



République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des Mines
قسم إلكتروميكانيك
Département Electromécanique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Option : Electromécanique minière

**Détection des défauts de soudage et protection radioactive
«Cas de la SONATRACH d'Arzew-complexe GP1Z».**

Par

Bohra Meriem OUASSIL et Mehdi Nassim CHEHEB

Devant le jury

Mr. FARES Noureddine	MAA	Président	Université Larbi Tebessi-Tébessa
Mme. TALEB Mounia	MCB	Encadreur	Université Larbi Tebessi-Tébessa
Mr. MELKIA Chaouki	MAA	Examineur	Université Larbi Tebessi-Tébessa

Promotion 2019-2020

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tebessi – Tébessa
Institut des Mines
Département d'électromécanique



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة العربي التبسي - تبسة
معهد المناجم
قسم الالكتروميكانيك

Année universitaire : 2019-2020

Tébessa le : 27/09/2020

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

OUASSIL Bochra Meriem

CHEHEB Mehdi Nassim

Niveau : 2^{ème} année Master

Option : Electromécanique minière

Thème : Détection des défauts de soudage par radioactivité et protection radioactive

Nom et prénom de l'encadreur : Mme. TALEB Mounia

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre I : Généralités sur le soudage	
Chapitre II : Méthodes de détection des défauts de soudage	
Chapitre III : Présentation du cas d'étude : état actuel	
Chapitre IV : Application de la méthode de détection des défauts de soudage choisie : la radioactivité	
Chapitre V : Protection radioactive	



Remerciements

Avant tous, Nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir aidé et éclairé notre chemin.

Nous adressons spécialement nos remerciements à :

Madame TALEB Mounia, notre encadreur, pour ses remarques et conseils qu'ils nous ont aidé énormément.

Nous remercions également du fond du cœur, tous les enseignants de l'institut des Mine, qui ont contribué à notre formation,

Nous tenons à remercier aussi les personnes qui sans eux, nous ne serons jamais là : nos parents.

Ainsi que nos familles.

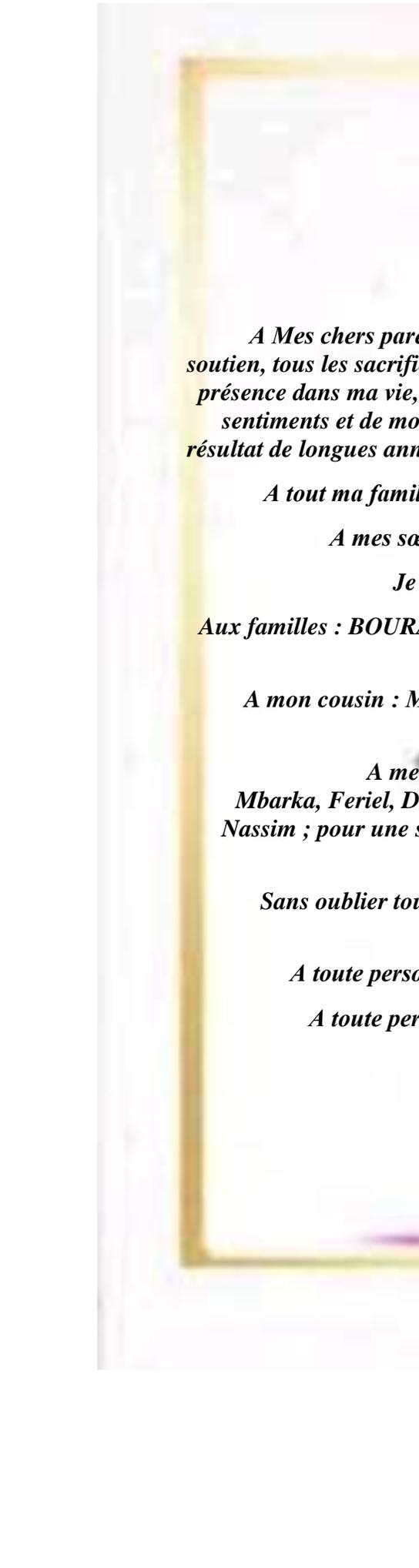
Nos vifs remerciements vont également à tout le personnel du complexe GP1Z et spécialement le département technique.

Tous les gens qui nous ont aidé de près ou de loin.

Tous les membres de jury pour avoir accepté de juger ce modeste travail.

Enfin nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont aidé dans notre projet.





Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A Mes chers parents. Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

A tout ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé.

A mes sœurs : Asma, Basma, Izo et mon beau-frère : Nounou

Je leur souhaite tout le succès et tout le bonheur.

Aux familles : BOURADI, BENSAID, BENAMARA, BENGHANEM, TIHEL, MERDAF, CHEHEB et MALKI

A mon cousin : Madjid Mohammed qui m'a trop aidé à la réalisation du stage pratique ainsi que le travail complet.

A mes copines et sur tout : Micha, Batoul, Samira, Oumeïma, Hadjer, Mbarka, Ferial, Dhaouia, Touha, doudja, imy, widad ainsi que mon binôme : Mehdi Nassim ; pour une sincérité si merveilleuse, jamais oubliable, en leur souhaitant tout le succès et tout le bonheur.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire jusqu'à l'université.

A toute personne que j'ai connue pendant ma résidence à TEBESSA.

A toute personne qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie.

A tous ceux que j'aime.



Bohra Meriem.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et reconnaissance :

A Mes chers parents et mon cher frère, qui m'ont aidé de près ou de loin, pour tous leurs sacrifices et leurs prières tout au long de mes études.

A tout ma famille, qui porte le nom CHEHEB et MALKI, puisse dieu vous donner tout le bonheur que vous méritez.

Mon binôme BOCHRA, sans oublié toute la famille OAUSSIL, qu'il me soit permis de vous exprimer à travers ce travail, mon respect et mon affection.

A tous mes chers amis, l'équipe de l'institut des mines l'université de LARBI Tébessi-Tébessa.

A vous cher lecteur.

Merci d'être toujours là pour moi.

MEHDI NASSIM



ملخص

كلمات مفتاحية: اللحام، عيوب اللحام، وصلة اللحام، عملية النشاط الاشعاعي، الاختبارات غير المتلفة. مع التطور التكنولوجي في الآونة الأخيرة، اضطرت مختلف الصناعات والمجالات الى مواكبة احداثه وذلك بتحسين انتاجها ومردوديتها. ومن بين التكنولوجيات المحروس على تطويرها اللحام الذي بدوره يحتاج الى مراقبة جد صارمة لان حصول أي عطب في جزء خطه يعني خسارة كبيرة في الأرواح والأموال. ان عيوب اللحام هو مصطلح يستعمل لوصف الفراغات او الفجوات او اية أخطاء أخرى تحدث في شكل وحجم وصلة اللحام، تتسبب في تشويبه وذلك حسب المعايير والمواصفات المعتمدة عند الكشف عن عيوب هذا الأخير.

ونظرا لأهمية المحروقات وكيفية نقلها عبر القنوات الخاصة لذلك فان المختصين في هذا المجال يسعون دائماً وبصفة أولية الى مراقبة عملية اللحيم تفاديا لحصول أي عطب على مستوى القنوات وذلك بالاعتماد على القيام ببعض الاختبارات من بينها الاختبارات غير المتلفة.

هذه المذكرة تطرقت لاختبار فعالية اللحام غير المتلف للكشف عن بعض عيوب وصلات لحام انابيب نقل الغاز والبتترول عن طريق عملية النشاط الاشعاعي وكذا كيفية الحماية من اخطار هذا الأخير.

Résumé

Les mots clés : soudage, Les défauts de soudage, joint de soudage, contrôles non destructifs, radioactivité.

Avec le développement technologique, divers industries et domaines suivent le rythme de ses évènements en améliorants leur production et leur efficacité.

Parmi les technologies que l'on cherche à développer le soudage, qui à son tour doit être surveillé de manière très stricte, car tout dommage à la partie de sa ligne signifie une grande perte de vie et de matériels.

Les défauts de soudage sont un terme utilisé pour décrire les vides, les interstices ou toute autre erreur qui se produisent dans la forme et la taille du joint de soudage, ce qui provoque sa déformation conformément aux normes et spécifications adaptées lors de la détection des défauts de ce dernier.

En raison de l'importance des hydrocarbures et de la manière dont ils sont transportés par des canalisations spécifiques, les spécialistes dans ce domaine s'efforcent toujours en premier lieu de surveiller le processus de soudage afin d'éviter tout type de dommage au niveau des pipes, en s'appuyant sur la réalisation de certains contrôles, y compris des contrôles non destructifs.

Ce mémoire portait sur l'efficacité et le contrôle non destructif pour révéler certains défauts de soudage au niveau de la canalisation de transport du gaz et pétrole non liquéfié par la méthode de radioactivité, ainsi que sur la manière de se protéger contre les risques et les dangers de cette dernière.

Abstract

Key words: welding, Welding defects, welding joint, non- destructive tests, radioactivity.

With the recent technological development, various industries and fields have been forced to keep pace with its events by improving their production and efficiency.

Among the technologies that are, being sought to develop: welding, which in turn must be monitored very strictly, because any damage to the part of its line means a big loss of life and equipment.

Welding defects are a term used to describe voids, interstices or any other errors that occur in the shape and size of the welding joint, which causes it to deform in accordance with appropriate standards and specifications when detecting the latter's defects.

Given the importance of fuels and how they can be transported through private channels, specialists in this field are always and first seeking to monitor the smear process in order to avoid any disruption at the pipeline level by relying on some tests, including non- destructive tests.

This study addressed the test of the effectiveness of non-damaged welding to detect some of the defects of gas and petroleum pipeline welding through radioactivity, as well, as how to protect against the latter's hazards.

Sommaire

Titre	Page
Résumé	-
Liste des tableaux	-
Liste des figures	-
Liste des abréviations	-
Introduction générale	01
<i>Chapitre I : Généralités sur le soudage</i>	
I.1.Introduction	02
I.2.Définition	02
I.3.Cas de soudage	02
I.4.Histoire	03
I.5.Principe de soudage	07
I.6.Quels matériaux peuvent être soudés	09
I.7.L'appareillage de soudage	10
I.8.Caractéristiques générales du soudage	10
I.8.1.Nature du courant de soudage	10
I.8.2.Paramètres de soudage	10
I.8.3.Température de préchauffage (si nécessaire)	11
I.8.4.Diamètre et nature de l'électrode réfractaire	11
I.8.5.Polarité de l'électrode ou du fil	11
I.8.6.Température maximale entre passes (si nécessaire)	11
I.8.7.Température de pré- chauffage et post-chauffage (si nécessaire)	11
I.8.8.Traitements thermiques après soudage (si nécessaire)	11
I.8.9.Nettoyage à réaliser entre passes (si nécessaire)	12
I.8.10.Informations complémentaires	12
I.9.Descriptif de mode opératoire de soudage (D.M.O.S)	12
I.9.1.Définition d'un descriptif de mode opératoire de soudage	12

(D.M.O.S.)	
I.10.Les procédés de soudage	13
I.10.1.Procédé 21 : Soudage par point par résistance	13
I.10.1.1.Principe	14
I.10.1.2.Utilisations	15
I.10.1.3.Matériaux concernés	15
I.10.1.4.Poste-électrode	16
I.10.2.Procédé 111 : Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée	16
I.10.2.1.Principe	16
I.10.2.2.Utilisations	17
I.10.2.3.Matériaux concernés	17
I.10.2.4.Produit d'apport – matériel	17
I.10.3.Procédé 131 – 135 : Metal Inert Gas – Metal Active Gas (MIG-MAG)	19
I.10.3.1.Soudage MIG (Metal Inert Gas)	19
I.10.3.2.Soudage MAG (Metal Active Gas)	19
I.10.3.3.Principe	19
I.10.3.4.Paramètres influent sur le soudage	19
I.10.3.5.Utilisations	20
I.10.3.6.Matériaux concernés	20
I.10.3.7.Produit d'apport – gaz – matériel	20
I.10.3.8.Abaque réglage procédé 135 MAG	22
I.10.4.Procédé 141 : Tungsten Inert Gas (TIG)	22
I.10.4.1.Principe	22
I.10.4.2.Utilisations	24
I.10.4.3.Matériaux concernés	24
I.10.4.4.Produit d'apport – gaz – matériel	24
I.10.5.Procédé 311 : Oxyacétylénique	25

I.10.5.1.Principe	25
I.10.5.2.Réglage du débit de la buse	25
I.10.5.3.Choix du métal d'apport	26
I.10.5.4.Utilisations	26
I.10.5.5.Matériaux concernés	26
I.10.5.6.Produit d'apport – gaz – matériel	26
I.11.Comparatif des procédés	27
I.12.Designation des soudures	28
I.12.1.Représentation normalisée des soudures	28
I.12.2.Symbolisation élémentaires	30
I.12.3.Symbolisation supplémentaire	30
I.13.Préparation des joints à souder	30
I.14.Types de préparations	32
I.15.Sécurité lors du soudage	32
I.16.Conclusion	34
<i>Chapitre II : Méthodes de détection des défauts de soudage</i>	
II.1.Introduction	35
II.2.Défauts de soudage	35
II.2.1.Déformations de soudage	35
II.2.1.1.Types de déformations	36
II.2.2.Fissurations	37
II.2.3.Soufflures	39
II.2.4.Inclusions	40

II.2.5.Défauts géométriques du cordon	41
II.2.6.Défauts de pénétration	41
II.2.7.Collage ou manque de fusion	42
II.3.Causes et moyens de prévention de quelques défauts de soudage	43
II.4.Méthodes de détection des défauts de soudage	44
II.4.1.Contrôle non destructif	45
II.4.1.1.Contrôle visuel et dimensionnel	45
II.4.1.2.Ressuage	45
II.4.1.3.Contrôle radiographique ou gamma graphique	46
II.4.1.3.1.Principe de travail	47
II.4.1.3.2.Essais sous pression	47
II.4.1.3.3.Génération des RX	48
II.4.1.3.4.Production des rayons γ	48
II.4.1.4.Magnétoscopie (méthode du courant de Foucault)	49
II.4.1.5.Contrôle par Ultrason	51
II.4.1.5.1.Principe de travail	51
II.4.2.Contrôles destructifs	52
II.4.2.1.Eprouvettes pour essais	52
II.4.2.2.Macrographie	53
II.4.2.2.1.Définition	53
II.4.2.2.2.Méthode	53
II.4.2.2.3.Résultat	53
II.4.2.3.Essais de pliage	54
II.4.2.4.Essais de traction	54

