés entre les cordons de soudure et les surfaces de joint.

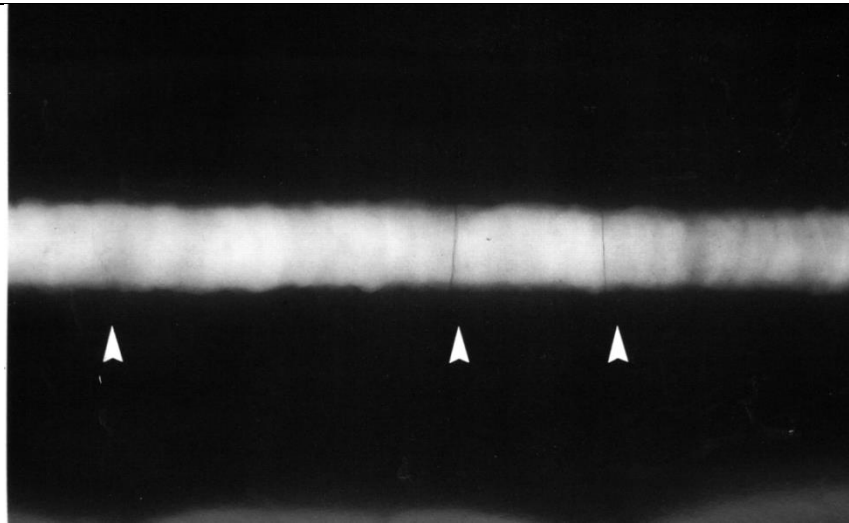


<p>Porosité dispersée</p>  <p>Vides arrondis de taille et emplacement aléatoires.</p>	
<p>Porosité regroupée</p>  <p>Vides arrondis ou légèrement allongés regroupés.</p>	
<p>Porosité alignée de la passe de fond</p>  <p>Vides arrondis et allongés au bas de la soudure et alignés le long de l'axe central de la soudure.</p>	
<p>Fissures transversales</p>	

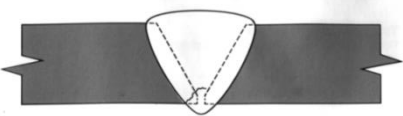




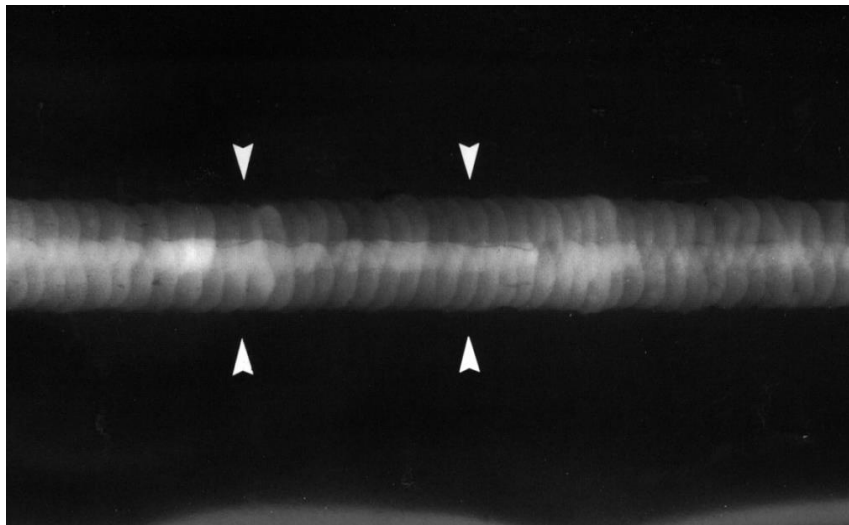
Fracture dans le métal de soudure traversant la soudure.



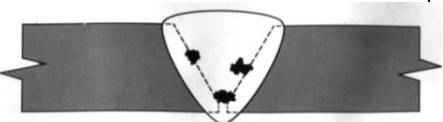
Fissure longitudinale à la racine



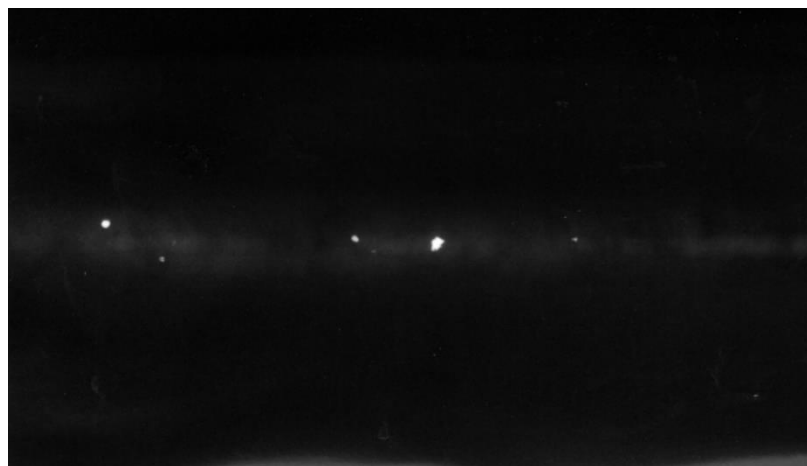
Fracture dans le métal de soudure à l'extrémité de la passe de fond..



Inclusions de tungstène



Morceaux aléatoires de tungstène fusionnés dans le métal de soudure sans être fondus.



#### 4.6.9 Gestion de la sélection des emplacements à examiner

Il n'est pas inhabituel pour les entrepreneurs de demander au représentant délégué d'identifier où les inspections seront effectuées bien avant que les travaux soient terminés. Les zones de la structure devraient être identifiées au chantier naval, mais pas nécessairement les emplacements exacts de l'examen ponctuel. Un plan type peut être comme suit :

Membres de résistance :	Bordé extérieur :	Autres :
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Quille plate et verticale</li> <li>✓ Tôles latérales du réservoir</li> <li>✓ Virures de carreau</li> <li>✓ Virure de bouchain</li> <li>✓ Limons de tôle de pont</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Intersection des abouts et joints</li> <li>✓ Abouts de blocs préfabriqués transverses</li> <li>✓ Abouts de blocs transverses à l'amarrage</li> <li>✓ Joints longitudinaux préfabriqués, sur bloc et à l'amarrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tôles encastrées et plaques de fermeture</li> <li>✓ Soudures cruciformes</li> <li>✓ Soudures finales</li> </ul>

Du nombre de radiogrammes disponibles, il est sage d'en conserver au moins 30 % pour l'examen des connexions à soudage à l'arc sous flux en poudre dans la phase de préfabrication et des connexions jugées préoccupantes pendant l'inspection visuelle en cours de processus (c.-à-d., aménagement déficient, angle inclus faible, écartements des bords excessifs, etc.).

Les résultats des essais devraient être remis au représentant délégué dans un délai convenu et raisonnable.

Si le joint complet à examiner est soumis à une contrainte élevée ou que la limite d'élasticité est égale ou supérieure à  $42 \text{ kg/mm}^2$ , les essais devraient être retardés d'au moins 48 heures. Si une discontinuité se prolonge sur une extrémité d'un film, ou les deux, il faut faire une inspection supplémentaire. Le nouveau film devrait chevaucher l'extrémité du film original où les discontinuités sont visibles.

Si les discontinuités sont continues sur la longueur du film, le chevauchement du film devrait être prélevé pour déterminer l'étendue de ces conditions. Si le chantier naval choisit d'effectuer une réparation et de ne pas prendre les radiogrammes qui se chevauchent, les films qui se chevauchent devraient être placés aux deux extrémités de la réparation terminée.

#### 4.6.10 Liste de contrôle pour l'inspection radiographique

[Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo du CWBi sur l'inspection radiographique.](#)

La liste de contrôle de vérification suivante n'est fournie qu'à titre indicatif.

**Tableau 18- Liste de contrôle pour le contrôle radiographique**

<b>Procédure</b>	<input type="checkbox"/> Procédure écrite approuvée <input type="checkbox"/> ASTM E94
<b>Qualification de l'inspecteur</b>	<input type="checkbox"/> ONGC 48.9712 Niveau II <input type="checkbox"/> Licence d'opérateur de la CCSN
<b>Équipement et matériaux</b>	<input type="checkbox"/> Source de rayonnement <input type="checkbox"/> Géométrie de l'exposition (croquis de tournage) <input type="checkbox"/> Type de film <input type="checkbox"/> Durées d'exposition <input type="checkbox"/> Identification <input type="checkbox"/> Pénétramètre visible (IQI)
<b>Rapports</b>	<input type="checkbox"/> Détails de la procédure <input type="checkbox"/> Rapport d'interprétation <input type="checkbox"/> Résultats

## 4.7 CONTRÔLE ULTRASONORE (UT)

Le contrôle ultrasonore est un moyen d'examiner les assemblages soudés dans les métaux ferreux et non ferreux, les pièces moulées, les pièces forgées, les composites, etc. Il est également couramment utilisé pour mesurer les variations de l'épaisseur provoquées par la corrosion dans la majorité des métaux.

Selon les mêmes principes qu'un sonar, une courte impulsion d'énergie est transmise par un transducteur et, lorsqu'elle est jumelée au matériel d'inspection, elle émet une onde sonore. L'onde voyage dans la matière jusqu'à ce qu'elle frappe une limite de vitesse de propagation (porosité, fissures, inclusions, etc.). Le son est ensuite réfléchi vers le transducteur où l'énergie sonore se transforme en un signal électrique et s'affiche sur un tube cathodique ou un affichage à DEL.