II.4.2.4.1.Le diagramme conventionnel de traction	54
II.4.2.5.Essais de dureté (H)	55
II.4.2.6.Essais de résilience (K)	56
II.4.2.6.1.Méthode	57
II.5.Conclusion	57
<i>Chapitre III : Présentation du cas d'étude : Etat actuel</i>	
III.1.Introduction	58
III.2.La société SONATRACH et le complexe GP1Z	58
III.2.1.Description du site « complexe GP1Z »	58
III.2.2.Fiche technique du complexe GP1Z	58
III.2.2.1.Situation géographique	59
III.2.2.2.Conditions Climatiques	59
III.3.Historique	60
III.4.Ses capacités totales de stockage	61
III.5.Les principales installations qui composent le GP1Z	61
III.6.Organisation générale	62
III.7.Organisation du complexe	62
III.8.Légendes	63
III.9.Département technique	64
III.9.1.Organigramme du département technique	64
III.10.Présentation du cas d'étude : état actuel	65
III.11.Caractéristiques des tubes	66
III.11.1.Propriétés chimiques et mécaniques des pipes	66
III.11.2.Avantage des aciers HLE	67
III.12.L'opération de soudage	68

III.13.Positions de soudage et types de joint	68
III.14.Procédés de soudage utilisés	70
III.14.1.Principe du procédé	70
III.14.2.Composition d'une installation de soudage	71
III.14.3.Types d'électrodes utilisés	73
III.14.4.Plages de courant recommandées pour les différentes positions de soudage	74
III.14.5.Principe	75
III.14.6.Les réglages recommandés pour souder en TIG acier courant continu DC	75
III.15.Défauts dû à l'opération de soudage	76
III.16.Méthode de détection choisie	77
III.17.Conclusion	78
<i>Chapitre IV : Application de a méthode de détection des défauts de soudage choisie : La radioactivité</i>	
IV.1.Introduction	79
IV.2.Définition	79
IV.3.Principe de la méthode	80
IV.4.Loïs de propagation des rayonnements ionisants	81
IV.4.1.Nature et propriétés principales	81
IV.4.2.Phénomène d'absorption	81
IV.5.Appareillage	82
IV.5.1.Source de rayonnement X	82
IV.5.2.Sources de rayonnement Gamma γ	82
IV.5.3.Energie des rayons émis	83
IV.5.4.Matériels d'éjection	83

IV.5.4.1.Conteneur ou projecteur TIF	83
IV.5.4.2.Conteneur ou projecteur GAM 80 et GAM 120	84
IV.6.Mise en œuvre	85
IV.6.1.Le film radiographique	86
IV.7.Qualité du contrôle	86
IV.8.Visibilité des défauts	86
IV.9.Défauts détectés pendant l'application de la méthode et leur interprétation	87
IV.9.1.1^{er} Groupe : Fissures	87
IV.9.2.2^{eme} Groupe : Cavités	89
IV.9.3.3^{eme} Groupe : inclusions solides	91
IV.9.4.4^{eme} Groupe : Manque de fusion	93
IV.9.5.5^{eme} Groupe : Manque de pénétration	94
IV.9.6.6^{eme} Groupe : Défauts de forme	95
IV.10.Application des critères d'acceptabilité	98
IV.10.1.Exemple de codes	98
IV.11.Rédaction du procès-verbal	99
IV.12.Avantages et inconvénients de la méthode	99
IV.13.Conclusion	100
<i>Chapitre V : La protection radioactive</i>	
V.1.Introduction	101
V.2.Définition de la protection radioactive	101
V.3.But de la protection radioactive	101
V.4.Les effets de la radioactivité sur la santé	102
V.5.Modes d'exposition à la radioactivité	105
V.6.Sources d'exposition à la radioactivité	105

V.7.Synthèse sur les équivalents de dose maximales admissibles, les catégories de personnes et divers types d'exposition externes	105
V.7.1.Equivalent de dose maximale	105
V.8.Classification des travailleurs et EDMA pour les différentes catégories	106
V.9.Dangers et risques de l'exposition à la radioactivité	107
V.10.Règles élémentaires de la protection radioactives	107
V.11.Principes de la protection radioactive	108
V.12.Règles de protection opérationnelle	109
V.12.1.Protection contre l'exposition externe	110
V.12.2.Protection contre l'exposition interne	113
V.13.Objectifs liés à la limite d'exposition	114
V.14.Moyens de protection radioactive	115
V.14.1.Les moyens de protection contre l'exposition externe	115
V.14.2.Les moyens de protection contre la contamination corporelle externe	115
V.14.3.Les moyens de protection contre l'exposition interne	116
V.14.3.1.Les moyens réglementaires de protection contre l'exposition interne	116
V.14.3.2.Les moyens physiques de protection contre l'exposition interne	116
V.15.Contrôles prévus dans le cadre de la protection des travailleurs	117
V.15.1.Contrôles techniques de radioprotection	117
V.15.2.Contrôles techniques d'ambiance	118
V.16.Conclusion	118
Conclusion générale	119
Bibliographie	120
Annexes	122

LISTE DES TABLEAUX

N° de tableau	Titre de tableau	page
01	Températures des liquides	8
02	Tableau récapitulatif des paramètres à vérifier sur le DMOS	13
03	Comparaison entre les types d'électrode	18
04	Abaque réglage procédé 135 MAG	22
05	Comparatif des procédés	27
06	Causes et moyens de prévention liés à la fissuration	38
07	Type des inclusions	40
08	Défauts d'un cordon de soudure	41
09	Défauts de pénétration, causes et moyens de prévention	42
10	Causes et moyens de prévention de quelques défauts	43
11	Détection des défauts débouchants de soudage	44
12	Exemple sur l'application des rayons X sur quelques matériaux	48
13	Radioéléments utilisés en gammagraphie	49
14	Essais par éprouvettes	52
15	Historique de création du complexe GPIZ	60
16	Caractéristiques d'acier HLE	67
17	Plages de courant recommandées pour les différentes positions de soudage	74
18	EDMA sur douze mois consécutifs	106
19	EDMA sur trois mois consécutifs	106
20	Moyens de protection radioactive	117

LISTE DES FIGURES

N° de figure	Titre de figure	page
01	Schéma représentant les cas de soudage	03
02	Electrode enrobée	04
03	Procédé de N.BENARDOS & OLSZEWSKI	05
04	Méthode de Zerener	05
05	Un chalumeau soudeur	06
06	Soudage par point	06
07	Procédé de MIG-MAG	07
08	Procédé TIG	07
09	Soudage par point	13
10	Soudage par point par résistance	14
11	Diagramme du cycle de soudage par résistance	15
12	Matériels de soudage par résistance (poste, électrode)	16
13	L'opération de soudage à l'arc	17
14	Electrode rutile	18
15	Etuves (électrode basique)	18
16	Principe de soudage par procédé MIG-MAG	19
17	Métal d'apport	20
18	Construction de gaz dans chaque procédé	21
19	Détails d'une torche	21
20	Principe de soudage par TIG	23
21	La différence entre TIG et TIG-FORCE	23
22	Bain de fusion protégé	24
23	Principe de soudage par oxyacétylénique	25
24	Différentes températures de la flamme oxyacétylénique	27
25	Vue de face	29
26	Représentation symbolique normes internationales	29
27	Symboles élémentaires	30
28	Symbolisation supplémentaire	30
29	Dimensions d'une pièce à souder	31
30	Méthode de placement des ronds	31
31	Différents types de préparation des joints à souder	32
32	Eléments de protection individuelle (E.P.I).	33
33	Moyens de protection collective	33
34	Déformations de soudage	36
35	Types de fissures à froid	39
36	Type des soufflures	39

37	Types d'inclusion	40
38	Collage ou manque de fusion	43
39	Contrôle visuel	45
40	Étapes de ressuage	46
41	Contrôle radiographique	47
42	Méthode du courant par circuit magnétique fermé	50
43	Méthode du courant par circuit magnétique ouvert	50
44	Méthode d'alimentation transversale par passage de courant électrique	50
45	Macrographie	53
46	Essai de pliage (endroit, envers)	54
47	Courbe de traction	55
48	Essais de dureté	55
49	Essai de résilience	56
50	Machine de mouton pendule rotatif de Charpy	57
51	Localisation du complexe GP1Z sur la zone industrielle d'Arzew (Source Google Earth)/ GP1Z	59
52	Organigramme du complexe GP1Z	63
53	Organigramme de département technique	64
54	Pipelines dans l'environnement	65
55	Tubes transporteurs du GPL	66
56	Préparation des joints à souder	68
57	Positions de soudage	69
58	Types de joint	69
59	Soudage des pipelines (type manuel)	70
60	Principe de soudage à l'arc par électrode enrobée	71
61	Matériels nécessaire pour l'opération de soudage	72
62	Les électrodes	74

63	Soudage des pipelines par TIG	75
64	Défauts de soudage	77
65	Analyse d'une détection radiographique	79
66	Schéma de principe de la radioactivité	80
67	Eléments de tube radiogène	82
68	Source de rayonnement γ	82
69	Projecteur TIF en position d'irradiation	83
70	Projecteur en position de stockage	84
71	Projecteur GAM 80 en position de d'irradiation	84
72	Projecteur GAM 120 en position d'irradiation	85
73	La mise en œuvre du contrôle par radioactivité	85
74	Schéma d'un film radiographique	86
75	Une fissure longitudinale	87
76	Image radiographique représente une fissure longitudinale	87
77	Une fissure transversale	88
78	Image radiographique d'une fissure transversale	88
79	Fissure rayonnante	88
80	Image radiographique d'une fissure rayonnante	89
81	Soufflure sphéroïdale	89
82	Image radiographique de la soufflure sphéroïdale	89
83	Nids de soufflures	90
84	Image radiographique des nids de soufflures	90
85	Soufflures alignées à la racine du joint	90
86	Image radiographique de soufflures alignées à la racine du joint	90
87	Retassure de cratère	91
88	Image radiographique de la retassure de cratère	91
89	Inclusion de laitier interpasse	92

90	Image radiographique d'inclusion en laitier interpasse	92
91	Inclusion de laitier en lignes allongées	92
92	Image radiographique d'inclusion de laitier en lignes allongées	92
93	Inclusion de tungstène	93
94	Image radiographique d'inclusion de tungstène	93
95	Manque de fusion des bords	93
96	Image radiographique de manque de fusion des bords	93
97	Manque de fusion entre passes	94
98	Image radiographique de manque de fusion entre les passes	94
99	Manque de pénétration	94
100	Image radiographique de manque de pénétration	95
101	Caniveau interne à la racine	95
102	Image radiographique de caniveau interne à la racine	95
103	Caniveau externe	96
104	Image radiographique de caniveau externe	96
105	Pénétration excessive	96
106	Image radiographique de pénétration excessive	97
107	Concavité interne à la racine	97
108	Image radiographique de la concavité interne à la racine	97
109	Concavité excessive	98
110	Image radiographique de concavité excessive	98
111	Effets déterministes de la radioactivité	103
112	Effets aléatoires de la radioactivité	103
113	Travailleur du nucléaire contrôlant des tubes de générateurs de vapeur	109
114	Ecrans de protection	112

Liste des abréviations

Symboles	Significations
MIG-MAG	Metal Inert Gas- Metal Active Gas
TIG	Tungsten Inert Gas
ZF	Zone fondue
ZAT	Zone Affectée Thermiquement
OA	Soudage oxyacétylénique
Ø	Diamètre du fil d'électrode
COFREND	Confédération française pour les essais non destructifs
λ_L	Longueur d'onde limite
λ_m	Longueur maximale
V	Tension d'accélération
ZL	Zone de liaison
MF	Métal fondu
MB	Métal de base
GP1Z	Complexe de gaz pétrole liquéfié N°01 d'Arzew
GP2Z	Complexe de gaz pétrole liquéfié N°02 d'Arzew
GPL	Gaz pétrole liquéfié
GNL	Gaz pétrole non liquéfié
SONATRACH	La société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures
LQS	Liquéfaction et séparation de gaz
HLE	Haute limite d'élasticité
IQI	Indicateur de qualité d'image
CIPR	La commission internationale de protection radiologique
DATR	Travailleurs directement affectés à des travaux sous rayonnement
EDMA	Equivalents de dose maximale admissibles
NDATR	Travailleurs non directement affectés à des travaux sous rayonnement
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
CDA	Couche de demi-atténuation
PCR	Polymerase Chain reaction
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

Introduction Générale

Introduction générale

Parmi les procédés d'assemblages mécaniques, l'assemblage par soudage qui est le plus répandue dans la plupart des domaines industriels (transport, industrie pétrolière et gazeuse, construction navale, aéronautique...etc.). C'est un domaine très vaste où les spécialistes, techniciens, ingénieurs et chercheurs continuent de faire des progrès très importants en vue d'améliorer son efficacité.

Le soudage est une opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler par de différents procédés.

Cependant, cette technique peut contenir plusieurs défauts qui sont observés au sein du cordon de soudure.

De ce fait, des contrôles sont faits pour détecter ces défauts qui sont inacceptables dans la plupart des cas.

La radioactivité est l'un des plus importants contrôles non destructif utilisés dans la détection grâce à sa capacité de déterminer avec précision le défaut, en particulier dans les cas de matériaux denses et épais. Et comme toutes les méthodes de détection, celle-ci nécessite une protection contre ses risques et ses dangers.

Dans ce sens, nous avons réalisé ce modeste travail qui a pour but la détection des défauts de soudage par la méthode de radioactivité.