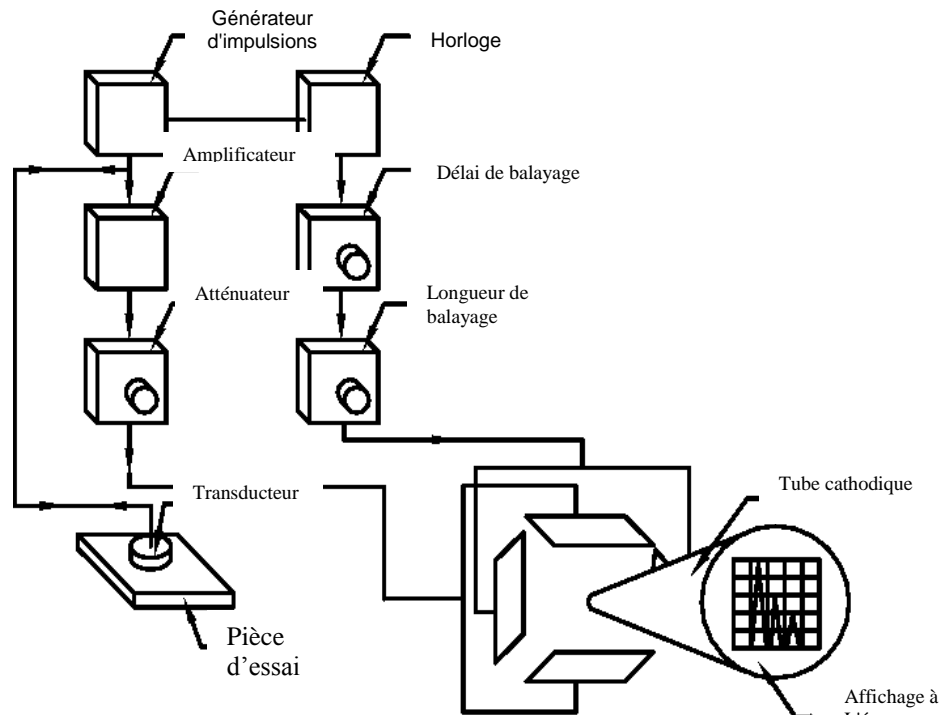


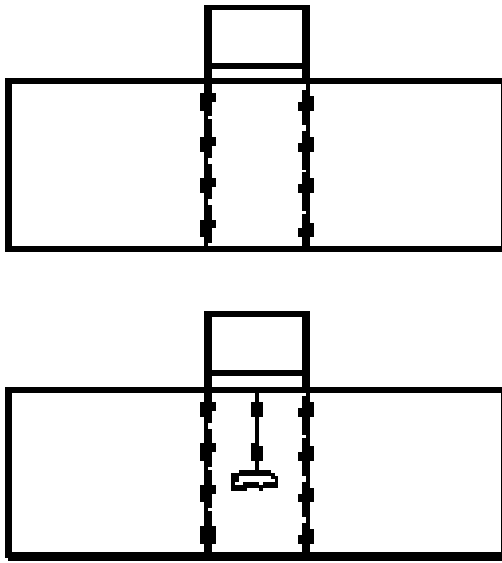
Figure 37 - Schéma fonctionnel, Détecteur de défaut à ultrasons

Les résultats sont instantanés, fiables et peuvent être stockés facilement pour consultation ultérieure. L'inspection ultrasonore se fait habituellement à l'aide d'ondes longitudinales (faisceau droit) ou d'ondes de cisaillement (faisceau angulaire). Les fréquences les plus couramment utilisées sont situées entre 1 et 5 MHz à des angles de 45 degrés, 60 degrés et 70 degrés.

### 4.7.1 Ondes longitudinales

L'onde longitudinale est la plus couramment utilisée pour examiner les métaux de base afin de détecter les délaminations, les laminations, les inclusions et l'épaisseur. Dans l'essai à l'aide d'ondes longitudinales, le son est projeté dans la pièce perpendiculairement à la surface d'entrée par une unité de recherche à faisceau droit.

Pour la détection de défaut, une rétro réflexion s'affichera sur le TRC lorsque la surface d'entrée et la surface de sortie sont parallèles. Une discontinuité présente entre les surfaces avant et arrière s'affichera également.



La lecture de l'épaisseur est en réalité la mesure du temps nécessaire pour que l'ultrason voyage de son point de départ à un point distant à partir duquel le son a été réfléchi. La durée de ce déplacement est ensuite comparée à la durée pour une épaisseur connue. L'épaisseur de l'échantillon d'essai est présumée être proportionnelle au résultat connu.

*Figure 38 - Onde longitudinale*

#### 4.7.2 Onde de cisaillement

Les discontinuités comme les fissures, la porosité, les inclusions, la pénétration incomplète, l'absence de fusion, les inclusions métalliques et non métalliques de même que les caniveaux peuvent être décelés à l'aide de la méthode à onde de cisaillement à faisceau angulaire.

Dans cette méthode, le son voyage dans la soudure à un angle précisé, et il est possible d'effectuer une inspection détaillée en déplaçant la sonde de façon transversale et longitudinale le long de la soudure.

Idéalement, seules les discontinuités devraient s'afficher sur le TRC pendant une inspection à faisceau angulaire. Cela n'est toutefois pas toujours le cas puisque les limites géométriques de la pièce à inspecter réfléchissent souvent le son de la même façon que le ferait une discontinuité. Par conséquent, il convient de faire preuve de prudence lors de l'inspection de géométries complexes, comme les soudures des supports à l'envers non subsistants.

Puisqu'il est important d'intercepter la discontinuité à près de 90 degrés, il est courant d'utiliser plus d'une unité de recherche angulaire pour inspecter une soudure donnée. Pour contrôler les soudures, il est important de commencer par sonder le métal de base adjacent avec une onde longitudinale pour vérifier s'il y a des réflecteurs lamellaires qui peuvent nuire à une inspection adéquate de la soudure.

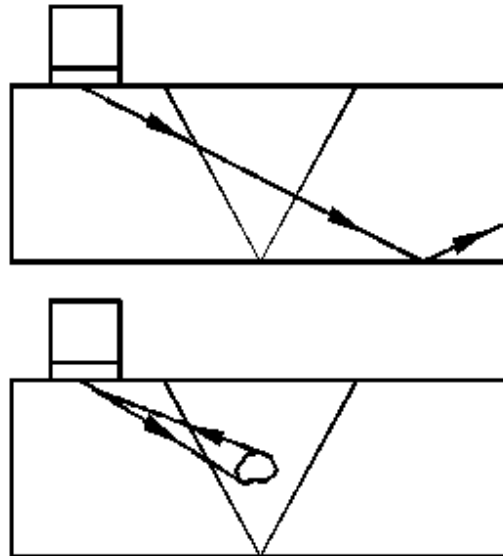


Figure 39 - Onde de cisaillement

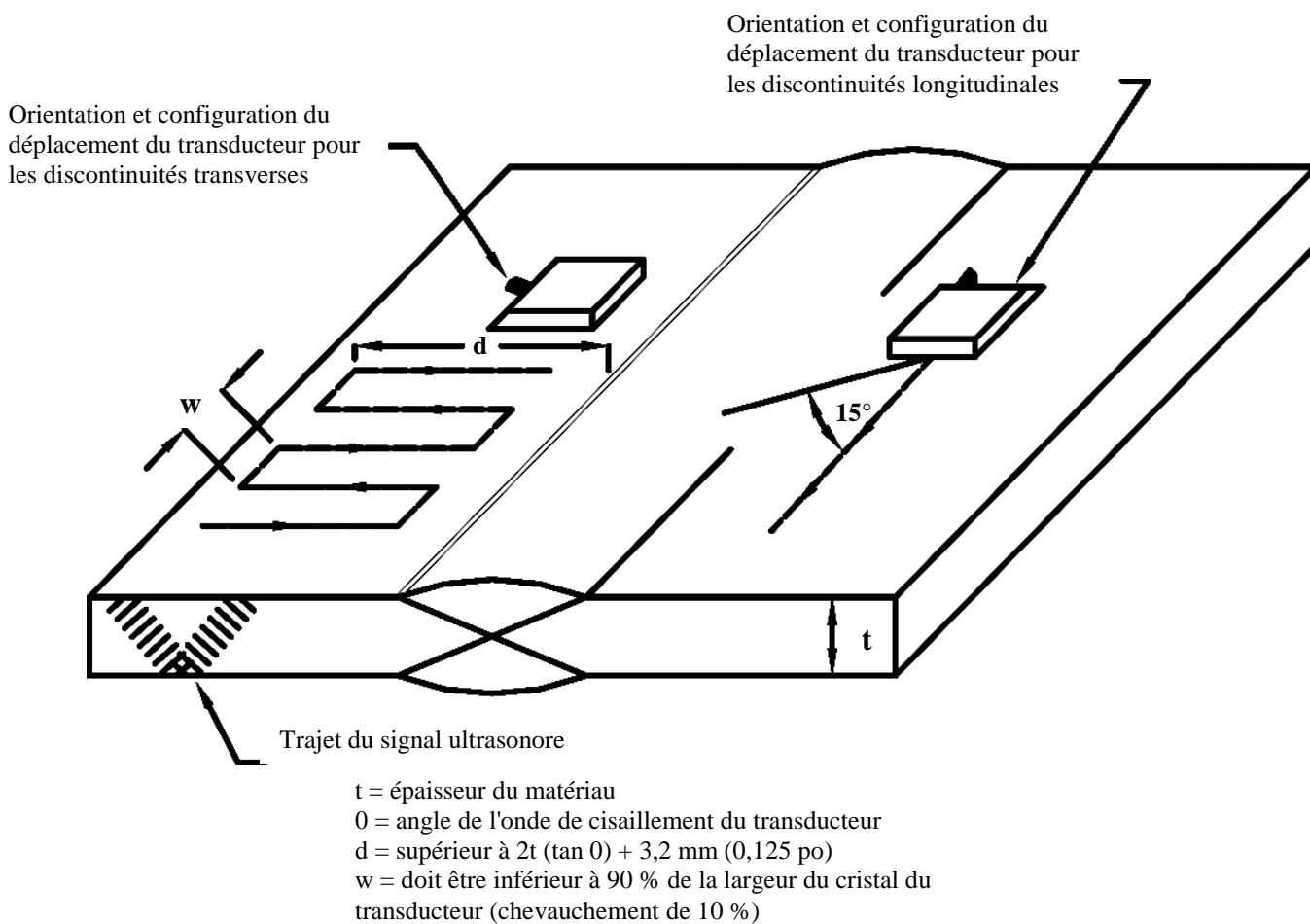


Figure 40 - Technique de balayage typique et mouvement du transducteur

### 4.7.3 Avantages

1. Plus grande précision pour déterminer la position des discontinuités internes, pour estimer leur taille et caractériser leur orientation, leur forme et leur nature. La sensibilité élevée permet de détecter de très petites discontinuités.
2. Nécessite uniquement l'accès d'un côté de la pièce à examiner.
3. Les données d'inspection sont obtenues instantanément.
4. L'équipement est portable, et son fonctionnement ne représente aucun danger pour la sécurité des travailleurs dans la zone immédiate de l'inspection.
5. Cette méthode permet l'inspection d'un volume de métal allant de la surface avant à la surface arrière de la soudure.
6. Le pouvoir pénétrant supérieur de cette méthode permet la détection des discontinuités situées profondément dans la pièce.