Afin d'atteindre cet objectif, ce manuscrit est composé de cinq chapitres :

- Le premier chapitre rassemble des généralités sur le soudage et leurs procédés.
- Le deuxième chapitre est réservé aux défauts de soudage et les différentes méthodes de les détecter.
- Le troisième chapitre étudie le cas actuel au sein du complexe GP1Z.
- Le quatrième chapitre présente l'application de la méthode de détection par radioactivité.
- Le cinquième chapitre illustre la méthode de protection radioactive.

*Chapitre I : Généralités
sur le soudage*

I. Généralités sur le Soudage

I.1.Introduction

Parmi les procédés les plus employés dans le domaine des matériaux métalliques, le soudage se situe en première position. En effet, une grande partie des objets manufacturés qui nous entourent font appel à des technologies d'assemblage par ce procédé pour leur réalisation. La connaissance de ces dernières permet d'améliorer et/ou de diminuer les coûts de fabrication de ces objets.

I.2.Définition

- a. Le soudage est un procédé d'assemblage permanent. Il a pour objet d'assurer la continuité de la matière à assembler. Dans le cas des métaux, cette continuité est réalisée à l'échelle de l'édifice atomique. En dehors du cas idéal où les forces interatomiques et la diffusion assurent lentement le soudage des pièces métalliques mises entièrement en contact suivant des surfaces parfaitement compatibles et exemptes de toute pollution, il est nécessaire de faire intervenir une énergie d'activation pour réaliser rapidement la continuité recherchée. [1]
- b. Le terme « soudage » fait référence à l'assemblage de plusieurs pièces à l'aide d'une source de chaleur et/ou par la compression, de telle sorte que ces pièces forment un continuum. [2]
- c. Le soudage ou l'union moléculaire : Le soudage est un moyen d'assemblage permanent destiné à créer une continuité des matériaux assemblés : métaux et matières plastiques notamment. [3]

Le soudage autorise l'assemblage permanent par fusion des bords des pièces à réunir et évite les apports de pièces et produits d'union comme les rivets, les agrafes, la boulonnerie.

I.3.Cas de soudage

Il existe deux types de soudage :

➤ **Le soudage Autogène**

Dans ce type le métal qui compose le joint est de même nature que les pièces à souder ; fusion du métal de base et du métal d'apport.

➤ Le soudage Hétérogène

Le métal qui compose le joint est de nature différente des pièces à souder ; le métal de base n'est pas fondu, il n'y a que le métal d'apport qui est fondu (soudobrasage, brasage).

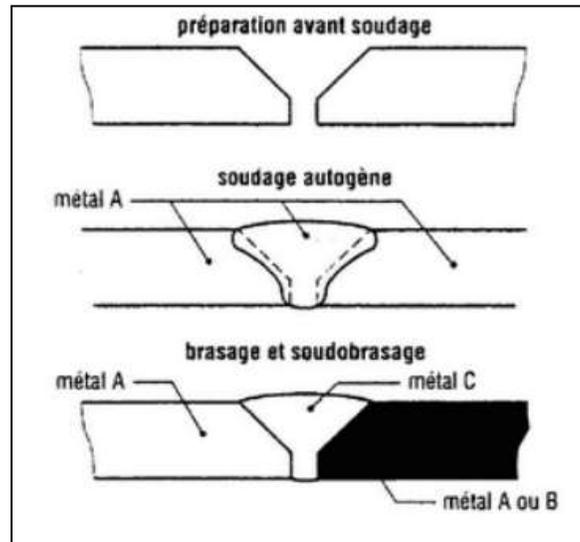


Figure 01 : Schéma représentant les cas de soudage. [4]

I.4.Histoire

L'origine du soudage remonte à l'âge des métaux :

- A l'âge de bronze, on soudait à la poche ;
- A l'âge du fer, on soudait à la forge.

L'exemple le plus ancien consiste en des petites boîtes circulaires en or datant de l'âge du bronze : le joint est constitué de deux surfaces se recouvrant et assemblées par chauffage et martelage. Il a été estimé que ces boîtes ont été fabriquées il y a plus de 2 000 ans. Pendant l'âge du bronze, les Égyptiens et les peuples de l'est méditerranéen ont appris à assembler par soudage des pièces en fer. Plusieurs outils datant approximativement de 3 000 ans ont été retrouvés.

Pendant le Moyen-âge, l'art des chaudronniers et forgerons s'est développé et plusieurs objets en fer ont été produits en utilisant la technique du martelage/soudage. Jusqu'au milieu du XIXe siècle, les procédés de soudage évoluent peu. Vers 1850, on commence à se servir du gaz pour chauffer les métaux à souder.

A la fin du XIXe siècle une mise en œuvre de nouveaux procédés était faite :

- Le soudage oxyacétylénique ;
- Le soudage aluminothermique ;
- Le soudage à l'arc électrique :
 - Soudage à l'électrode enrobée : inventé en 1904 par Oscar Kjellberg, ingénieur suédois, qui fonde la société ESAB ;
 - Soudage à l'électrode réfractaire sous atmosphère protectrice (TIG) : inventé en 1944 ;
 - Soudage à l'électrode fusible semi-automatique sous atmosphère gazeuse protectrice ou active (MIG, MAG) : inventé en 1947.
- Le soudage par résistance.

Tous ces procédés connaîtront leur essor industriel vers 1920. [5]

➤ **Soudage arc électrique avec électrode enrobée**

- **1811** : L'arc électrique fut mis en évidence par SIR Humphry Davy (UK) chimiste anglais qui découvrit la lampe de sûreté pour mineur.



Figure 02 : Electrode enrobée. [4]

- **1855** : Nicolas de Bernados et Olzerski (RU) mirent au point un procédé dans lequel l'arc électrique éclate entre une électrode de charbon et la pièce à souder. La qualité de soudure était médiocre.

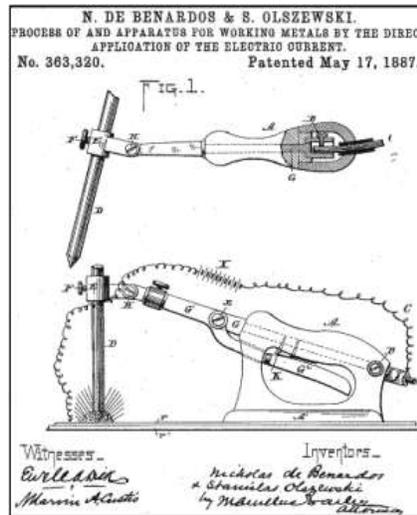


Figure 03 : N.BENARDOS & OLSZEWSKI. [4]

- **1889** : Zerener (US) fit éclater un arc électrique entre deux électrodes de charbon et en apportant du métal d'apport. Ce procédé fut amélioré plus tard par WEIBEL.

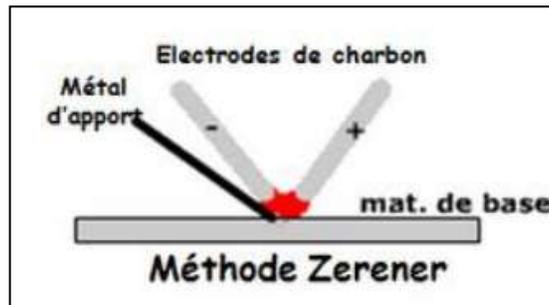


Figure 04 : Méthode de Zerener. [4]

- **1904** : Oscar Kjellberg (SU), qui a créé ESAB, invente et brevète l'électrode enrobée.
- **1924** : Bernohod (FR) présente le procédé qui permet de faire fondre une électrode fusible par une porte électrode.

Le soudage à l'électrode enrobée est actuellement le plus répandu car il existe une multitude d'électrodes (enrobage) qui permettent tous types d'assemblages dans différentes positions.

➤ **Soudage chalumeau OA**

- **1901** : Picard et Foucher (FR) inventent le chalumeau oxyacétylénique (mélange de gaz oxygène et acétylène), qui permet de souder, braser.

De nos jours le soudage oxyacétylénique n'est employé que par les Chauffagistes ou dans des cas spéciaux de fabrications .Il est remplacé par le soudage MIG MAG qui permet de souder rapidement.



Figure 05 : Un chalumeau soudeur. [4]

➤ **Soudage par points**

- **1877** : ELIHU TOMSON (US) invente le procédé de soudage par résistance
- **1919** : David SCIAKY (US) met un brevet de mise au point du soudage par résistance. Procédé beaucoup utilisé dans l'industrie automobile pour le soudage des tôles fines.



Figure 06 : Soudage par point. [4]

➤ **Procédé MIG MAG**

- **1924** : Alexandre (US) met au point un procédé dans lequel un arc électrique éclate dans une atmosphère protectrice entre un fil et la pièce à souder. Cette invention établit les règles du procédé MIG qui développera après la guerre de 1940.
- **1949** : Al Muller, Glen Gibson et Nelson Anderson (US) mettent un brevet nommé Airco.

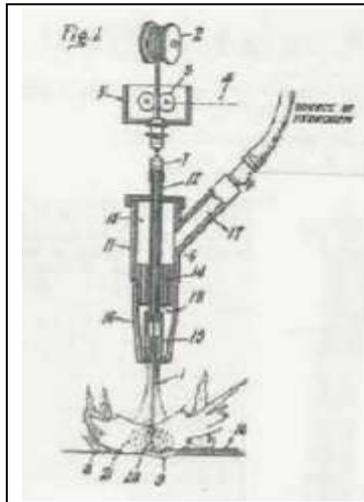


Figure 07 : Procédé de MIG MAG. [4]

➤ Procédé TIG

- **1924** : LANGMUR (US) obtient un brevet dans lequel un arc électrique éclate entre deux électrodes de tungstène sous une atmosphère d'hydrogène. Ce procédé fut appelé hydrogène atomique puis dérivera en TIG.
- **1941** : Russell Meredith (US) invente le procédé TIG.

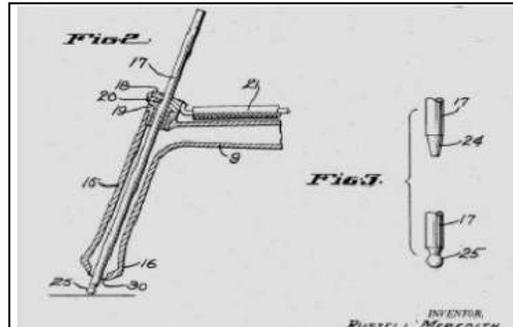


Figure 08 : Procédé TIG. [4]

I.5.Principe de soudage

L'appellation de soudage s'applique dès lors que deux pièces sont réunies de façon à ce que la continuité de la matière entre les deux éléments soit telle qu'au niveau atomique ces deux pièces n'en forment qu'une seule.

Pour cela, le soudage requiert une dilution du métal d'apport dans les matériaux à souder.

Le métal d'apport est identique à celui des pièces à souder. Lorsque le métal d'apport est différent des pièces à souder ou que ces deux pièces sont de métaux différents, on parle de soudobrasage, mais la technique reste identique.

C'est pourquoi, à la différence de la brasure, le soudage nécessite d'abord une fusion des extrémités des pièces à réunir avant de les assembler en un seul ensemble cohérent.

Cette fusion de la matière nécessite une élévation plus ou moins importante de la température selon les matériaux à souder.

Le soudage rend donc obligatoire la présence :

- Des matériaux à souder ;
- D'un appareil de soudage ;
- D'une alimentation en énergie. [3]

Le soudage consiste à faire fondre les pièces à assembler, le métal de base, ainsi qu'un métal d'apport sous forme de fil ou de baguette. Le chauffage peut être assuré par différentes sources d'énergie, les plus courantes étant la flamme (chalumeau) et l'arc électrique (éclair entre une électrode et le métal), mais on peut aussi utiliser l'effet joule, l'induction électromagnétique, l'échauffement par friction, un laser, ...

Le chauffage doit être suffisant pour faire fondre les métaux (Tableau 01 : Température du liquides).

Tableau N° 01 : Températures des liquides.

Matériels	Température (°C)
Bronze	900 à 1085 °C
Acier	1380 à 1538 °C
Alliage d'aluminium	500 à 660 °C
Alliage de nickel	940 à 1660 °C
Alliage de titane	950 à 1670 °C

À partir d'une certaine épaisseur, il est nécessaire de biseauter le bord des tôles ainsi que de faire des chanfreins.

Afin d'avoir une bonne pénétration de la soudure, sinon, on effectue juste un « collage ». Le chanfreinage se fait à la meule ou au chalumeau d'oxycoupage, ou bien avec une machine dédiée (chanfreineuse).

On peut faire plusieurs passes de soudure afin d'avoir un cordon suffisamment épais. Il peut être nécessaire de meuler entre chaque passe afin d'enlever des impuretés.

À haute température, le métal réagit avec l'air, il s'oxyde. Pour éviter cela, on peut projeter une atmosphère protectrice ou bien ajouter un produit qui va former un nuage de vapeur protectrice sous l'effet de la chaleur.

Il peut être nécessaire de protéger l'envers de la soudure lors de la première passe (le bain de fusion est en contact avec l'air de l'autre côté de la tôle) ; s'il s'agit d'une capacité (réservoir) ou d'un tuyau, il peut être nécessaire de remplir le volume intérieur d'un gaz inerte (typiquement argon, azote ou hélium), opération dite « d'inertage ». Le débit doit être suffisant pour que l'opération ne dure pas trop longtemps (typiquement 5 minutes à une demi-heure), mais pas trop important pour ne pas brasser les gaz et bien avoir une couche qui pousse l'autre ; il faut également veiller à ne pas avoir de surpression qui repousserait le bain de fusion. On peut effectuer un chambrage, c'est-à-dire limiter le volume à remplir par des vessies gonflables ou bien un film soluble dans l'eau ce qui permet de l'éliminer par un simple rinçage ou bien lors de l'épreuve de pression, pour diminuer la consommation de gaz et la durée de l'opération.