### 4.7.4 Inconvénients

1. La méthode d'inspection nécessite une attention particulière de la part de techniciens expérimentés et de vastes connaissances techniques pour élaborer des procédures.
2. Les pièces qui sont rugueuses, de taille irrégulière, petites ou minces, ou non homogènes sont difficiles et coûteuses à inspecter.
3. La structure interne peut empêcher l'inspection (c.-à-d. taille de grain, porosité, inclusions ou précipité finement dispersé).
4. Si une restriction d'accès permet uniquement d'effectuer l'inspection d'un seul côté, il est possible qu'un défaut plus grand en cache un plus petit, le rendant indétectable.
5. Les défauts profonds peuvent ne pas être détectés.
6. Les procédures d'étalonnage et les normes de référence sont requises pour les conditions d'essai changeantes.

### 4.7.5 Qualifications du personnel

Au Canada, le personnel qui effectue et interprète les essais par ressuage est accrédité par l'organisme d'accréditation de Ressources naturelles Canada (RNCAN) à la norme 48.9712 de l'ONGC. Le membre du personnel peut être accrédité aux niveaux 1, 2 ou 3.

Le personnel de niveau 1 peut observer ou aider une personne possédant les niveaux 2 ou 3 à effectuer des inspections en vertu des exigences de la spécification de soudage de la GCC. Le personnel de niveaux 2 et 3 peut rédiger les procédures et interpréter les résultats. Le personnel de niveau 3 a montré une meilleure connaissance de la méthode d'inspection et peut être appelé à effectuer de la supervision, rédiger des procédures et des techniques plus complexes et régler les interprétations litigieuses.

Chaque personne accréditée reçoit un certificat de poche qui indique sa qualification.  
Qualification.

[Suivez ce lien pour rechercher du personnel des END certifié par RNCAN.](#)

La vaste gamme d'applications et les nombreux défauts recherchés par le contrôle ultrasonore font en sorte qu'il est très difficile d'acquérir de l'expertise dans tous les domaines d'application de la méthode d'essai. Il arrive souvent qu'un opérateur qualifié se spécialise dans des types spécifiques d'inspection à l'aide d'ultrasons. Un opérateur doit consacrer plusieurs années à s'exercer afin d'acquérir des connaissances et devenir compétent en inspection de soudure.

#### 4.7.6 Normalisation des instruments d'essai

Il est essentiel que les résultats d'interprétation puissent être reproduits tant sur le terrain qu'en atelier. Utiliser une ou deux des normes suivantes (ASTM E164 ou E317) permettra à un opérateur d'atteindre deux objectifs importants :

1. Les caractéristiques de rendement du système d'essai complet, y compris l'unité de recherche, le milieu de couplage, les inter-connecteurs et l'instrument peuvent être évalués;
2. Les résultats d'interprétation peuvent être reproduits, ce qui permet d'effectuer les mêmes inspections à deux emplacements différents et d'obtenir les mêmes résultats.

Le milieu de couplage joue une part importante dans toute inspection ultrasonore. Lorsque des vérifications de l'étalonnage de l'équipement sont effectuées, elles devraient l'être avec le milieu de couplage prévu et dans les conditions de température observées sur le terrain. Pour ces vérifications, le transducteur d'inspection et le milieu de couplage devraient être utilisés.

#### 4.7.7 Exigences de la norme CSA W59 pour le contrôle ultrasonore des soudures sur l'acier

Le contrôle ultrasonore est une méthode appropriée pour contrôler l'acier et certaines nuances d'acier inoxydable. Cependant, cette méthode n'est pas appropriée pour les matériaux à grains grossiers et de nombreux assemblages soudés en métaux non ferreux, comme l'aluminium, en raison de leur porosité finement dispersée.

Pour les soudures effectuées sur de l'acier de construction, les exigences pour la vérification par ultrasons sont clairement mentionnées dans les clauses 7 et 8 de la norme CSA W59. Il est important de mentionner que la spécification de soudage de la GCC met en garde contre l'utilisation du contrôle ultrasonore à titre de moyen principal pour déterminer la qualité d'une soudure, à moins qu'elle soit accompagnée initialement et périodiquement par un nombre raisonnable d'examen radiographiques.

Avant d'utiliser le contrôle ultrasonore pour les examens requis, les services d'AQ et de CQ du chantier naval devraient vérifier et confirmer ce qui suit au représentant délégué :

1. La vérification par ultrasons est effectuée sur des matériaux acceptables d'une épaisseur variant de 9 mm à 200 mm.
2. La formation de l'opérateur et les pratiques de qualification sont acceptables.
3. Les résultats sont fiables et reproductibles.
4. L'équipement est approprié, étalonné et bien entretenu.
5. Les procédures d'étalonnage et d'examen sont appliquées de façon appropriée, de même que les techniques et normes d'acceptation pour les normes d'essai contractuel, comme la norme CSA W59 pour l'acier.
6. Des registres sont tenus au sujet de la nature et de la gravité des indications, de même qu'au sujet de la portée et de la quantité de réparations de soudures inacceptables.

La clause 8.2.4 de la norme CSA W59 comprend les exigences pour l'équipement de vérification par ultrasons. Un sommaire des exigences des clauses est présenté dans le tableau ci-dessous :

Clause	Sommaire des exigences relatives à l'équipement
8.2.4.1	Équipement à ultrasons capable de générer, de recevoir et d'afficher à l'écran des impulsions dans la plage de fréquences de 1 à 5 MHz.
8.2.4.2	Linéarité horizontale à $\pm 5\%$ de la plage linéaire, 90 % de la longueur de balayage présentée à l'écran pour la plus longue trajectoire sonique.



8.2.4.3	Stabilisation interne, pas de variation de la réponse $> \pm 1$ dB avec des modifications de la tension d'alimentation de 15 % ou pendant la durée de vie utile de la charge de la batterie pour l'équipement alimenté par batterie. Un signal ou une alarme de tension d'alimentation faible est nécessaire.
8.2.4.4	Un atténuateur (contrôle de gain étalonné) qui est réglable par incrément de 1 ou 2 dB sur une plage d'au moins 60 dB. Précision du contrôle de gain à 1 dB à l'aide des méthodes présentées dans la norme ASTM E317.
8.2.4.5	La plage d'affichage dynamique est telle qu'une différence d'amplitude de 1 dB est facilement décelable sur l'affichage.
8.2.4.6	Des transducteurs de l'unité de recherche carrée à faisceau droit ayant une zone active $\geq 323 \text{ mm}^2$ et $< 645 \text{ mm}^2$ dans la plage de 2 à 5 MHz capable de résoudre trois réflexions.
8.2.4.7	Les unités de recherche à faisceau angulaire peuvent être deux éléments distincts ou une unité intégrale ayant une fréquence de 2 à 2,5 MHz. Les unités peuvent être carrées ou rectangulaires de taille variable et émettre un faisceau acoustique dans la plage de $\pm 2^\circ$ des angles de $45^\circ$ , $60^\circ$ ou $70^\circ$ . Les unités de recherche doivent afficher la fréquence, l'angle de réfraction nominal et le point d'index. Consultez la norme CSA W59 pour d'autres exigences.

La clause 8.2.5 de la norme CSA W59 comprend les exigences pour les normes d'étalonnage. Un sommaire des exigences des clauses est présenté dans le tableau ci-dessous :

Clause	Normes d'étalonnage
8.2.5.1	Le bloc de référence ultrasonique de l'IIS dans l'ISO 2400 sert à la fois à l'étalonnage de la distance et de la sensibilité. Un bloc de type IIS dont les dimensions sont illustrées à la figure 8.9 de la norme CSA W59 peut être utilisé pour les unités impériales de mesure fournies si tous les autres aspects sont conformes à l'ISO 2400. D'autres blocs peuvent être utilisés si la sensibilité du niveau de référence pour l'instrument ou l'unité de recherche est équivalente à ce qui est obtenu avec un bloc de l'IIS.
8.2.5.2	Un réflecteur à écho renforcé n'est pas permis pour l'étalonnage.

La clause 8.2.6 de la norme CSA W59 comprend les exigences pour l'étalonnage de l'équipement. Un sommaire des exigences des clauses est présenté dans le tableau ci-dessous :

Clause	Étalonnage de l'équipement
8.2.6.1	L'atténuateur (contrôle de gain) doit être vérifié pour un étalonnage approprié tous les deux mois et doit répondre aux exigences de la clause 8.2.4.4 de la norme CSA W59.
8.2.6.2	Dans chacune des plages de distance utilisées, la linéarité horizontale doit être vérifiée par les techniques prescrites à la clause 8.2.4.2 de la norme CSA W59 à des intervalles précisés; la durée la plus courte entre 40 heures d'utilisation de l'instrument ou l'intervalle de deux mois.
8.2.6.3	Après 8 heures d'utilisation et à l'aide d'un bloc d'étalonnage, chaque unité de recherche à faisceau angulaire doit être vérifiée pour la planéité de la surface de contact, le point d'entrée sonore approprié et la tolérance angulaire du faisceau ( $\pm 2^\circ$ ). Les unités de recherche qui ne répondent pas aux exigences doivent être corrigées ou remplacées.
8.2.6.4	Les trous dans les blocs d'étalonnage doivent être propres et exempts de tout corps étranger et liquide qui pourraient avoir une incidence sur l'étalonnage et la répétabilité,

La clause 8.2.7 de la norme CSA W59 comprend les exigences pour l'étalonnage aux fins d'examen. Un sommaire des exigences des clauses est présenté dans le tableau ci-dessous :

Clause	Étalonnage pour examen
8.2.7.1	Étalonnage pour la sensibilité, le balayage horizontal et le réétalonnage.
8.2.7.2	Étalonnage pour l'examen à l'aide du faisceau droit.