Vu en coupe, le cordon de soudure présente :

- Une zone fondue (ZF) : C'est la partie du métal de base qui a fondu et s'est mélangé avec le métal d'apport pour former le bain de fusion, puis qui s'est solidifié en refroidissant ;
- Une zone affectée thermiquement (ZAT) qui entoure la zone fondue : Dans cette zone, le métal de base n'a pas fondu, mais il a été altéré par le chauffage. [5]

I.6.Quels matériaux peuvent être soudés

Chaque métal, alliage de métaux, matériau nouveau ayant ses propres caractéristiques, une méthode de soudage est appliquée par matériau. On distingue les soudures des métaux suivants : Aluminium, Cuivre, Acier, Inox, Zinc, Fonte, Or et Plastique. [3]

I.7.L'appareillage de soudage

L'appareil de soudage est appelé poste à souder et consiste dans le principe à un dispositif capable d'amener une forte élévation de température contrôlée en un point précis des matériaux à souder.

Selon la méthode pour élever la température de fusion des matériaux à souder, on distingue :

- Le soudage à la flamme utilisant :
 - La lampe à souder ;
 - Le chalumeau oxygène acétylène ;
 - Le poste à souder gaz.
- Le soudage au fer chauffant :
 - Le fer à souder ;
 - La station soudage.
- Le soudage à l'arc électrique :
 - Le poste à souder à l'arc ;
 - Le poste à souder MIG-MAG ;
 - Le poste à souder TIG. [3]

I.8.Caractéristiques générales du soudage

I.8.1.Nature du courant de soudage

La première caractéristique du soudage est la nature du courant de soudage qui est caractérisée par :

- Courant continu (CC ou DC) ;
- Courant lisse ou courant pulsé ;
- Courant alternatif (CA ou AC).

I.8.2.Paramètres de soudage

Les valeurs de l'intensité en Ampères, de la tension en Volts, de la vitesse de soudage en centimètres / minute, du dévidage du fil en centimètres ou mètres / minute, l'énergie de soudage en Joules / centimètre sont indiquées pour chaque passe ou série de passes dans le formulaire.

I.8.3. Température de préchauffage (si nécessaire)

La température de préchauffage avant soudage doit être indiquée en degrés Celsius dans le formulaire principalement pour les aciers faiblement alliés et les aciers sensibles à la trempe.

I.8.4. Diamètre et nature de l'électrode réfractaire

Le type normalisé selon NF EN 26848 de l'électrode de tungstène (électrode réfractaire ou infusible) et le diamètre est précisé pour chaque passe ou série de passes avec les procédés de soudage 141 et 15.

- Tungstène pur (couleur d'extrémité verte).
- Tungstène thorie (0,5 à 4 % thorium - couleur d'extrémité rouge).
- Tungstène cérié (0,5 à 4% cérium).
- Tungstène zirconié (0,5 à 4% zirconium).

I.8.5. Polarité de l'électrode ou du fil

La polarité de l'électrode ou du fil à utiliser est indiquée dans le descriptif pour le courant continu (positive + ou négative -).

I.8.6. Température maximale entre passes (si nécessaire)

La température maximale entre passes à ne pas dépasser (vérifiée avant chaque nouvelle passe de soudure) doit être indiquée en degrés Celsius dans le formulaire.

I.8.7. Température de pré- chauffage et post-chauffage (si nécessaire)

Un Préchauffage est nécessaire pour les aciers ayant une teneur forte en carbone ou certain acier. Elle évite la fissuration et facilite la fusion du métal.

Un post-chauffage est nécessaire pour éviter un choc thermique, il faut redescendre la température progressivement. La température doit être indiquée en degrés Celsius avec le temps de maintien

I.8.8. Traitements thermiques après soudage (si nécessaire)

Un traitement thermique peut être réalisé après soudage pour enlever les tensions faite par la soudure. Les conditions de réalisation des traitements thermiques après soudage sont indiquées dans le formulaire.

- Vitesse de montée en °C / heure ou minutes ;

- Température maximale atteinte ;
- Durée de maintien en minutes ou heure ;
- Vitesse de refroidissement en °C / heure ou minutes.

I.8.9. Nettoyage à réaliser entre passes (si nécessaire)

La méthode utilisée de nettoyage entre passes doit être indiquée (meulage, brossage, dégraissage et burinage).

I.8.10. Informations complémentaires

Toute information complémentaire nécessaire à la réalisation du soudage doit être consignée dans le formulaire :

- Inclinaison de la torche de soudage en automatique ;
- Distance tube de contact / pièce ;
- Largeur de balayage en automatique, temps d'arrêt ;
- Temps de pulsation, fréquence de pulsation, rapport cyclique ;
- Etuvage des produits d'apport ;
- Bridage de la pièce ;
- Redressage de la pièce ;
- Martelage de la soudure. ... [4]

I.9. Descriptif de mode opératoire de soudage (D.M.O.S)

I.9.1. Définition d'un descriptif de mode opératoire de soudage (D.M.O.S.)

Le Descriptif de Mode Opératoire de Soudage est un formulaire sur lequel sont consignés toutes les opérations, les instructions et les informations techniques nécessaires pour assurer la répétitivité des paramètres, obtenir un assemblage soudé de qualité et réussir dans les meilleures conditions d'exécution d'un travail précis de soudage.

Le D.M.O.S. est le document de référence du coordonnateur en soudage, du soudeur, de l'inspecteur et du contrôleur lors de l'exécution, du suivi et du contrôle d'un joint soudé.

Le D.M.O.S. est obligatoire et doit être présenté lors d'une qualification de mode opératoire de soudage et d'une qualification de personnel soudeur. [4]

Tableau N° 02 : Tableau récapitulatif des paramètres à vérifier sur le DMOS. [4]

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PARAMÈTRES A VÉRIFIER SUR LE DMOSP									
	Intensité Ampères	Tension Volts	Avance cm/min	Produit d'apport nuance et Ø	Nature courant et polarité	Vitesse dévidage fil cm/min	Nature et débit gaz	Électrode tungstène	Flux solide en poudre
111	X	X	X	X	X	NON	NON	NON	NON
114	X	X	X	X	X	X	NON	NON	NON
141 M	X	X	X	X	X	NON	X	X	NON
141 A	X	X	X	X	X	X	X	X	NON
15	X	X	X	X	X	X	X	X	NON
131	X	X	X	X	X	X	X	NON	NON
135	X	X	X	X	X	X	X	NON	NON
136	X	X	X	X	X	X	X	NON	NON
137	X	X	X	X	X	X	X	NON	NON
121	X	X	X	X	X	X	NON	NON	X

I.10. Les procédés de soudage

I.10.1. Procédé 21 : Soudage par point par résistance

De nombreux procédés de soudure par résistance existent, nous allons voir le plus courant : le soudage par points. Très utilisé en grande et petite série, rapide, il est réalisé entre deux électrodes. La fusion se produit à la frontière entre les deux pièces à souder. [6]

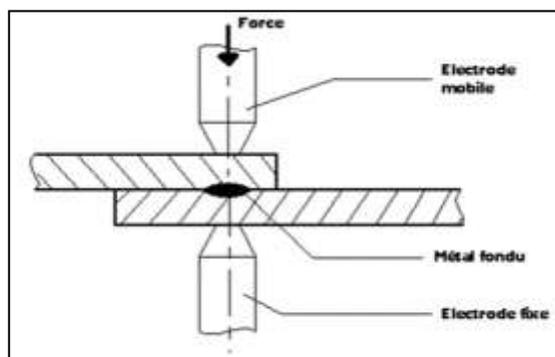


Figure 09 : Soudage par point. [6]

I.10.1.1.Principe

Les pièces à souder sont superposées et sont serrées localement entre deux électrodes en alliage de cuivre. L'ensemble pièces / électrodes est traversés par un courant de soudage qui provoque une élévation de température par effet Joule et la fusion localisée des deux pièces dans la zone de positionnement des deux électrodes.

Les pièces à assembler sont maintenues en contact par un effort de compression puis soudées par recouvrement ou bout à bout sans métal d'apport. La fusion est provoquée par effet Joule : courant de forte intensité ($I > 2000 \text{ A}$) sous basse tension. Après coupure du courant, l'effort de compression «forge» la soudure. [4]

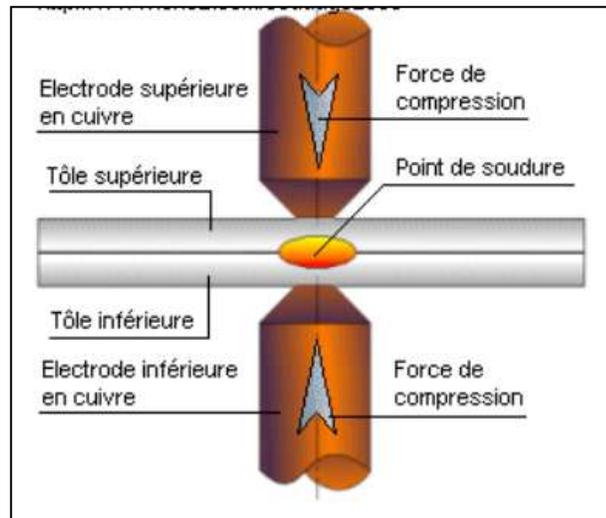


Figure 10 : Schéma représentant le soudage par point par résistance. [4]

Le cycle est réalisé en 4 temps :

1. Accostage de la pièce ;
2. Soudage (intensité ampères) ;
3. Maintien (temps en seconde) ;
4. Temps mort entre deux points.

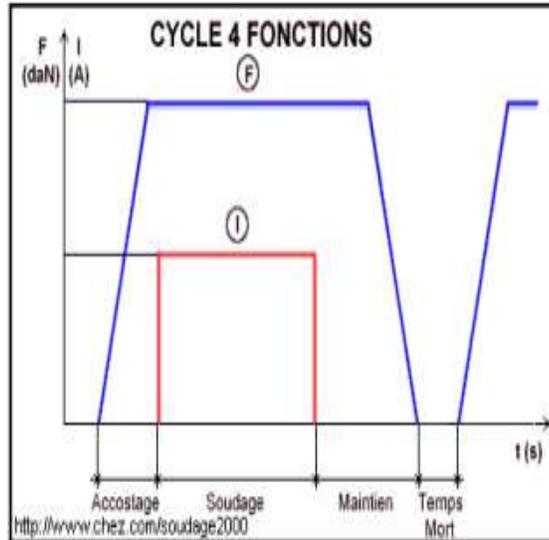


Figure 11 : Diagramme représentant le cycle de soudage par résistance. [4]

La distance minimale entre le point de soudure et le bord de la pièce environ deux fois l'épaisseur + 4 mm

Les points doivent être séparés par trois fois le diamètre du point de soudure.

Pour un bon soudage les tôles doivent être propre sans peinture, rouille, calamine, puis décapées ou meulées.

NB : Pour contrôler un bon soudage réaliser un déboutonnage de la pièce.

I.10.1.2.Utilisations

- Rapidité d'exécution ;
- Limitation des déformations ;
- Absence de préparation des bords à souder ;
- Possibilité d'automatisation ;
- Assemblage uniquement par recouvrement ;
- Epaisseur soudée limitée à la puissance de la machine.

I.10.1.3.Matériaux concernés

Permet le soudage de différents métaux comme l'acier, l'inox, l'aluminium...

I.10.1.4.Poste-électrode

Toutes les machines sont faites sur le même principe, on a deux électrodes (une fixe, l'autre mobile) en alliage de cuivre, refroidies par un circuit d'eau.

Les machines peuvent être : portatives, fixes.



Figure 12 : Matériels de soudage par résistance (poste, électrode). [4]

Le diamètre de contact de l'électrode doit être d'environ deux fois l'épaisseur de la pièce à souder +3mm et sont chanfreinées (angle de 120°). [4]

I.10.2.Procédé 111 : Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée

I.10.2.1.Principe

Le procédé de soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées SAEE (111) est un soudage autogène qui consiste à mettre en fusion les pièces à souder par une très haute température fournie par l'arc électrique (au moins 3000°C) et d'apporter un métal d'apport de même nature que la pièce à souder (c'est le rôle de l'âme de l'électrode). [4]

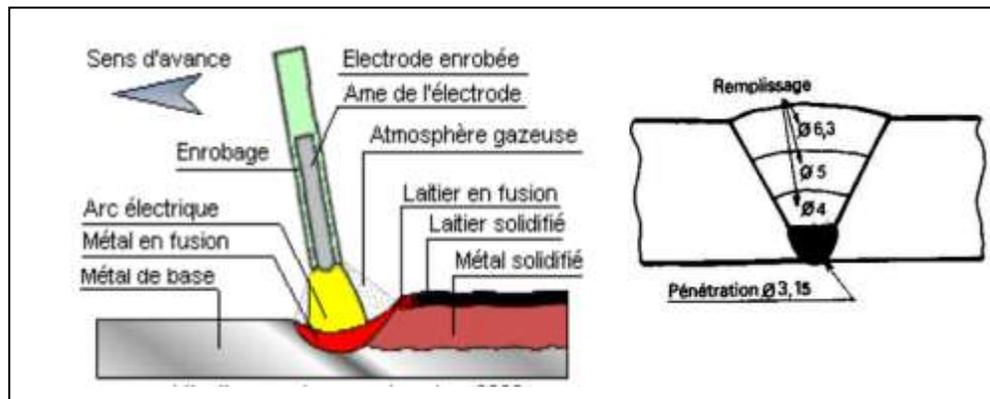


Figure 13 : Schéma représente l'opération de soudage à l'arc. [4]

➤ **Intensité de soudage à plat :**

➤ Intensité en ampères = $50 \times (\text{\O} \text{ de l'électrode} - 1)$

➤ **Intensité de soudage en angle :**

➤ Intensité en ampères = $50 \times (\text{\O} \text{ de l'électrode} - 1) + 20\%$

I.10.2.2.Utilisations

- Economique (car beaucoup utiliser) ;
- Souder dans différents lieux (atelier ou chantier) et différentes positions ;
- Grande résistance des soudures.

I.10.2.3.Matériaux concernés

Permet le soudage de différents métaux comme l'acier, l'inox, la fonte, l'aluminium...

I.10.2.4.Produit d'apport – matériel

Les électrodes ont différents types d'enrobages, leurs utilisations et leurs diamètres (1.6 à 8mm) sont choisis suivant le travail à réaliser, en voici quelques unes :

- **Rutile (R)** ou enrobage rutile épais (RR) : pour les travaux courants (voir figure.14) ;
- **Basique (B)** pour les travaux relevant des caractéristiques mécaniques (elles sont étuvées, voir figure.15) ;

- **Cellulosique (C)** pour les soudures à forte pénétration en position descendante (travail pipeline).