8.2.7.3	Étalonnage pour l'examen à l'aide du faisceau angulaire.
---------	--

La clause 8.2.8 de la norme CSA W59 comprend les exigences pour la procédure d'essai. Un sommaire des exigences des clauses est présenté dans le tableau ci-dessous :

Clause	Procédure de contrôle
8.2.8.1	Numéro d'identification
8.2.8.2	État de la surface
8.2.8.3	Milieu de couplage
8.2.8.4	Évaluation fiable
8.2.8.5	Réflecteurs laminaires
8.2.8.6	Exigences d'essai du faisceau angulaire
8.2.8.7	Marquage des défauts rejetables

La clause 8.2.9 de la norme CSA W59 comprend les exigences pour les rapports. Un sommaire des exigences des clauses est présenté dans le tableau ci-dessous :

Clause	Préparation et disposition des rapports
8.2.9.1	Contenu du rapport
8.2.9.2	Avant l'acceptation
8.2.8.3	Livraison à l'auteur et responsabilité de l'entrepreneur

La clause 8.2.10 de la norme CSA W59 présente les exigences pour l'étalonnage de l'unité ultrasonore, la clause 8.2.11 présente les modèles de balayage et la clause 8.2.12 présente les systèmes ultrasonores de rechange. Un sommaire des exigences de ces clauses est présenté dans le tableau ci-dessous :

Clause	Étalonnage de l'unité ultrasonore
8.2.10.1	Mode longitudinal <ul style="list-style-type: none"> <li>8.2.10.1.1 Étalonnage de la distance</li> <li>8.2.10.1.2 Amplitude</li> <li>8.2.10.1.3 Résolution</li> </ul>
8.2.10.2	Mode de l'onde de cisaillement <ul style="list-style-type: none"> <li>8.2.10.2.1 Point d'entrée sonore</li> <li>8.2.10.2.2 Angle de la trajectoire sonique</li> </ul>
8.2.10.3	Étalonnage de la distance <ul style="list-style-type: none"> <li>8.2.10.3.1 Bloc de l'IIS</li> </ul>
8.2.10.4	Étalonnage de l'amplitude
8.2.10.5	Résolution
8.2.10.6	Distance d'approche de l'unité de recherche
8.2.11	Modèles de balayage pour la vérification par ultrasons <ul style="list-style-type: none"> <li>8.2.11.1 Pour rechercher les indications longitudinales</li> <li>8.2.11.2 Pour rechercher les indications transversales</li> </ul>
8.2.12	Systèmes ultrasonores de rechange

#### 4.7.8 Critères et rapports d'acceptation

Pour l'examen de soudures à l'aide de l'inspection ultrasonore, les critères d'acceptation devraient être ceux des clauses 5.9, 12.5.1 et 12.5.4.5 de la norme CSA W59 pour l'acier et des clauses 6

partie C et 6.29.3 de la norme AWS D1.6 pour l'acier inoxydable. La radiographie est la méthode d'inspection privilégiée pour l'aluminium.

Les défauts mentionnés dans le rapport et apparaissant à la surface devraient être réparés et un autre examen devrait être effectué après la réparation. Il est toujours conseillé d'effectuer une inspection visuelle de l'emplacement sélectionné pour la vérification par ultrasons avant de l'effectuer.

Dans l'éventualité d'une interprétation contestée, une évaluation par un tiers de niveau 3 effectuée par l'organisme d'accréditation de RNCAN devrait être demandée.

#### 4.7.9 Liste de contrôle pour le contrôle ultrasonore

- **Qualification de l'inspecteur**

La personne évaluant les résultats de l'essai devrait être accréditée par RNCAN à la norme 48.9712 de l'ONGC de niveau 2 ou 3. En vertu des exigences de la spécification de soudage de la GCC, le personnel de niveau 1 peut uniquement observer ou aider une personne possédant les niveaux 2 ou 3.

- **Procédure**

La procédure générale de contrôle ultrasonore devrait suivre les normes ASTM E164 et E317 et la norme CSA W59. L'inspecteur devrait également avoir un exemplaire de la procédure d'inspection approuvée pour le personnel de niveau 3. Les services d'AQ et de CQ devraient vérifier que l'inspecteur utilise cette procédure.

- **Équipement et matériaux**

La procédure écrite définira le type d'instrument à utiliser, la fréquence, la taille et l'angle du transducteur, la procédure d'étalonnage, la procédure de balayage, la procédure d'évaluation des indications et les niveaux d'acceptation ou de rejet en fonction des paramètres de l'instrument (% de la hauteur de l'écran ou dB).

- **Rapports**

Le rapport devrait indiquer les détails de la procédure utilisée et les résultats, habituellement classés dans la catégorie Indications à déclarer et dans la catégorie Indications à rejeter. La sensibilité de la méthode est telle que l'inspection peut révéler des indications internes qui sont inférieures au niveau de rejet. Il convient toutefois de garder une trace de leur existence pour consultation ultérieure. Ce qui suit est souhaitable :

- Numéro de coque.
- Dates des inspections ainsi que qualification du personnel et signatures.
- Emplacement exact et longueur des soudures examinées.
- Type de métal de base et épaisseur.
- Conception de joint et préparation des bords.
- Procédé de soudage et tout état inhabituel du cordon de soudure (masse, caniveau, etc.).
- Un exemplaire du rapport d'inspection visuelle devrait être joint ou au moins cité en référence.
- Norme selon laquelle l'examen est effectué.
- Référence à la procédure ou technique d'inspection utilisée.
- Caractéristiques de l'équipement – portée et résolution, forme de l'impulsion, etc.

- Caractéristiques de la sonde – fréquence, ouverture de faisceau, proximité de la zone.
- Caractéristiques du milieu de couplage – impédance acoustique.
- Étalonnage de l'équipement – procédure et blocs d'étalonnage.
- Procédure de balayage.
- Réflexions qui sont interprétées comme répondant ou non aux exigences précisées.
- Interprétation des résultats.
- Consignation, évaluation et production de rapports.

[Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo du CWBi sur l'inspection ultrasonore.](#)

**Figure 41 - Liste de contrôle pour le contrôle ultrasonore**

<b>Qualification de l'inspecteur</b>	<input type="checkbox"/> ONGC 48.9712 Niveau 2 ou 3
<b>Procédure</b>	<input type="checkbox"/> Procédure écrite approuvée <input type="checkbox"/> ASTM E164/E317 et CSA W59
<b>Équipement et matériaux</b>	<input type="checkbox"/> Type d'instrument (numérique ou analogique) <input type="checkbox"/> Fréquence, taille et angle du transducteur <input type="checkbox"/> Blocs d'étalonnage, procédure <input type="checkbox"/> Procédure de balayage <input type="checkbox"/> Procédure d'évaluation <input type="checkbox"/> Critères d'acceptation ou de rejet
<b>Rapports</b>	<input type="checkbox"/> Détails de la procédure <input type="checkbox"/> Numéros de série et détails de l'instrument et du transducteur <input type="checkbox"/> Indications À déclarer et À rejeter <input type="checkbox"/> Résultats

## Section 5 PROGRAMMES DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité (AQ) consiste à veiller au respect des instructions écrites et des procédures normales d'exploitation (PNE) au sein d'une organisation. Une entreprise peut rédiger un manuel d'AQ comprenant des structures de reddition de comptes et des directives sur la façon d'effectuer les travaux spécialisés jusqu'au niveau de l'atelier; elle peut même s'enregistrer auprès d'un organisme externe qui effectuera régulièrement des vérifications. Ces vérifications sont effectuées pour faire en sorte que les clients reçoivent toujours un niveau de qualité uniforme et pour confirmer au vérificateur que la direction et les travailleurs comprennent les procédures. Les procédures d'AQ appartiennent à l'entreprise et elles peuvent être modifiées pour tenir compte des modifications apportées à la communication, à la technologie ainsi qu'à la façon dont les processus sont exécutés, mais le manuel d'AQ doit également être modifié pour tenir compte de ces modifications.

La majorité des normes du programme d'assurance de la qualité perçoivent le soudage comme étant un processus de fabrication spécialisé qui nécessite que l'entreprise définisse des mesures de contrôle dépassant la portée des normes du programme d'assurance de la qualité. La norme ISO 3834 du programme d'assurance de la qualité récemment élaborée reconnaît le soudage comme étant un processus de fabrication important et offre des exigences d'assurance de la qualité formulées spécialement pour contrôler les opérations de soudage. Le Bureau canadien de soudage est un organisme national autorisé par l'IIS et le registraire de la norme ISO 3834 au Canada.

Le contrôle de la qualité (CQ) touche les paramètres et la mesure physique des objets. Si les travailleurs adhèrent aux processus établis, la qualité du produit final sera toujours la même (cela est souvent appelé reproductibilité). Si les tolérances ou les résultats d'un produit changent, les mesures répétées qui ont été consignées au fil du temps indiqueront où est le problème. Ces données sont appelées preuve objective.

En résumé, l'AQ touche le respect des procédures internes de l'entreprise et le CQ touche les paramètres et la collecte de la preuve objective.



## Annex A LIGNES DIRECTRICES RELATIVES À LA RÉPARATION DE SOUDURES CORRODÉES DANS LES TUYÈRES KORT

### A.1 PORTÉE

La présente Annexe s'applique seulement aux liens de fixation des aciers de nuances A, D, E, DH36 et EH36 de l'IACS aux aciers inoxydables 316. Quelle que soit la nuance d'acier, la présente Annexe ne s'applique pas aux tôles de base dont la teneur en manganèse est « supérieure à 1,25 % d'équivalent en poids ».

### A.2 ÉLECTRODES DE SOUDAGE ET PRODUITS CONSOMMABLES

Les électrodes de soudage pour les opérations de réparation doivent être composées d'acier E309 16 et d'acier E5518 C3.

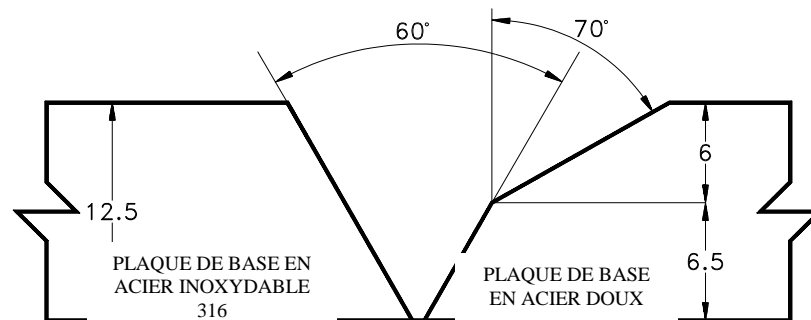
### A.3 EXAMEN DE VALIDATION DES PROCÉDURES DE SOUDAGE

Le rechargement de réparation doit être effectué dans le respect des procédures validées. Les procédures de soudage doivent être validées conformément aux exigences de la présente Clause.

L'examen doit être réalisé dans les positions à plat (1G), à la verticale (3G) et au plafond (4G). Une progression du haut vers le bas ne doit pas être autorisée. Les examens doivent être réalisés avec l'électrode de réparation qui possède le plus grand diamètre et avec un apport de chaleur représentatif (en kJ/mm).