Les plus utilisées sont l'électrode rutile et basique. Pour mieux comprendre les deux types nous avons réalisé une comparaison entre ces deux derniers (voir tableau 03). [4]

Tableau N° 03 : Comparaison entre les types d'électrode. [4]

	Rutile	Basique
Laitier	Se détache facilement.	Facile à enlever, peu abondant, aspect vitreux.
Qualité	Très bonne	Excellente. Très résistant à la fissuration.
Utilisation	Tous travaux courants.	Travaux de qualité et/ou en position.
Polarité	Négative (-)	Positive (+) sauf pour la pénétration (-)

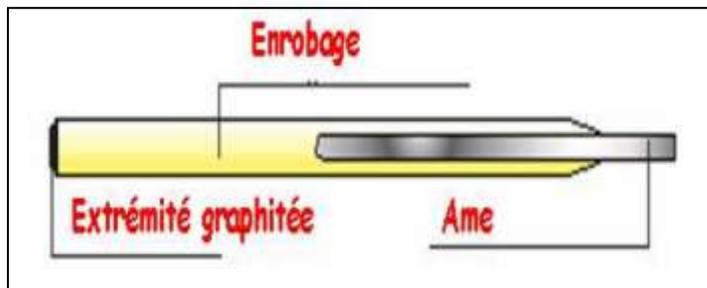


Figure 14 : Electrode rutile.[4]



Figure 15 : Etuves (électrode basique). [4]

I.10.3.Procédé 131 – 135 : Metal Inert Gas – Metal Active Gas (MIG-MAG)

I.10.3.1.Soudage MIG (Metal Inert Gas)

Encore appelé semi-auto, il est très adapté à la petite industrie : facile à l'emploi ; arc visible ; pas de laitier ; grande vitesse de soudage ; temps de formation réduit. Il utilise une électrode fusible (fil se déroulant automatiquement) travaillant en atmosphère inerte (gaz protecteur : argon, argon +hélium... etc.) afin de protéger le bain de fusion. [6]

I.10.3.2.Soudage MAG (Metal Active Gas)

Variante du MIG utilisant un mélange de gaz carbonique CO₂ et d'argon adaptée au soudage des aciers de construction au carbone. [6]

I.10.3.3.Principe

Un arc électrique jaillit entre la pièce à souder et l'électrode en fil fusible ; il provoque la fusion du métal pendant qu'un jet de gaz protège l'électrode et le bain de fusion. [4]

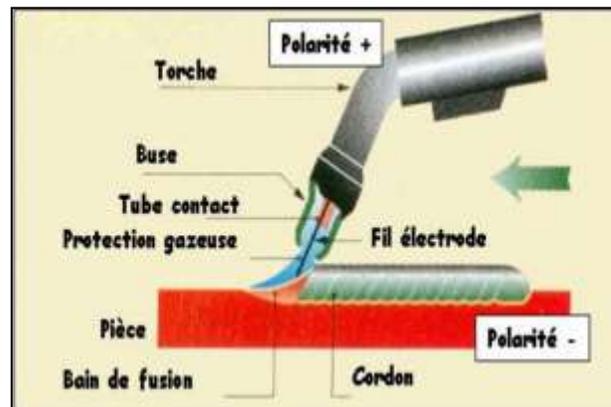


Figure 16 : Principe de soudage par procédé MIG-MAG. [4]

I.10.3.4.Paramètres influent sur le soudage

- U = la tension de l'arc en volts (V).

C'est elle qui conditionne le régime de transfert.

- I = l'intensité de l'arc en ampères(A).

Elle est en fonction de la vitesse de dévidage du fil.

➤ v = vitesse du fil (m/min).

Elle doit être équilibrée avec la vitesse de fusion du fil. Cet équilibre se réalise en fonction du diamètre du fil et de l'intensité affichée.

Suivant la tension et l'ampérage le transfert de métal (formation de la goutte de métal) peut varier : Court-circuit, Globulaire, Pulvérisation axiale.

I.10.3.5.Utilisations

- Forte productivité par rapport à l'ARC E.E. et le TIG ;
- Grande vitesse de soudage ;
- Taux de dépôt de métal important ;
- Pas de laitier à dégrasser ;
- Large gamme d'épaisseur ;
- Soudage dans toutes les positions ;
- Procédé automatisable et utilisable en robotique.

I.10.3.6.Matériaux concernés

- 131 : MIG Métal Inert Gas : les aciers inoxydable, aluminium, cuivre...
- 135 : MAG - Métal Active Gas : aciers ordinaire.

I.10.3.7.Produit d'apport – gaz – matériel

Le métal d'apport est en bobine, le diamètre varie suivant les utilisations (de Ø0.6 à Ø2.4mm). Il peut être fourré laissant un laitier sur la soudure (absence de gaz).

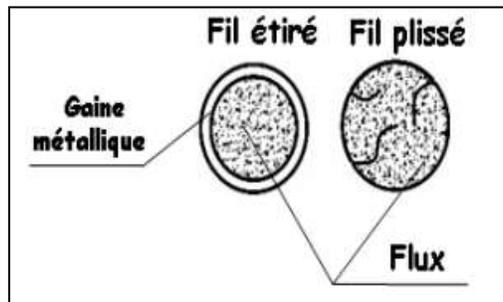


Figure 17 : Métal d'apport. [4]

Suivant le procédé le gaz est différent, le débit varie de 10 à 30 litres/minute :

- **131** : Argon pure, Argon + Hélium...
- **135** : Argon + CO₂, Argon + O₂...

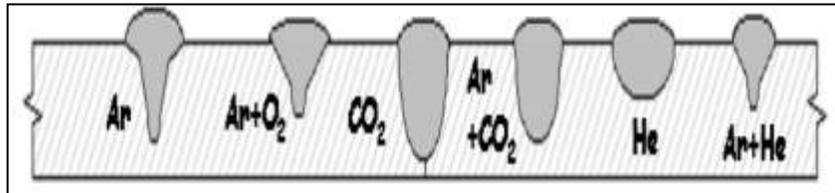


Figure 18 : Schéma représentant la construction de gaz dans chaque procédé. [4]

▪ Détails d'une torche

La figure suivante (figure.19) représente les différents composants d'une torche :

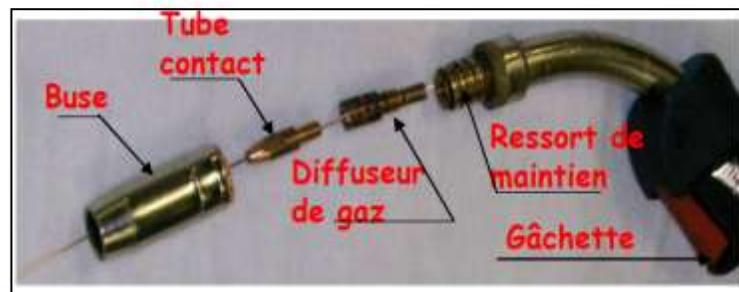
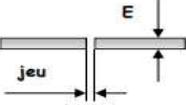
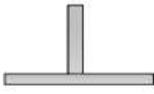
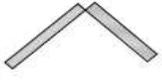


Figure 19 : Détails d'une torche. [4]

I.10.3.8.Abaque réglage procédé 135 MAG

Le tableau suivant représente l'abaque de réglage du procédé 135 MAG (Tableau 04)

Tableau N° 04 : Abaque réglage procédé 135 MAG. [4]

TYPE DE JOINTS	EPAISSEUR DE LA TÔLE	Ø DU FIL	VITESSE DU FIL (m/min)	TENSION DE SOUDAGE (V)	INTENSITE DE SOUDAGE (A)	VITESSE DE SOUDAGE cm/min
BORD à BORD 	1	0.8	3 à 4	17.5	70	30
	1.2	0.8	4 à 4.5	17.75	75	28
	1.5	1	4 à 4.5	18	80	28
	2	1	4.5 à 5	18.25	85	28
	3 à 4	1	5.5 à 6.5	19.5	110	28
	5 à 6	1	7	23	180	28
ANGLE INTERIEUR 	1	0.8	4.5 à 5	18	80	45
	2	1	3 à 4	19	100	40
	3	1	4 à 4.5	23	180	30
	4	1	4.5 à 5.5	24	200	26
	5	1	6 à 7	26.5	250	25
	6	1	7 à 8	28	280	20
ANGLE EXTERIEUR 	1 à 1.5	0.8	2 à 3	18	80	40
	2	0.8	4 à 5	18.5	90	35
	3	1	4.5 à 5.5	20	120	30
	4 à 5	1	5 à 6	24	200	30
	6	1	6 à 7	25	220	25
	8	1	7 à 8	28	280	25

I.10.4.Procédé 141: Tungsten Inert Gas (TIG)

I.10.4.1.Principe

- ☞ **TIG (Tungstene Inert Gas)** : Est un procédé à l'arc sous protection de gaz inerte avec une électrode infusible (tungstène). Le soudage est réalisé à partir d'un arc électrique créé et entretenu entre l'électrode infusible de tungstène et la pièce à souder. Le métal d'apport, baguette de fil est amené manuellement dans le bain de fusion, il peut être automatisé.

L'énergie calorifique de l'arc fait fondre localement la pièce à assembler et le fil d'apport pour constituer le bain de fusion et après refroidissement le cordon de soudure. [4]

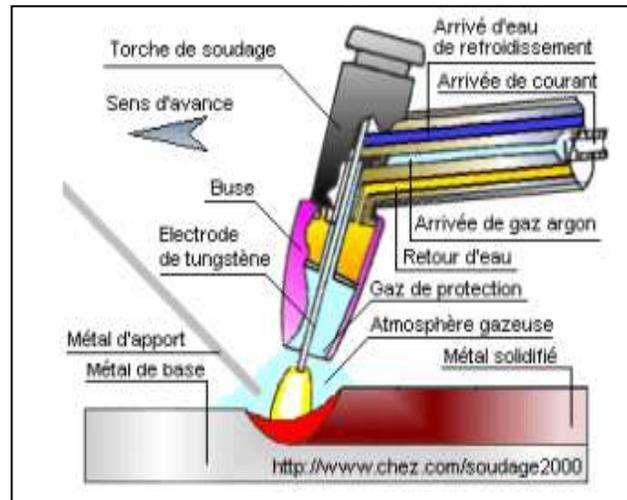


Figure 20 : Principe de soudage par TIG. [4]

Une variante existe appelée TIG FORCE, sa pénétration peut souder des pièces en une fois.

La torche à une 2^{ème} arrivée de gaz dans la buse .

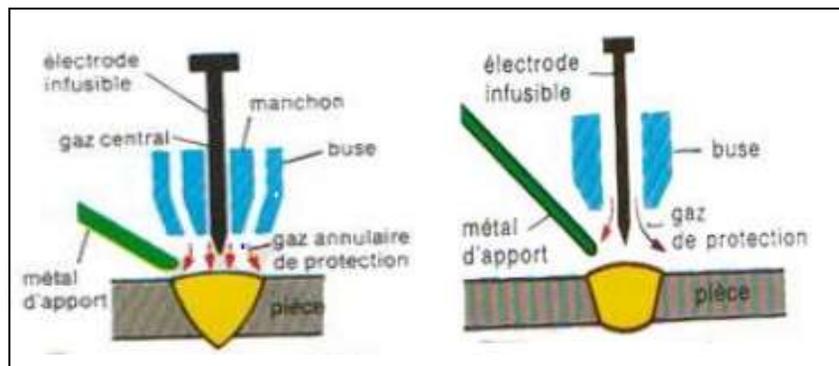


Figure 21 : Schéma représentant la différence entre TIG et le TIG FORCE. [4]

Le bain de fusion est protégé de l'atmosphère externe par un cône invisible de gaz. Une protection supplémentaire (protection envers) est nécessaire pour les aciers inoxydables, titane, ... Elle évite le rochage, c'est un noircissement et croute de la soudure (ex trainard, chambrage,...).[4]

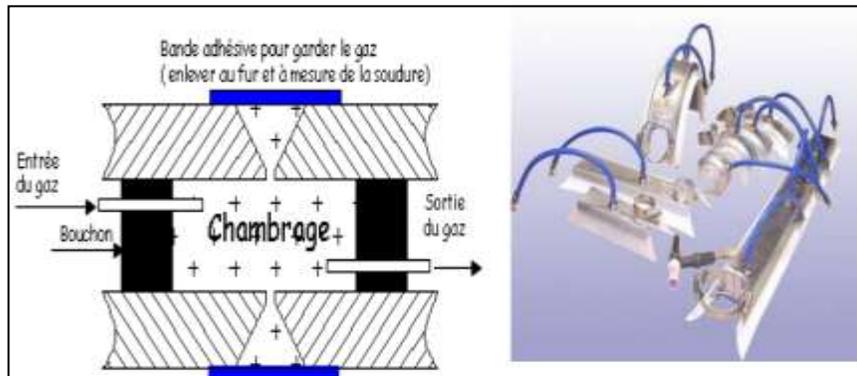


Figure 22 : Bain de fusion protégé. [4]

I.10.4.2.Utilisations

➤ TIG

- Simple d'emploi ;
- Travail fin et précis ;
- Large gamme d'épaisseur ;
- Très bonnes qualités de joint et bonnes caractéristiques mécaniques ;
- Soudage dans toutes les positions ;
- Procédé automatisable.

➤ TIG FORCE (les plus du TIG)

- Amélioration de la productivité et de la pénétration ;
- Soudage 1 passe bord à bord sans préparation jusqu'à 6 mm ;
- Diminution de la consommation de métal d'apport et déformations.

I.10.4.3.Matériaux concernés

Suivant le type de courants électrique on constate :

- Courant continu : symbole DC : Aciers ordinaire, aciers inoxydable, cuivre, titane...
- Courant alternatif symbole ~ AC : aluminium.