Les tôles de base doivent être un assemblage d'acier de nuance A et d'acier inoxydable 316. Elles doivent également présenter des dimensions conformes d'au moins 500 mm de longueur et 250 mm de largeur.

Les assemblages des tôles de base doivent correspondre à la représentation sur la figure A1.



**Figure 42 - Préparation pour l'examen des procédures de soudage**

Le chanfrein doit être soudé conformément à la technique représentée sur la figure A2. La séquence des cordons doit être fidèlement respectée.



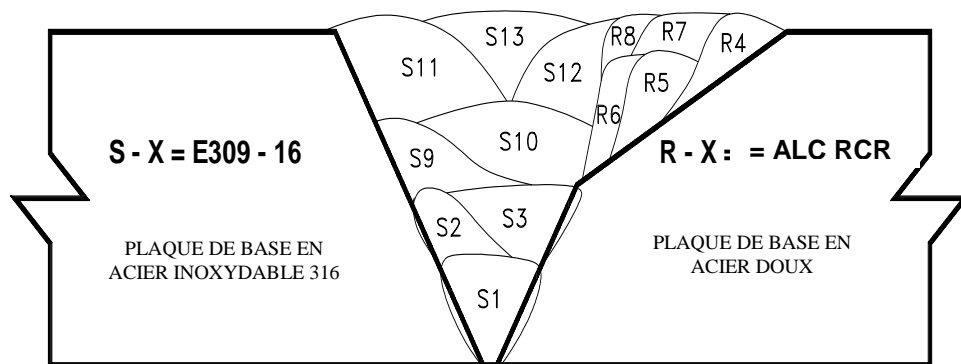


Figure 43 - Séquence des cordons pour l'examen des procédures de soudage

L'entrepreneur peut modifier le nombre de couches et de passes afin de respecter les conditions. La soudure terminée doit faire l'objet d'une inspection visuelle et radiographique. Les critères d'acceptation aux examens de validation des procédures de soudage doivent correspondre aux exigences de la norme AWS D1.6 ou CSA W47.1. Le soudeur qui réussit l'examen de validation des procédures de soudage peut être jugé qualifié selon les exigences de la clause A4.0 de la présente Annexe pour le ou les postes concernés par l'examen.

## A.4 EXAMEN D'APTITUDE DU SOUDEUR

Les opérations de réparation doivent être uniquement effectuées par des soudeurs qualifiés. Chaque examen de soudeur s'effectue avec des métaux d'apport composés d'aciers inoxydables E5518 C3 et E309 16. Les examens doivent se dérouler dans les positions requises pour les conditions réelles de réparation. Les soudures terminées doivent faire l'objet d'une inspection visuelle et radiographique. Les critères d'acceptation doivent correspondre aux exigences de la norme AWS D1.6 ou CSA W47.1.

## A.5 ÉLIMINATION DES REVÊTEMENTS PROTECTEURS

Les revêtements protecteurs doivent être éliminés de manière à dévoiler le substrat d'acier et d'acier inoxydable sur une largeur de 150 mm autour de la soudure corrodée. La technique d'élimination du revêtement protecteur, notamment un revêtement à faible coefficient de frottement et composé de résine époxy, ne doit pas rayer ou endommager la structure métallique ni les métaux de base.

## A.6 PRÉPARATION AU SOUDAGE

Tous les produits de corrosion, les rainures et les sillons doivent être lavés afin d'obtenir un profil lisse au moyen d'une méthode de gougeage arc-air, puis être meulés. Le profil terminé doit présenter une transition entre l'acier au carbone et le métal d'apport en acier inoxydable, à l'image de la figure A3.

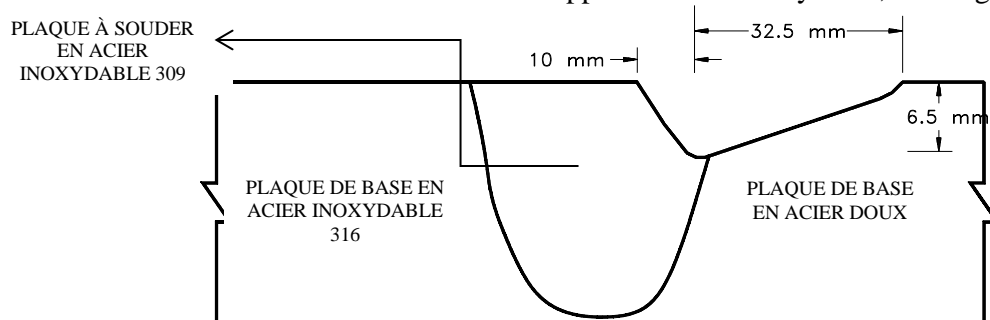
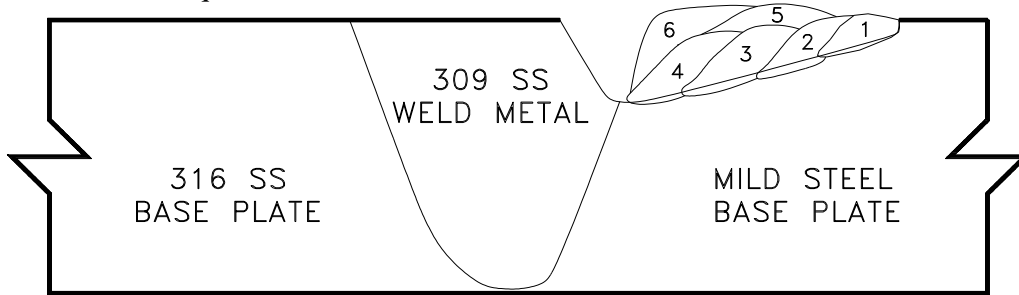


Figure 44 - Géométrie exigée pour la préparation

## A.7 TECHNIQUE

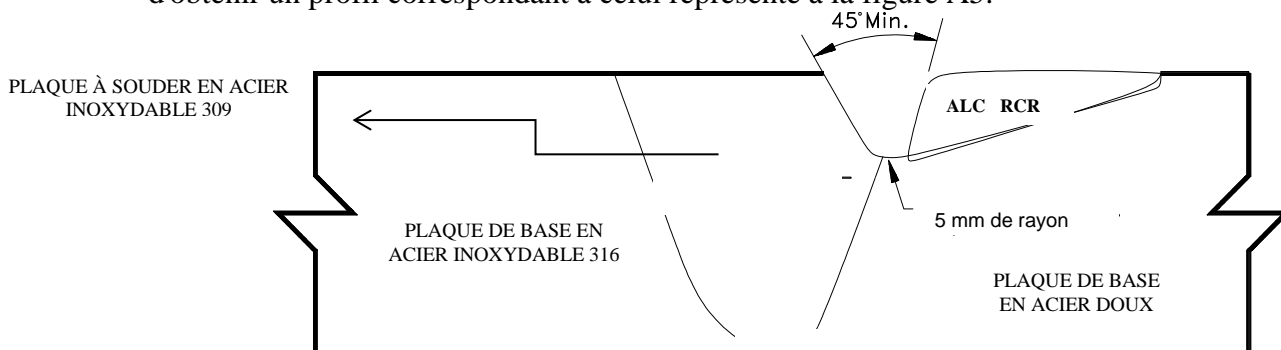
L'électrode doit mesurer 4 mm de diamètre maximum. Aucune passe ne doit être supérieure au diamètre de l'électrode de plus de 1,5 fois. La largeur d'une couche ne doit pas dépasser 5 mm. Pour

les couches de beurrage avec de l'acier E5518 C3, la séquence des cordons représentée à la figure A4 doit être utilisée dans toutes les positions de soudage afin de réduire le risque de corrosion de la zone affectée thermiquement au niveau de la transition entre le bord de la soudure et l'acier au carbone.



**Figure 45 - Séquence de soudage pour la couche de beurrage**

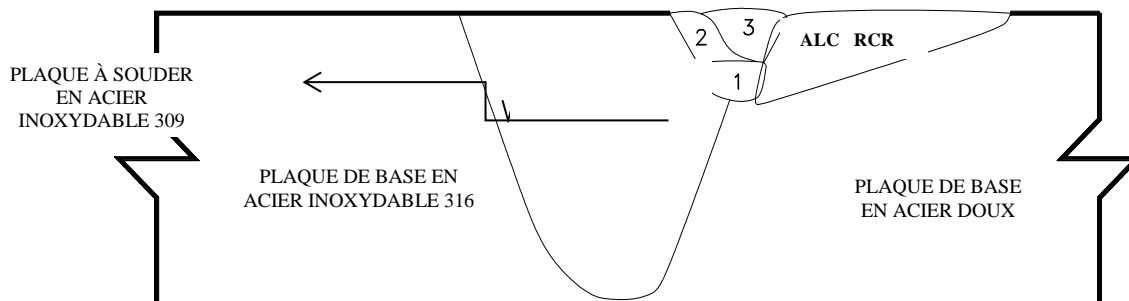
Une fois que les couches de beurrage en acier E5518 C3 sont en place, le joint doit être meulé afin d'obtenir un profil correspondant à celui représenté à la figure A5.



**Figure 46 - Préparation exigée pour la soudure**

La soudure doit être réalisée à l'aide d'électrodes

**'apport en acier inoxydable**  
noxydable E309 16 en respectant la



**Figure 47 - Séquence d'exécution des cordons pour un métal d'apport en acier inoxydable**

Les soudures terminées doivent être meulées à ras.

## A.8 EXIGENCES RELATIVES À L'INSPECTION

Toutes les soudures doivent être examinées visuellement sur toute leur longueur afin de vérifier s'il existe des caniveaux, des profils et des discontinuités ouverts sur la surface. Les critères d'acceptation doivent être conformes aux exigences de la norme AWS D1.6 ou CSA W59. Les caniveaux dont les dimensions ne dépassent pas 1 mm de profondeur doivent être soigneusement réparés en les meulant à un profil adapté aux fins de l'amélioration de la tolérance à la fatigue qui consiste à lisser la surface dans le matériau environnant sans interruption. Les caniveaux qui dépassent 1 mm de profondeur et qui présentent d'autres conditions inacceptables doivent être réparés par soudage. Après le soudage de réparation, des

cordons de trempage doivent être de nouveau exécutés et le profil produit doit être meulé à fleur de la surface. Les zones réparées par soudage doivent faire l'objet d'une inspection visuelle et d'un essai par ressuage sur toute leur longueur.