I.10.4.4.Produit d'apport – gaz – matériel

Un générateur électrique fournit le courant continu ou alternatif (intensité de 5 à 300 A) réglages suivant Ø du fil, la position de soudage, le type d'assemblage, matière. La polarité de l'électrode est toujours négative en courant continu (polarité directe).

Les électrodes de tungstène sont codifiées suivant leur composition : ex Tungstène pur pour acier (extrémité verte), Tungstène thorié aluminium (extrémité rouge). Le diamètre varie de (\emptyset 0,8 mm à \emptyset 4,0 mm) suivant l'intensité de travail.

Le diamètre du métal d'apport suivant la nature du métal de base varie de \emptyset 0,8 mm à \emptyset 8 mm

Le débit du gaz de protection est de 5 à 25 litres/minute. Soit pur ou en mélange : Argon, Argon + Hélium, Argon + H₂, ... suivant le type de matériaux à souder. [4]

I.10.5.Procédé 311 : Oxyacéthylique

I.10.5.1.Principe

Le procédé de soudage oxyacétylénique OA (311) : Est un soudage à la flamme autogène. Il est réalisé à partir de la chaleur d'une flamme née de la combustion d'un gaz combustible (acétylène) et d'un gaz comburant (l'oxygéné). La température de la flamme peut atteindre les 3200° Celsius. Le métal d'apport est amené manuellement dans le bain de fusion. Le débit d'un chalumeau soudeur s'exprime en litres d'acétylène par heure. [4]

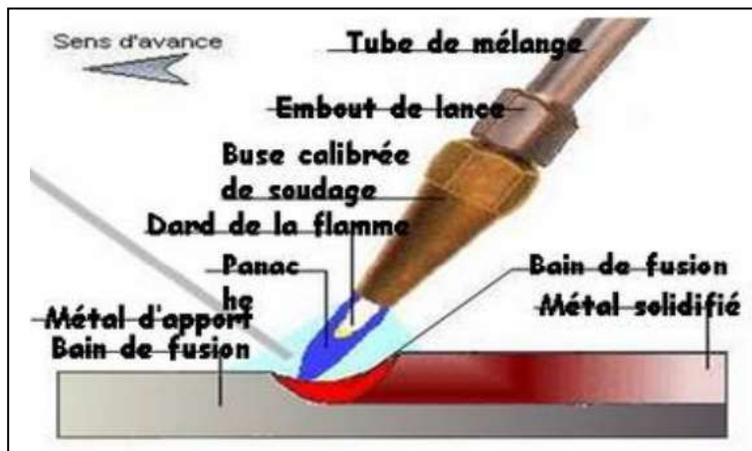


Figure 23 : Principe de soudage par oxyacétylénique. [4]

I.10.5.2.Réglage du débit de la buse

Le réglage du débit de la buse soit 100l/h par millimètre d'épaisseur (à plat), 125l/h par millimètre d'épaisseur (angle intérieur) ou 75 l/h par millimètre d'épaisseur (angle extérieur).

I.10.5.3.Choix du métal d'apport

- Epaisseur de la tôle $e + 1 \text{ mm}$

I.10.5.4.Utilisations

Ce procédé est très souvent utilisé pour :

- Tôle fine ;
- Tube de petit diamètre (chauffagiste) ;
- Facile de déplacer le poste sur un chantier ;
- Déformation importante ;
- Très onéreux et lent.

Il est maintenant remplacé par les procédés de soudage à l'arc électrique.

I.10.5.5.Matériaux concernés

Permet le soudage de différents métaux comme l'acier, la fonte, l'aluminium, le cuivre...

I.10.5.6.Produit d'apport – gaz – matériel

- **Gaz**
 - L'acétylène : ogive marron, tuyau rouge, pression de la bouteille 15 bar, pression d'utilisation 0.2 à 0.8 bar. Il est obtenu par réaction de l'eau sur du carbure de calcium.
 - L'oxygène : ogive blanche, tuyau bleu, pression de la bouteille 200 bar, pression d'utilisation 1 à 2.5bar. Il est obtenu par liquéfaction de l'air.

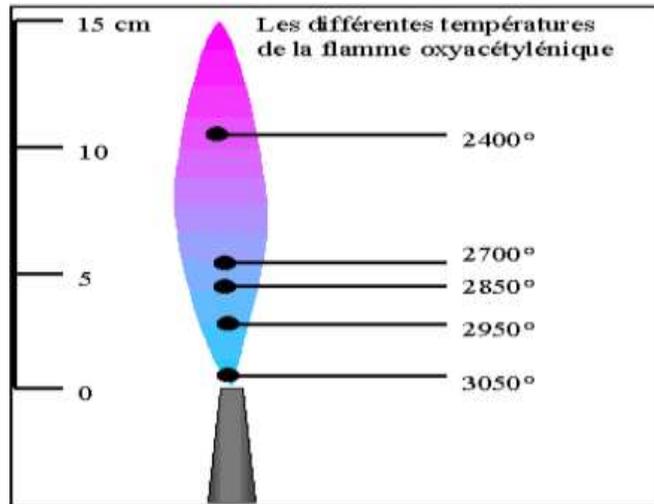


Figure 24 : Les différentes températures de la flamme oxyacétylénique. [4]

Les buses sont composées d'un orifice calibré de sortie du mélange gazeux. Ce débit peut varier de 5 à 5000 litres par heure.

Le métal d'apport suivant la nature du métal de base (baguette de fil de Ø 0,8 mm à Ø 4,0 mm). [4]

I.11.Comparatif des procédés

Tableau N° 05 : Comparatif des procédés. [4]

Procédé	GAZ	Arc électrique		
	OA	Electrode enrobée	MIG-MAG	TIG
Fusion du métal	La flamme crée un bain de métal en fusion	Sous l'effet de l'arc électrique, le métal de base est fondu, il y a formation d'un bain de fusion		
N° procédé	311	111	MIG 131 MAG 135	141

Apport de métal	Baguette de métal d'apport	Une électrode	Une électrode fusible (fil)	Baguette de métal d'apport
Sens de Soudage à plat	De droite à Gauche	De gauche à droite	De droite à gauche en poussant	De droite à gauche
Métal à souder	Acier, fonte, Aluminium cuivre	Acier, inox, fonte, aluminium	Acier, inox, fonte, aluminium, cuivre	Acier, inox, fonte, aluminium, cuivre, titane
Rentabilité du procédé	Lent et très Couteux	Soudure de très bonne qualité	Procédé Rapide	Très haute qualité

I.12.Designation des soudures

Les plans de fabrication d'un ensemble soudé comporte souvent des indications graphiques particulières relatives à l'exécution des soudures. Cette symbolisation graphique est normalisée suivant la norme NF EN 22553 d'Aout 1994 et comporte plusieurs éléments symboliques. [4]

I.12.1.Représentation normalisée des soudures

Sur les dessins deux types de représentations sont utilisées :

a) Représentation simplifiée

Elle utilise peu de symboles, elle est réalisée à partir de triangle ou de vé noircis chaque fois que la vue correspond à une section droite du cordon (vue de face ou coupe) et par succession de petit trait curviligne dans les autre cas (vue de dessus).

I.12.2.Symbolisation élémentaires

sur bords relevés complètement fondus		JL	Reprise à l'envers		
sur bords droits		II	D'angle		
en V		V	Bouchon ou entaille		
en demi V		V	Par points		
en Y		Y	En ligne continue avec recouvrement		
en demi Y		Y			
en U (ou en tulipe)		U			
en demi U (ou en J)		U			

Figure 27 : Symboles élémentaires. [4]

I.12.3.Symbolisation supplémentaire

Peut être complétée par un symbole supplémentaire de forme de la surface extérieur de la soudure en précisant son aspect. L'absence de symbole indique que l'aspect n'est pas précisé.

	Les bords doivent être convenablement mouillés		Soudure convexe		Soudure en V convexe		Soudure en V avec support envers provisoire
	Support à l'envers subsistant		Soudure concave		Soudure en tulipe plate		Soudure en V avec méplat convexe et reprise envers
	Support à l'envers enlevable		Soudure plate		Soudure d'angle concave		Soudure en V endroit et U envers plate

Figure 28 : Symbolisation supplémentaire. [4]

I.13.Préparation des joints à souder

La pièce doit être préparée avant le soudage avec certaines règles, qui peuvent être établie dans le DMOS. Les joints à souder doivent être sans peinture, ni graisse, oxydation...et blanchis (meule) pour éviter les impuretés dans la soudure.

Suivant l'épaisseur de la pièce (minimum 5 mm) un type de chanfrein approprié (réaliser par : oxycoupage ; usinage, meulage...), un talon (de 1.5 à 2mm) et un jeu qui est nécessaire pour une bonne pénétration (placer une âme d'électrode en épingle sur les surfaces pour obtenir le jeu approprié).

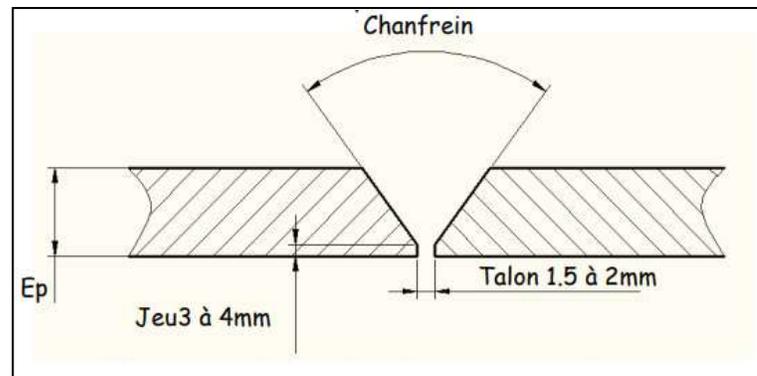


Figure 29 : Dimensions d'une pièce à souder. [4]

On placera des ronds (\varnothing est proportionnel au diamètre du tube ou de la masse de la pièce), ils sont répartis et soudés sur la périphérie de la préparation. Ils doivent être soudés à l'extérieur du chanfrein afin de ne pas abîmer le talon de la préparation. [4]

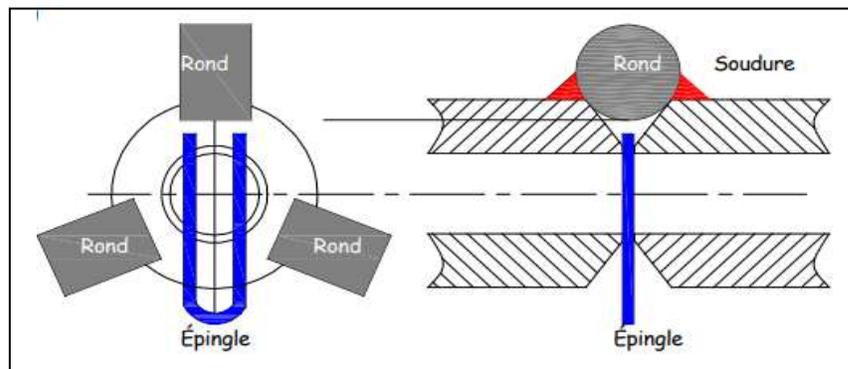


Figure 30 : Méthode de placement des ronds. [4]

I.14.Types de préparations

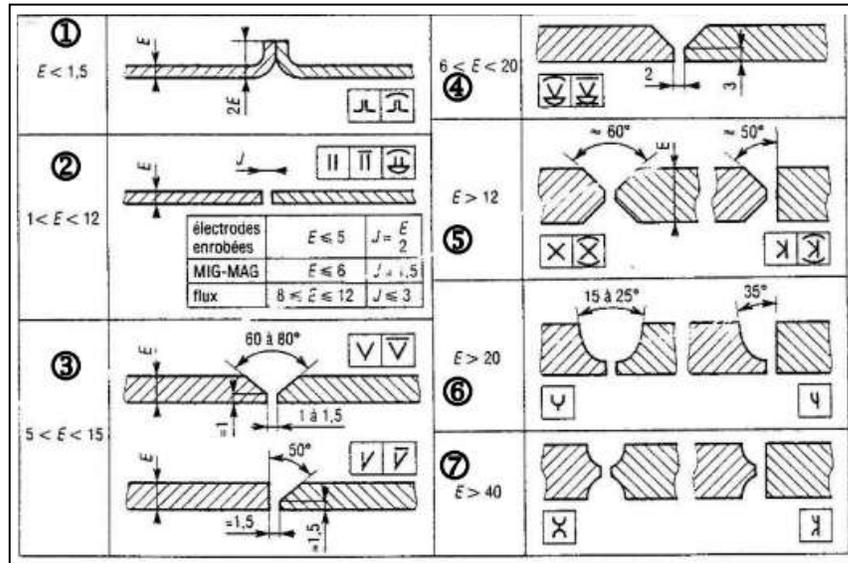


Figure 31 : Différents types de préparation des joints à souder. [4]

- 1 : Bord relevé ;
- 2 : Bord à bord ;
- 3 : Avec ou sans jeu ;
- 4 : Chanfrein Y ;
- 5 : Chanfrein X avec talon ;
- 6 : Tulipe ou U ;
- 7 : Double tulipe ou double U.

I.15.Sécurité lors du soudage

Lors du soudage des règles de sécurité doivent être appliquées :

- Le poste doit avoir aucune anomalie (fil électrique, tuyau, poste,...)
- Des rayons lumineux sont émis par l'arc de soudage et il peut aussi avoir des projections, c'est pour cela que l'on utilise des protections personnelles et collective, ainsi que de l'outillage :

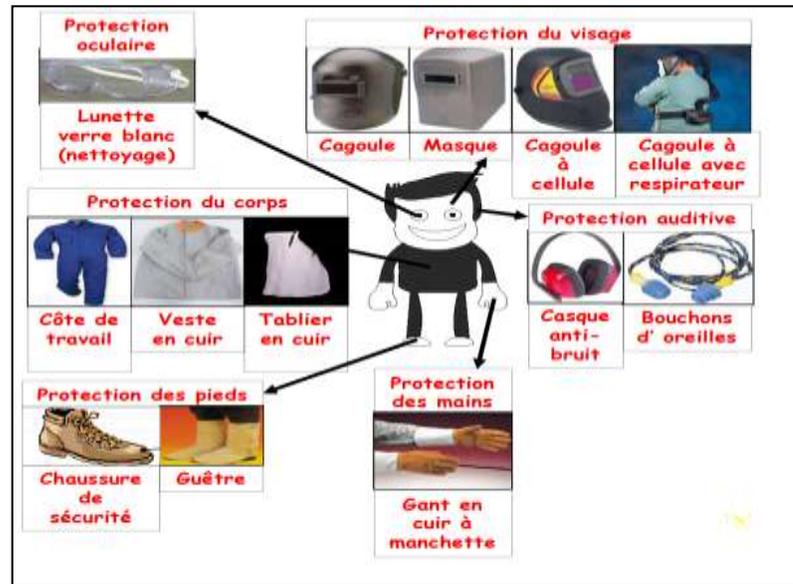


Figure 32 : Eléments de protection individuelle (E.P.I). [4]

- Un réglage approprié de l'intensité et ou du débit de gaz
- Préparer votre poste de travail pour travailler dans la meilleure position
- Installer les protections collectives :



Figure 33 : Moyens de protection collective. [4]

- Ventiler votre zone de travail contre les risques d'intoxication
- Nettoyer et ranger votre poste de travail [4]

I.16. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents procédés de soudage pour les matériaux métalliques, d'aborder leur classification. Quelques orientations concernant le choix d'un procédé de soudage pour une application donnée sont indiquées ainsi qu'un point important lié au soudage qui est l'hygiène et la sécurité des personnes.

Le principal but de ce chapitre est de faire une introduction générale sur les procédés de soudage des matériaux métalliques. Dans un premier temps, une classification rapide de ces procédés est abordée, ainsi que leur définition selon une application donnée.

*Chapitre II : Méthodes
de détection des défauts
de soudage*

II. Méthodes de détection des défauts de soudage

II.1.Introduction

Il existe plusieurs types de défauts de soudage ainsi que différentes méthodes pour les prévenir et les corriger. Ce chapitre vise à identifier et à décrire les défauts les plus courants en fonction du métal travaillé ou du procédé de soudage utilisé.

Il est possible de corriger les défauts et déformations des pièces, après une réalisation des châssis mécano-soudés par soudure. Il existe aussi plusieurs risques causés par soudage, quel que soit la technologie employée donc cela nécessite les moyens de prévention pour le faire en sécurité.

Ce chapitre expose les différents types de défauts et de déformations de soudage, ainsi que les différentes méthodes de détection de ces derniers.

II.2.Défauts de soudage

Toutes les soudures présentent des défauts et des déformations. Les défauts ou les discontinuités dont la taille est très importante sont appelés les défauts inacceptables. En pratique, les défauts de petites tailles sont peu nombreux et n'affectent pas les performances de l'assemblage soudé.

II.2.1.Déformations de soudage

Très souvent, après le soudage d'un ensemble, nous constatons la déformation de certains éléments, véritable problème que nous subissons et qu'il nous faut réduire par des moyens qui ne sont pas toujours favorables à la résistance mécanique du joint soudé.

Il est naturellement toujours préférable d'éviter les déformations à chaque fois que cela est possible ou de les réduire dans les meilleures conditions.

Nous admettons, pour simplifier l'approche du problème, de considérer séparément déformations et contraintes résiduelles alors qu'en fait, ce sont les contraintes qui engendrent, dans certaines conditions, des déformations. [7]

Si une déformation se produit on utilisera différentes méthodes de redressage : Marteler la soudure ; Redresser la pièce à la presse ; Chaude de retrait (chauffer et refroidir).

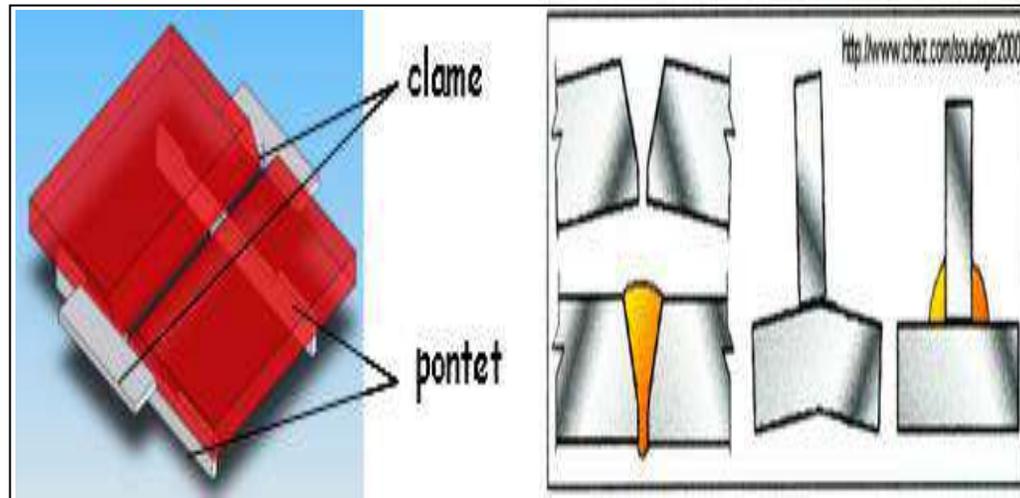


Figure 34 : Déformation de soudage. [4]

II.2.1.1.Types de déformations

a. Les déformations longitudinales

Le raccourcissement de la zone soudée peut s'expliquer comme étant la conséquence d'une force dite « de retrait ». La ligne d'application de cette force se trouvant au centre d'inertie de la surface où sont concentrées les contraintes résiduelles de traction (g).

La distance de (G) à (g) provoque un moment de flexion tel que :



$$M_f = F_r * k \quad (1)$$

Lorsque (g) se confond avec (G), soit $K = 0$, le moment de flexion est nul.

Nous avons donc dans ce cas une compression pure, donc pas de déformation de flexion.

C'est une disposition constructive intéressante car elle permet, dans le sens longitudinal, des déformations minimales. [7]

b. Les déformations dues au retrait transversal

1. La rotation angulaire ($R\alpha$)

Ce sont les plus faciles à prévoir, par pré-déformation angulaire ou par bridage en position (si le matériau le permet).

2. L'effet de pliage

Il apparaît dans le cas des cordons d'angle. C'est surtout la largeur (h) du cordon qui provoque l'effet de pliage.

Dès que l'épaisseur est suffisante, (c) devient négligeable. L'effet de pliage (c), pour une gorge de valeur (a), est proportionnel à la largeur de l'aile ou de la semelle (l)...

Les déformations en cours de soudage méritent un examen sérieux, au regard des phénomènes mécaniques et thermiques du joint soudé. Elles ne sont pas une « fatalité », nous pouvons, dans bien des cas, les prévoir, les éviter ou les compenser avant soudage, au moins pour les cas les plus courants. L'absence de modèle mathématique qui permettrait de manière rigoureuse la prévision et la compensation des déformations ne doit pas nous dispenser d'en prévoir le sens, le type, d'en chiffrer au mieux l'importance, et de vérifier l'exactitude de la prévision après soudage. [7]

II.2.2.Fissurations

Les fissurations constituent l'un des défauts de soudure les plus fréquents. Elles sont causées par la présence de tensions internes trop importantes à l'intérieur du métal soudé.

L'utilisation d'un métal d'apport incompatible avec le métal de base, un cordon trop petit ou des tensions internes créées par le retrait peuvent être à l'origine des fissures. Le bon choix du métal d'apport, un préchauffage approprié, une bonne préparation des joints et la formation d'un cordon respectant les dimensions exigées peuvent donc prévenir les fissures.

Les fissures dans un métal sont divisées en deux catégories selon l'endroit où elles apparaissent :

- ☞ Les fissures peuvent être localisées dans le métal fondu ; elles dépendent alors de la nature du métal d'apport et des conditions d'exécution de la soudure.
- ☞ Les fissures peuvent aussi se retrouver dans le métal de base, dans la zone de liaison ; ces dernières sont généralement reliées à une plus faible soudabilité du métal.

On peut aussi distinguer deux types de fissurations selon le moment où elles surviennent à la suite d'une soudure : la fissuration à chaud et la fissuration à froid. [8]

Le tableau (6) présente les causes les plus fréquentes de fissurations à chaud et à froid, et les moyens de les prévenir.

Tableau N°6 : Causes et moyens de prévention liés à la fissuration. [8]

Type de fissuration	Causes	Moyens de prévention
Fissuration à chaud	<ul style="list-style-type: none"> – Joints trop étroits – Présence d'impuretés dans la soudure (soufre, phosphore) – Métal d'apport incompatible avec le métal de base – Cordon trop petit – Trop de retrait durant ou après le soudage 	<ul style="list-style-type: none"> – Bonne mesure des angles des chanfreins – Préchauffage et chauffage en cours de soudure – Bon choix du métal d'apport – Refroidissement lent – Traitement thermique après soudage (normalisation, recuit) – Cordon suffisamment large, réduction de la vitesse au besoin – En cas de retrait, léger retour en arrière et ajustement de la procédure de soudage
Fissuration à froid	<ul style="list-style-type: none"> – Hydrogène coincé dans la soudure – Tensions internes résiduelles importantes 	<ul style="list-style-type: none"> – Préchauffage et chauffage en cours de soudure – Refroidissement lent – Utilisation d'électrodes basiques – Entreposage des électrodes dans un four, au chaud – Traitement thermique après soudage (normalisation, recuit) – Dessoudage (au besoin)

a. Fissuration à chaud

Dans la zone fondue ZF, les fissurations à chaud, surviennent aux températures élevées sont relatifs à la solidification. Pour réduire ou écarter le risque de fissuration, le niveau de contraintes résiduelles doit être réduit au minimum en agissant sur les séquences de soudage, le taux d'hydrogène diffusible dans le bain de fusion aussi bas que possible et la durée de refroidissement (ΔT 800 - 500) suffisante pour l'obtention d'une structure favorable.

b. Fissuration à froid

Dans la ZAT : La fissuration à froid survient après que le métal est refroidi (aussi appelée fissuration différée) et la fissuration au réchauffage.

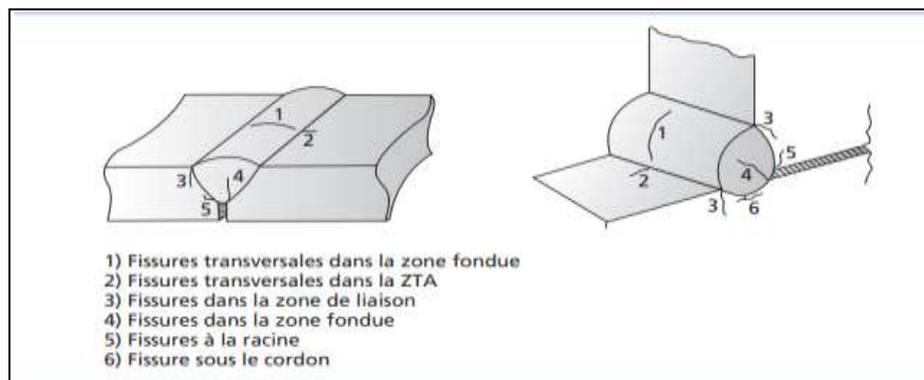


Figure 35 : Types de fissures à froid. [9]

II.2.3.Soufflures

Les soufflures sont des défauts creux, généralement sphériques, formés par la présence de gaz quant aux piqûres, ce sont plus précisément des soufflures débouchantes (en surface).

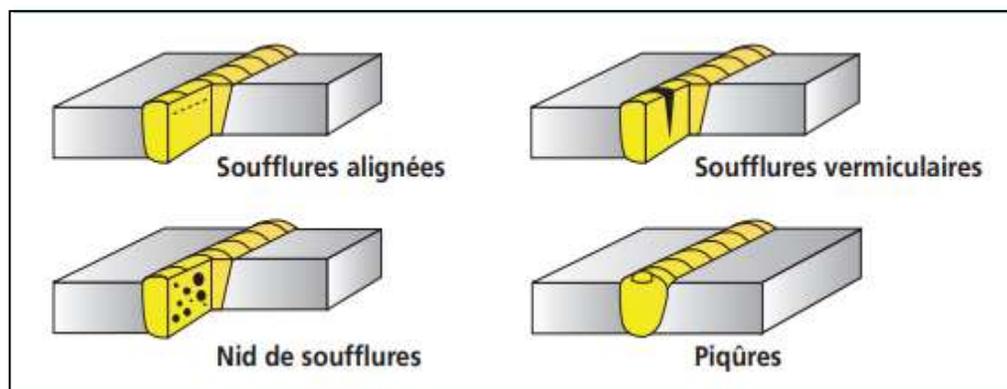


Figure 36 : Types des soufflures. [8]

Les soufflures peuvent être causées par la présence de courants d'air, un manque de gaz de protection, la présence d'une substance grasseuse sur le métal de base ou le métal d'apport, l'obstruction de la buse, un mauvais angle de soudage, un arc trop long, de l'eau ou des impuretés dans le joint à souder.

Pour prévenir les soufflures, on doit s'assurer que la surface du métal de base est propre de même que l'équipement utilisé. Il est également important de bien protéger le bain de fusion. Une intensité de courant trop faible ainsi qu'une vitesse de soudage trop élevée peuvent aussi être responsables de la formation de soufflures. Enfin, les piqûres sont généralement causées par le contact entre l'électrode et le métal de base. [8]

II.2.4. Inclusions

Les inclusions désignent l'incorporation, dans le cordon de soudure, d'un composé étranger. On distingue différents types d'inclusions :

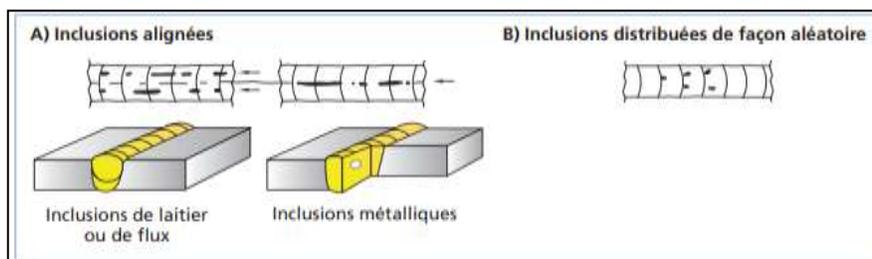


Figure 37 : Types d'inclusion. [8]

Le tableau (7) décrit les différents types d'inclusion que l'on peut trouver parmi les défauts de soudage.