## Annex B RÉPARATION DES DOMMAGES DUS AU FLAMBEMENT SANS PRÉCHAUFFAGE

### B.1 PORTÉE

La présente annexe offre une orientation pour la réparation des dommages dus au flambement des raidisseurs fixés au bordé des navires naviguant dans les glaces. La présente annexe s'applique à toutes les soudures d'angle qui relient les raidisseurs au bordé pour les réparations effectuées au-dessus et en dessous de la ligne de flottaison sans préchauffage, lorsque la température ambiante est supérieure à -20 °C.

### B.2 LIMITATIONS D'USAGES

Les dispositions de la présente annexe ne s'appliquent pas lorsque la température ambiante est inférieure à -20 °C. Les dispositions de la présente annexe s'appliquent à des épaisseurs de bordé extérieur en acier égales ou supérieures à 12,5 mm.

Il faut connaître les propriétés chimiques de la coque et du bordé extérieur de remplacement du navire. La présente annexe ne s'applique pas au bordé extérieur du navire dont l'équivalent en carbone est supérieur à 0,5 (se reporter au tableau B1), aux aciers trempés et revenus ou aux aciers produits par laminage thermomécanique.

**Tableau B1** *Équivalent en carbone.*

$$\text{Équivalent en carbone (CE)} = \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

La présente annexe ne s'applique pas aux soudures sur chanfrein du bordé extérieur.

Toutes les soudures et les soudures par points doivent être effectuées à l'aide du processus de soudage à l'arc de l'acier avec électrode enrobée (SMAW) et uniquement à l'aide d'électrodes approuvées à la clause B4 de la présente annexe.

### B.3 EXIGENCES CONCERNANT LE PERSONNEL

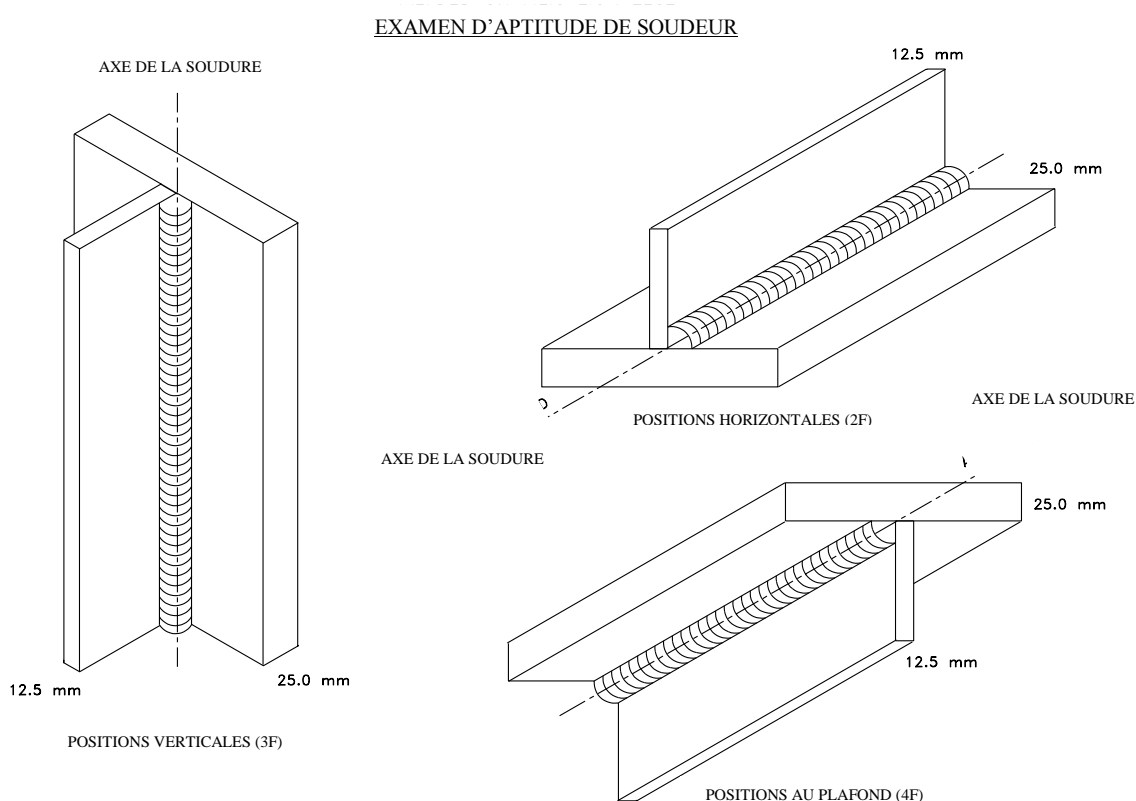
Tous les soudeurs doivent posséder une certification à jour du bureau canadien de soudage selon les exigences de la norme CSA W47.1 en matière de soudage à l'arc de l'acier avec électrode enrobée F4 dans toutes les positions de soudage. De plus, la personne doit démontrer au représentant délégué qu'elle est capable de déposer des soudures d'angle à passe simple acceptables dans les positions de soudage décrites dans le tableau B2.

**Tableau B2 - Dimensions de la soudure d'angle à passe simple**

Position	Dimensions de la soudure d'angle (mm)
Horizontale	8
Verticale	8
Au plafond	6

Les critères d'assemblage d'épreuve, d'exigences et d'acceptation de l'examen d'aptitude de soudeur doivent être conformes à la description de la figure B1. Les électrodes de soudage doivent correspondre à celles indiquées dans la clause B4 de la présente annexe ou l'équivalent.

Figure 48 - Positions de soudage de l'examen d'aptitude



Exigences de l'examen d'aptitude de soudeur

**Conditions de l'examen**

- 1) Toutes les soudures doivent être déposées à l'aide d'une électrode de 4 mm de diamètre.
- 2) Le type d'électrode doit être approuvé (se reporter au tableau B3).
- 3) La longueur de la soudure de l'examen doit être de 500 mm.
- 4) Les soudures d'examen produites dans chaque position doivent comprendre un emplacement d'arrêt et un emplacement de reprise.
- 5) Les dimensions minimales de la soudure de l'examen doivent être de 6 mm pour la position 4F et de 8 mm pour les positions 2F et 3 F.
- 6) Les caractéristiques de sortie de la source d'alimentation doivent être semblables à celles prévues pour les réparations.

**Critères d'acceptation**

- Les longueurs des côtés doivent correspondre au minimum défini pour la position avec une tolérance de + 2 mm seulement.
- Les profils de soudure doivent satisfaire aux exigences de la norme CSA W59.
- La profondeur maximale permise du caniveau est de 0,5 mm.
- Les soudures comprenant des emplacements de départ et de reprise doivent être exemptes de porosité visible.
- Deux coupes macros doivent être pratiquées dans les zones sélectionnées par le représentant délégué. Les coupes macros doivent présenter une fusion complète jusqu'à la racine et satisfaire aux exigences de la norme CSA W59.

## B.4 ÉQUIPEMENT ET MATÉRIAUX

La présente annexe ne s'applique pas au bordé du navire dont l'équivalent en carbone est supérieur à 0,5 (se reporter au tableau B1), aux aciers trempés et revenus ou aux aciers produits par laminage thermomécanique.

L'équivalent en carbone du bordé de remplacement ne doit pas dépasser 0,4.

Il faut connaître les propriétés chimiques du bordé qui doit être soudé. Une analyse chimique de l'acier de remplacement et du bordé extérieur du navire doit être mise à la disposition des représentants délégués.

### Réchauffeurs d'air

Les réchauffeurs d'air forcé doivent être utilisés pour élever la température de l'air ambiant du compartiment à au moins 10 °C.

### Électrodes de soudage

Seules des électrodes enrobées de soudage à l'arc approuvées doivent être utilisées pour toutes les soudures, notamment les soudures par points. Le diamètre minimal des électrodes doit être de 4 mm. Les électrodes approuvées sont précisées dans le tableau B3.

*Tableau 19 - Produits consommables de soudage à l'arc avec électrode enrobée approuvés*

Fabricant d'électrodes	Marque de commerce	Classifié	Diamètre minimal
Metrode	Ultramild	E4318 (AWS E6018)	4 mm

### Four d'entreposage des électrodes

Toutes les électrodes doivent être entreposées à proximité immédiate de la réparation dans des fours électriques. Il faut utiliser des porte-électrodes portatifs pour transporter les électrodes des fours électriques jusqu'à l'emplacement de réparation.

### Indicateur de température

La température des aciers à souder doit être constamment surveillée par une sonde de température de surface appropriée qui enregistre les températures inférieures à -20°C et dont la précision est de  $\pm 2$  °C.

### Chalumeau chauffeur (pour l'élimination de l'humidité)

Bien que la présente annexe ne traite pas de l'utilisation du préchauffage avant le soudage, un chalumeau chauffeur muni d'une rosette de préchauffage est nécessaire afin d'éliminer l'humidité, la graisse et les autres sources d'hydrogène des surfaces en acier. Les buses conçues pour la coupe ne doivent pas être utilisées pour le préchauffage.

## B.5 QUALITÉ D'EXÉCUTION ET PROCÉDURES

### B.5.1 Élimination du matériau endommagé

Le matériau endommagé qu'il faut remplacer doit être éliminé par oxycoupage et meulage. Il faut prendre particulièrement soin de ne pas marquer ou endommager le bordé. Le gougeage arc-air ne doit pas être utilisé sans l'approbation du représentant délégué.

## **B.5.2 Préparation des bords en vue du soudage**

Toutes les surfaces à souder doivent être nettoyées à fond afin d'éliminer tout corps étranger à une distance d'au moins 50 mm de chaque côté du bord de la soudure. La pellicule de peinture doit être entièrement décapée des surfaces à souder. Les bords qui doivent être soudés doivent être adoucis à la meule afin d'éliminer toutes les encoches et l'oxydation de surface.

## **B.5.3 Entreposage et conditionnement des électrodes**

Les électrodes doivent être fournies dans les contenants approuvés du fabricant. Lorsque le contenant montre des signes de dommages, toutes les électrodes doivent être mises au rebut.

Les électrodes doivent être entreposées dans un four électrique réglé à une température d'au moins 125 °C. Le four doit être préchauffé pendant au moins 30 minutes avant de recevoir les électrodes provenant des contenants du fabricant.

Les électrodes doivent être placées dans le four électrique immédiatement après avoir rompu le sceau du contenant.

Au moment de transférer les électrodes du four aux contenants portatifs, les électrodes doivent être manipulées pour que leur revêtement ne soit pas contaminé par de l'huile, de la saleté, de la graisse, de l'humidité ou toute autre substance.

L'entreposage des électrodes avec l'extrémité nue placée à l'ouverture du four ou du porte-électrode permet de s'assurer de l'absence de contamination provenant de gants souillés. L'extrémité de l'électrode ne doit pas être manipulée avec des gants souillés ou humides.

Les électrodes doivent être retirées du four, une à la fois, chaque fois en refermant le couvercle.

## **B.5.4 Aménagement et assemblage**

Les pièces à souder doivent être alignées et maintenues en place pour le soudage afin que l'écart maximal ne dépasse pas 2 mm.

Les membres doivent être alignés et maintenus pour le soudage au moyen de boulons, de pinces, de cales, de contrefiches ou d'autres dispositifs approuvés.

Il ne faut pas retirer les dispositifs d'alignement des raidisseurs alignés de force avant que toutes les réparations soient terminées et que la zone soudée ait refroidi à la température ambiante.

Lorsque des accessoires sont ajoutés ou que des soudures temporaires sont effectuées sur la coque du navire, ces soudures doivent être appliquées conformément aux exigences de la présente annexe. Les soudures temporaires effectuées sur le bordé extérieur doivent être adoucies à la meule après le retrait et doivent être inspectées par contrôle magnétoscopique. Les réparations doivent être effectuées conformément aux exigences de la présente annexe.

## **B.5.5 Dimensions minimales des soudures d'angle**

Tous les cordons de soudures d'angles appliqués doivent mesurer au moins 6 mm. Pour les soudures horizontales et verticales, une soudure d'angle à passe simple d'au moins 8 mm est souhaitable et doit être stipulée dans la procédure de soudage.

L'oscillation et les autres moyens de manipulation de l'arc sont permis, cependant, la taille maximale de soudure d'angle à passe simple ne doit pas dépasser 10 mm.

Pour les soudures d'angle à passes multiples importantes, les passes finales sur la dernière couche doivent progresser du bordé extérieur vers le raidisseur en suivant une séquence de cordon de trempage.



## **B.5.6 Paramètres de soudage**

Tous les paramètres de soudage doivent correspondre aux paramètres utilisés dans l'examen d'aptitude de soudeur (se reporter à la clause H3). Ces paramètres doivent être consignés sur une fiche de donnée de soudage et être approuvés par le représentant délégué. La fiche de données de soudage doit être disponible sur place à des fins de référence.

Pendant le soudage, l'objectif est d'appliquer une quantité définie d'énergie dans le joint en déposant de gros cordons de soudure d'angle afin de contrôler le taux de refroidissement de la soudure. La taille des électrodes et l'intensité de soudage doivent, par conséquent, être portées au maximum tout en permettant le dépôt de la soudure d'angle sans encoche, caniveau ou profil indésirable. L'apport minimal de chaleur pour toutes les soudures doit correspondre à 2 kJ/mm

## **B.6 INSPECTION**

### **B.6.1 Inspection visuelle**

Toutes les soudures d'angle doivent être inspectées visuellement à 100 %, conformément aux méthodes indiquées dans la section V de l'ASME.

### **B.6.2 Contrôle magnétoscopique**

Tous les emplacements des soudures d'angle permanentes et des soudures temporaires doivent être entièrement inspectés afin de vérifier s'il existe des fissures à l'aide des méthodes de contrôle magnétoscopique pas moins de 72 heures après avoir terminé les réparations. Les procédures et les techniques d'inspection par contrôle magnétoscopique doivent respecter les méthodes indiquées dans la norme E709 de l'ASTM.

## **B.7 CRITÈRES D'ACCEPTATION**

Les qualifications et les critères d'acceptation du personnel pour les méthodes de contrôle magnétoscopique doivent être conformes aux normes AWS D1.6 ou CSA W59.

## **B.8 CORRECTIONS ET RÉPARATIONS**

Les caniveaux ou les profils de soudure indésirables doivent être corrigés à l'aide de petites meuleuses portatives. Les corrections doivent être strictement contrôlées. Les zones qui présentent des défauts linéaires comme des fissures et une fusion incomplète doivent être soigneusement réparées au moyen de méthodes de soudage de réparation approuvées par le représentant délégué.



## Annex C LISTE IMPRIMÉE DES HYPERLIENS

### SECTION 1.0 MATÉRIAUX

1.2.1	<a href="http://www.iacs.org.uk/">International Association of Classification Societies</a>	<a href="http://www.iacs.org.uk/">http://www.iacs.org.uk/</a>
	<a href="http://www.iacs.org.uk/publications/publications.aspx?pageid=4&amp;sectionid=5">Lignes directrices et de méthodes recommandées</a> <a href="http://www.iacs.org.uk/publications/publications.aspx?pageid=4&amp;sectionid=3">UR W – Exigences en matière de matériaux et de soudage</a>	
1.2.2	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=9l7JqonyoKA">Cliquez ici pour visionner une vidéo de U.S. Steel sur la fabrication de l'acier.</a>	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=9l7JqonyoKA">http://www.youtube.com/watch?v=9l7JqonyoKA</a>
1.3.3	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=UUpdEdULxu8&amp;list=PLadeEB9Jmj0KJ0g1WkHRY6KRg0U1HCa3b">Vidéo sur l'affinage de l'alumine</a>	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=UUpdEdULxu8&amp;list=PLadeEB9Jmj0KJ0g1WkHRY6KRg0U1HCa3b">http://www.youtube.com/watch?v=UUpdEdULxu8&amp;list=PLadeEB9Jmj0KJ0g1WkHRY6KRg0U1HCa3b</a>
	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=zDDbVnIDJfw&amp;list=PLadeEB9Jmj0KJ0g1WkHRY6KRg0U1HCa3b">Vidéo sur la fusion de l'aluminium</a>	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=zDDbVnIDJfw&amp;list=PLadeEB9Jmj0KJ0g1WkHRY6KRg0U1HCa3b">http://www.youtube.com/watch?v=zDDbVnIDJfw&amp;list=PLadeEB9Jmj0KJ0g1WkHRY6KRg0U1HCa3b</a>
	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=HfY-B6emEz8">Vidéo sur le processus de laminage de l'aluminium</a>	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=HfY-B6emEz8">http://www.youtube.com/watch?v=HfY-B6emEz8</a>
	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=aiDg4M3cWUI">Vidéo sur le processus de coulage de billettes d'extrusion en aluminium</a>	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=aiDg4M3cWUI">http://www.youtube.com/watch?v=aiDg4M3cWUI</a>
	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=s99aSFkV2aY">Vidéo sur le processus d'extrusion de l'aluminium</a>	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=s99aSFkV2aY">http://www.youtube.com/watch?v=s99aSFkV2aY</a>
1.4.1	<a href="http://www.ssina.com/about/index.html">Site Web de la Specialty Steel Industry of North America Association</a>	<a href="http://www.ssina.com/about/index.html">http://www.ssina.com/about/index.html</a>
1.4.2	<a href="http://www.ssina.com/overview/sheetstrip.html">Applications courantes</a>	<a href="http://www.ssina.com/overview/sheetstrip.html">http://www.ssina.com/overview/sheetstrip.html</a>
1.4.3		
1.4.7	<a href="http://www.ssina.com/composition/physical.html">Propriétés physiques</a>	<a href="http://www.ssina.com/composition/physical.html">http://www.ssina.com/composition/physical.html</a>
	<a href="http://www.ssina.com/composition/chemical.html">Composition chimique</a>	<a href="http://www.ssina.com/composition/chemical.html">http://www.ssina.com/composition/chemical.html</a>
	<a href="http://www.ssina.com/shopfabrication/stainless.html">Fabrication</a>	<a href="http://www.ssina.com/shopfabrication/stainless.html">http://www.ssina.com/shopfabrication/stainless.html</a>
	<a href="http://www.ssina.com/composition/mechanical.html">Propriétés mécaniques</a>	<a href="http://www.ssina.com/composition/mechanical.html">http://www.ssina.com/composition/mechanical.html</a>
	<a href="http://www.ssina.com/composition/temperature.html">Propriétés à haute température</a>	<a href="http://www.ssina.com/composition/temperature.html">http://www.ssina.com/composition/temperature.html</a>
	<a href="http://www.ssina.com/lifecycle/index.html">Établissement du coût du cycle de vie</a>	<a href="http://www.ssina.com/lifecycle/index.html">http://www.ssina.com/lifecycle/index.html</a>
1.4.7 Suite	<a href="http://www.ssina.com/publications/fabricat.html">Guide de fabrication d'acier inoxydable</a>	<a href="http://www.ssina.com/publications/fabricat.html">http://www.ssina.com/publications/fabricat.html</a>
	<a href="http://www.ssina.com/publications/design.html">« Design Guideline for the Selection and Use of Stainless Steel »</a> (lignes directrices en matière de conception pour la sélection et l'utilisation de l'acier inoxydable).	<a href="http://www.ssina.com/publications/design.html">http://www.ssina.com/publications/design.html</a>
	<a href="http://www.nickelinstitute.org/TechnicalLiterature/Other%20Series/PracticalGuidelinesForTheFabricationofHighPerformanceAusteniticStainlessSteels_16001_.aspx">Practical Guidelines for the Fabrication of High Performance Austenitic Stainless Steels (Directives pratiques relatives à la fabrication d'aciers inoxydables austénitiques à haute performance)</a>	<a href="http://www.nickelinstitute.org/TechnicalLiterature/Other%20Series/PracticalGuidelinesForTheFabricationofHighPerformanceAusteniticStainlessSteels_16001_.aspx">http://www.nickelinstitute.org/TechnicalLiterature/Other%20Series/PracticalGuidelinesForTheFabricationofHighPerformanceAusteniticStainlessSteels_16001_.aspx</a>
	<a href="http://www.worldstainless.org/publications/brochures_and_posters">The Ferritic solution (La solution ferritique)</a>	<a href="http://www.worldstainless.org/publications/brochures_and_posters">http://www.worldstainless.org/publications/brochures_and_posters</a>
	<a href="http://www.imoa.info/molybdenum_uses/moly_grade_stainless_steels/duplex_stainless_steel.php">Guide pratique pour le travail des aciers inoxydables duplex</a>	<a href="http://www.imoa.info/molybdenum_uses/moly_grade_stainless_steels/duplex_stainless_steel.php">http://www.imoa.info/molybdenum_uses/moly_grade_stainless_steels/duplex_stainless_steel.php</a>
	<a href="http://www.nickelinstitute.org/en/TechnicalLiterature/Other%20Series/StainlessSteelInWaters-GalvanicCorrosionanditsPrevention.aspx">Galvanic Corrosion and it's Prevention (La corrosion galvanique et les mesures de prévention)</a>	<a href="http://www.nickelinstitute.org/en/TechnicalLiterature/Other%20Series/StainlessSteelInWaters-GalvanicCorrosionanditsPrevention.aspx">http://www.nickelinstitute.org/en/TechnicalLiterature/Other%20Series/StainlessSteelInWaters-GalvanicCorrosionanditsPrevention.aspx</a>
	<a href="http://www.ssina.com/about/index.html">La Specialty Steel Industry of North America Association (SSINA)</a>	<a href="http://www.ssina.com/about/index.html">http://www.ssina.com/about/index.html</a>

	<p><a href="http://www.worldstainless.org/">L'International Stainless Steel Forum (ISSF) [Forum international des aciers inoxydables]</a> http://www.worldstainless.org/</p> <p><a href="http://www.imoa.info/molybdenum_uses/moly_grade_stainless_steels/molybdenum_stainless_steels.php">L'International Molybdenum Association (IMOA).</a> http://www.imoa.info/molybdenum_uses/moly_grade_stainless_steels/molybdenum_stainless_steels.php</p> <p>Vidéo : « <a href="http://www.youtube.com/watch?v=gLNltMtBjc8">How Stainless Steel Alloy is formed</a> » (La formation de l'acier inoxydable) http://www.youtube.com/watch?v=gLNltMtBjc8</p> <p>Vidéo : « <a href="http://www.youtube.com/watch?v=5zwgl-pQ6kE">Stainless Steel Production Process</a> » (La production de l'acier inoxydable) http://www.youtube.com/watch?v=5zwgl-pQ6kE</p>
1.5.2	<p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/homepage.html">Introduction</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/homepage.html</p> <p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_offshore.html">Unités en mer</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_offshore.html</p> <p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_desal.html">Dessalement</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_desal.html</p> <p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_shipping.html">Construction et réparation de navires</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_shipping.html</p> <p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_power.html">Production d'énergie électrique</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_power.html</p> <p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_syscomp.html">Composants des systèmes</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_syscomp.html</p> <p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/txt_sea_water_system_design.html">Conception des systèmes</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/txt_sea_water_system_design.html</p> <p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_papers.html">Publications utiles</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/app_papers.html</p>
1.5.3	<p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/txt_properties.html">Table des matières</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/txt_properties.html</p>
1.5.4	<p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/txt_references.html">Table des matières</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/txt_references.html</p>
1.5.5	<p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/visual_overview/index.html">Présentation interactive</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/visual_overview/index.html</p> <p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/suppliers/CuniFabricatorSearch.html">Répertoire des fournisseurs</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/suppliers/CuniFabricatorSearch.html</p> <p><a href="http://www.copper-key.org/index.php?lang=english">Renvoi au répertoire toponymique des alliages</a> http://www.copper-key.org/index.php?lang=english</p> <p><a href="http://www.copper.org/applications/marine/cuni/suppliers/CuniFabricatorSearch.html">Répertoire des fournisseurs</a> http://www.copper.org/applications/marine/cuni/suppliers/CuniFabricatorSearch.html</p> <p><a href="http://www.copper-key.org/index.php?lang=english">Renvoi au répertoire toponymique des alliages</a> http://www.copper-key.org/index.php?lang=english</p>
1.6.1	<p><a href="http://www.youtube.com/watch?v=pnnwoqDviRw">Cliquez ici pour visionner une vidéo de Niton Uk Limited sur l'utilisation de l'identification des matériaux avec certitude.</a> http://www.youtube.com/watch?v=pnnwoqDviRw</p>
1.8.2	<p><a href="http://www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Guidelines_and_recommendations/PDF/R_EC_82_pdf221.pdf">Pour consulter d'autres termes, cliquez ici pour accéder au document de l'IACS.</a> http://www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Guidelines_and_recommendations/PDF/R_EC_82_pdf221.pdf</p>
1.8.3	<p><a href="http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&amp;Guides/Current/49_InspMaint&amp;ApplofMarineCoatingSystems/Pub49_CoatingsNov07">Notes d'orientation de la SRA sur l'inspection, l'entretien et l'application des systèmes de revêtements marins – troisième édition de 2007</a> http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&amp;Guides/Current/49_InspMaint&amp;ApplofMarineCoatingSystems/Pub49_CoatingsNov07</p>

## SECTION 2.0 SOUDAGE

2.3	<a href="http://fr.cwbgroup.org/ContactUs/Pages/default.aspx">Suivez ce lien pour obtenir les coordonnées du groupe CWB.</a> <a href="http://fr.cwbgroup.org/ContactUs/Pages/default.aspx">http://fr.cwbgroup.org/ContactUs/Pages/default.aspx</a>
2.4.1	<a href="http://fr.cwbgroup.org/Certification/Pages/CertifiedCompanySearch.aspx">Cliquez ici pour rechercher les compagnies certifiées par le groupe CWB.</a> <a href="http://fr.cwbgroup.org/Certification/Pages/CertifiedCompanySearch.aspx">http://fr.cwbgroup.org/Certification/Pages/CertifiedCompanySearch.aspx</a>
2.4.2	<a href="http://fr.cwbgroup.org/Certification/Pages/customInspectorssearch.aspx">Suivez ce lien pour rechercher des entreprises et des inspecteurs visuels en END certifiés par le groupe CWB</a> <a href="http://fr.cwbgroup.org/Certification/Pages/customInspectorssearch.aspx">http://fr.cwbgroup.org/Certification/Pages/customInspectorssearch.aspx</a>
2.4.3	<a href="http://www.rncan.gc.ca/mines-materiaux/essais-non-destructifs/8601">Suivez ce lien pour rechercher du personnel des END certifié par RNCAN.</a> <a href="http://www.rncan.gc.ca/mines-materiaux/essais-non-destructifs/8601">http://www.rncan.gc.ca/mines-materiaux/essais-non-destructifs/8601</a>
2.6.1	<a href="http://fr.cwbgroup.org/Certification/Pages/ConsumablesSearch.aspx">Suivez ce lien pour obtenir une liste des produits consommables de soudage approuvés par le groupe CWB en fonction de la norme CSA W48.</a> <a href="http://fr.cwbgroup.org/Certification/Pages/ConsumablesSearch.aspx">http://fr.cwbgroup.org/Certification/Pages/ConsumablesSearch.aspx</a>
2.12	<a href="http://eng.cwbgroup.org/Certification/Documents/Engineers%20List.pdf">Suivez ce lien pour trouver des ingénieurs qualifiés par le groupe CWB.</a> <a href="http://eng.cwbgroup.org/Certification/Documents/Engineers%20List.pdf">http://eng.cwbgroup.org/Certification/Documents/Engineers%20List.pdf</a>
2.18.7	<a href="http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2010-120/index.html">Code canadien du travail, Règlement sur la sécurité et la santé au travail (navires), partie 12-161,</a> <a href="http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2010-120/index.html">http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2010-120/index.html</a>

## SECTION 3.0 ESSAIS MÉCANIQUES

3.1	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=0WMWUP5ZHSY">Cliquez ici pour visionner une vidéo éducative de TWI sur les essais mécaniques.</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=0WMWUP5ZHSY">http://www.youtube.com/watch?v=0WMWUP5ZHSY</a>
3.3	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kpcM">Cliquez ici pour visionner une vidéo éducative sur les essais de traction.</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kpcM">http://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kpcM</a>
3.4	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=tpGhqQvftAo">Cliquez ici pour visionner une vidéo éducative sur l'essai de résilience Charpy.</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=tpGhqQvftAo">http://www.youtube.com/watch?v=tpGhqQvftAo</a>

## SECTION 4.0 INSPECTION DE SOUDAGE

4.3.4	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=UVWTnHXR2AY">Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo d'une inspection visuelle du soudage par le Bureau canadien de soudage</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=UVWTnHXR2AY">http://www.youtube.com/watch?v=UVWTnHXR2AY</a>
4.3.5	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=vzYj0qsLbVY">Cliquez sur ce lien pour voir la partie n°1–Alignement, mesure et instruments de mesure de soudure</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=vzYj0qsLbVY">http://www.youtube.com/watch?v=vzYj0qsLbVY</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=WT1wzeXs3Yw">Cliquez sur ce lien pour voir la partie n° 2 – Alignement, mesure et instruments de mesure de soudure</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=WT1wzeXs3Yw">http://www.youtube.com/watch?v=WT1wzeXs3Yw</a>
4.3.6	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=tIE3eK0g6vU">Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo d'introduction aux essais non destructifs produite par le TWI</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=tIE3eK0g6vU">http://www.youtube.com/watch?v=tIE3eK0g6vU</a>
4.4.2	
4.5.2	<a href="http://www.rncan.gc.ca/mines-materiaux/essais-non-destructifs/8601">Suivez ce lien pour rechercher du personnel des END certifié par RNCAN.</a> <a href="http://www.rncan.gc.ca/mines-materiaux/essais-non-destructifs/8601">http://www.rncan.gc.ca/mines-materiaux/essais-non-destructifs/8601</a>
4.6.2	
4.7.6	
4.4.6	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=QpU5JyhNVgQ&amp;list=PL1133F1151BA4901B">Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo du CWBi sur l'essai de ressuage.</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=QpU5JyhNVgQ&amp;list=PL1133F1151BA4901B">http://www.youtube.com/watch?v=QpU5JyhNVgQ&amp;list=PL1133F1151BA4901B</a>
4.5.6	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=N1emHJD0-1E">Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo du CWBi sur le contrôle magnétoscopique.</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=N1emHJD0-1E">http://www.youtube.com/watch?v=N1emHJD0-1E</a>
4.6.1	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=VscasN8jgfo">Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo du CWBi sur l'inspection radiographique.</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=VscasN8jgfo">http://www.youtube.com/watch?v=VscasN8jgfo</a>
4.7.1	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=41i0ciqqYYM">Cliquez sur ce lien pour voir une vidéo du CWBi sur l'inspection ultrasonore.</a> <a href="http://www.youtube.com/watch?v=41i0ciqqYYM">http://www.youtube.com/watch?v=41i0ciqqYYM</a>