Tableau N° 7 : Types des inclusions. [8]

Type d'inclusion	Description
Inclusion solide	Corps solide étranger emprisonné dans la masse de métal fondu (ex. : poussières)
Inclusion de laitier	Résidu de laitier emprisonné dans le métal fondu. Les inclusions de laitier peuvent être alignées (ou en chapelet), isolées ou distribuées de façon aléatoire.
Inclusion de flux	Résidu de flux emprisonné dans la soudure. Les inclusions de flux peuvent être alignées (ou en chapelet), isolées ou distribuées de façon aléatoire.
Inclusion d'oxyde	Oxyde métallique emprisonné dans le métal fondu au cours de la solidification
Inclusion métallique	Particule de métal étranger emprisonnée dans la masse du métal fondu (ex. : le tungstène lors du soudage GTAW, le cuivre et tout autre métal étranger)

II.2.5. Défauts géométriques du cordon

Ce sont des défauts associés à une mauvaise forme de la surface du cordon. Le cordon peut être trop convexe ou trop concave (Tableau 8).

Tableau N° 8 : Défauts d'un cordon de soudure. [8]

Aspect du cordon	Causes possibles	Moyens de prévention
Trop large	<ul style="list-style-type: none"> – Vitesse d'avance trop lente – Mauvais angle de soudure – Arc trop long 	<ul style="list-style-type: none"> – Augmenter la vitesse. – Corriger l'angle. – Rapprocher la torche (ou l'électrode).
Trop étroit	<ul style="list-style-type: none"> – Vitesse d'avance trop rapide 	<ul style="list-style-type: none"> – Diminuer la vitesse.
Irrégulier	<ul style="list-style-type: none"> – Intensité du courant trop faible – Mauvais angle de soudure – Arc irrégulier – Mouvements du soudeur non stables 	<ul style="list-style-type: none"> – Augmenter l'intensité. – Corriger l'angle. – Vérifier que le métal de base et l'électrode sont propres, que l'électrode est appropriée, que le courant est constant, que la haute fréquence fonctionne et qu'il n'y a pas de matériel magnétique près de l'arc. – S'assurer que la vitesse d'avance et la longueur d'arc sont stables et ne varient pas.

II.2.6. Défauts de pénétration

Un excès de pénétration est un excès de métal à la racine. Pour une soudure multi passe, il s'agit d'un excès de métal à travers le cordon déjà déposé.

Un manque de pénétration constitue une absence partielle de fusion des bords à souder qui laisse un espace entre ceux-ci. Le manque de pénétration constitue souvent une conséquence d'un courant trop

faible ou d'une vitesse d'avance trop élevée. Il est aussi possible que le chanfrein soit trop étroit ou absent, ou que l'arc soit trop long. Dans le cas de pièces épaisses, un préchauffage insuffisant peut aussi être à l'origine d'un manque de pénétration de la soudure (Tableau 9). [8]

Tableau N° 9 : Défauts de pénétration, causes et moyens de prévention. [8]

Défaut de pénétration	Causes possibles	Moyens de prévention
Excès de pénétration	<ul style="list-style-type: none"> – Vitesse d'avance trop lente – Intensité du courant trop forte – Mauvaise préparation des bords – Trop de distance entre les pièces – Arc trop court 	<ul style="list-style-type: none"> – Augmenter la vitesse. – Diminuer l'intensité. – Utiliser le joint approprié. – Rapprocher les pièces. – Éloigner la torche.
Manque de pénétration	<ul style="list-style-type: none"> – Vitesse d'avance trop élevée – Intensité du courant trop faible – Chanfrein trop étroit ou absent – Métal de base trop épais et froid 	<ul style="list-style-type: none"> – Diminuer la vitesse. – Augmenter l'intensité. – Élargir le chanfrein ou modifier l'écartement des pièces. – S'assurer que le métal de base est préchauffé de façon appropriée.

II.2.7. Collage ou manque de fusion

Dans ce cas, le métal de base est non fondu, ce qui crée un manque de liaison entre le métal déposé et le métal de base. Le manque de fusion diminue la section efficace de la soudure. Le collage peut être latéral, entre passes ou à la racine de la soudure. Ce type de problème risque de survenir si le courant de soudage est trop faible ou si la vitesse est trop grande. Un bon préchauffage des pièces épaisses permet de prévenir ce défaut. [8]

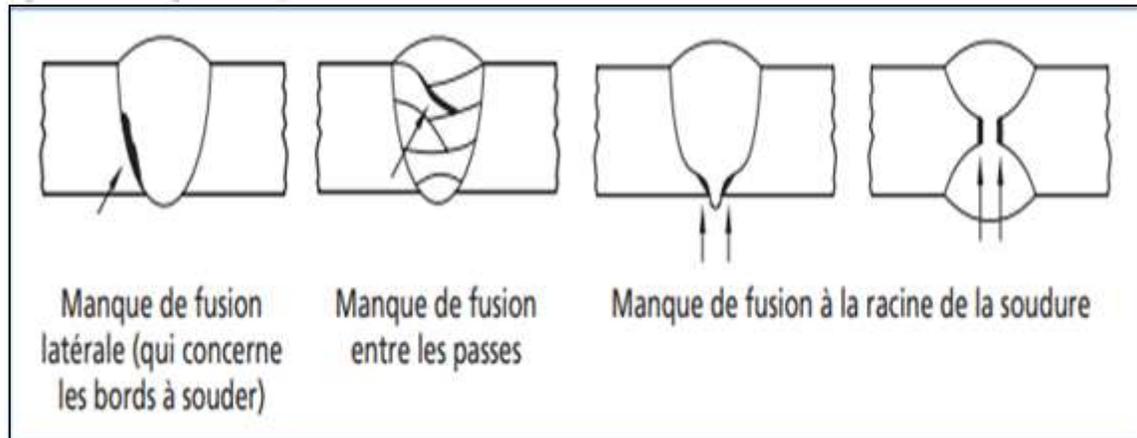


Figure 38 : Collage ou manque de fusion. [8]

II.3.Causes et moyens de prévention de quelques défauts de soudage

Tableau N° 10 : Causes et moyens de prévention de quelques défauts. [8]

Défauts	Causes	Moyens de prévention
Soufflures	<ul style="list-style-type: none"> – Emprisonnement de gaz dans la soudure – Présence d'huile à la surface du métal de base ou du métal d'apport – Courant de soudage trop faible ou vitesse trop élevée – Trop grand écartement à la racine 	<ul style="list-style-type: none"> – Bien assécher le métal et protéger le bain de fusion. – Nettoyer le métal avec un solvant. – Augmenter l'intensité, réduire la vitesse d'avance ou préchauffer la zone de soudure. – Bien positionner les pièces.
Mauvaise fusion des Bords	<ul style="list-style-type: none"> – Courant de soudage trop faible – Vitesse de soudage trop grande 	<ul style="list-style-type: none"> – Augmenter l'intensité du courant. – Réduire la vitesse d'avance et préchauffer les pièces épaisses. – Effectuer un bon mouvement oscillatoire. – Bien disposé les cordons dans les soudures multi passes.
Inclusions de tungstène	<ul style="list-style-type: none"> – Fonte de l'électrode causée par une chaleur trop élevée – Électrode en contact avec le bain de fusion 	<ul style="list-style-type: none"> – Réduire l'intensité de courant. – Bien choisir les paramètres de soudage (diamètre de l'électrode et polarité du courant). – Maintenir l'arc de soudage suffisamment long.

II.4.Méthodes de détection des défauts de soudage

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la qualité d'une soudure. Les défauts internes doivent être détectés par rayon X ou par ultrasons. Pour les défauts débouchants, il existe quatre principales méthodes de détection. [8]

Tableau N° 11 : Détection des défauts débouchants de soudage. [8]

Méthodes	Description
Contrôle dimensionnel	Prise des mesures de la soudure pour assurer sa conformité avec les spécifications.
Contrôle visuel	Examen de la soudure, à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe, afin de détecter certains défauts qui débouchent en surface, l'excès ou le manque de métal d'apport, les caniveaux et les défauts de forme du cordon (convexité, concavité).
Contrôle par ressuage	Permet de déceler les petites fissures de surface par l'application d'un liquide teinté, très fluide ; après le nettoyage à l'aide d'un solvant, le liquide qui a coulé au fond des fissures demeure. Ce type de contrôle s'applique à tous les matériaux, mais selon le liquide utilisé, il nécessite parfois l'usage d'une lampe à ultraviolet.
Contrôle magnétique	On recouvre le métal d'une poudre magnétique puis on le soumet à un champ magnétique. Les imperfections provoquent une répartition non uniforme de la poudre. Cette technique n'est cependant applicable qu'aux métaux magnétiques.

Les contrôles sont réalisés sur des échantillons ou des fabrications en série. Ils permettent de contrôler la nature du métal et de contrôler la soudure. Ils sont classés en deux catégories :

- **Non destructifs** : contrôle visuel et dimensionnement, ressuage, radiographie, magnétoscopie, ultrason, mise sous pression...

Ils sont effectués suivant des normes par des personnes certifiées COFREND (Confédération Française pour les Essais Non Destructifs).

➤ **Destructifs** : macrographie, essais de pliage, traction, dureté, résilience, ...

Pour ces essais des éprouvettes sont prélevées (métal de base ou de la soudure). [4]

II.4.1. Contrôle non destructif

II.4.1.1. Contrôle visuel et dimensionnel

Le contrôle visuel est une technique essentielle qui donne un aperçu de l'état extérieur d'une pièce. Il est destiné à déceler les défauts tels que les fissures, les inclusions, et le manque de pénétration dans la soudure. Il implique l'utilisation de gabarits et de calibres. Pour le cas de la soudure on utilise des loupes, des caméras vidéo, des calibres et des règles graduées. [10]

Le contrôle visuel consiste à vérifier différents critères :

- Une surface (nettoyage des bords à souder), préparation de chanfrein (angle et bords), Soudure (pénétration, épaisseur du cordon à une vérification visuelle de son état et dimension). Il est réalisé dans à l'aide d'une loupe, de cales, calibre de soudage ou jauge, miroir. [4]

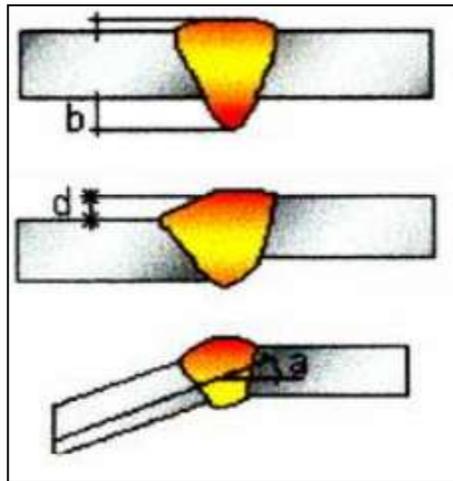


Figure 39 : Contrôle visuel. [4]

II.4.1.2. Ressuage

Le contrôle par ressuage permet de détecter des défauts de compacité, parfois très fins, débouchant en surface et non obstrués (fissures, porosités, tapures, replis, manque de liaison) sur des matériaux métalliques non poreux et non absorbants. Après un nettoyage soigné de la surface à contrôler, le contrôle

est réalisé à l'aide de produits (les pénétrants) à très faible tension superficielle qui pénètrent par capillarité dans les défauts débouchant en surface ;

- 1) Nettoyage de la surface à ressuier et application du pénétrant, laisser pénétrer 10 à 40min ;
- 2) Nettoyage à l'eau du pénétrant à l'aide d'une éponge ;
- 3) Appliquer le révélateur afin de voir apparaitre les défauts. Et nettoyer à grande eau pour retrouver la surface d'origine.

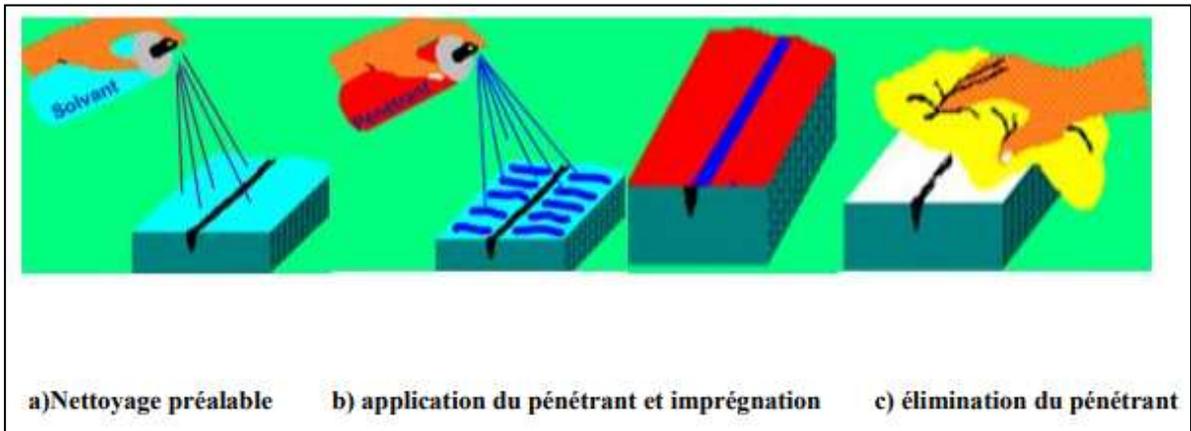


Figure 40 : Etapes de ressuage. [9]

Il se réalise facilement :

- Avant soudage : préparation des chanfreins ;
- Pendant le soudage : contrôle entre passes, gougeage d'une reprise envers ;
- Après soudage : défauts débouchant superficiels, étanchéité. [4]

II.4.1.3. Contrôle radiographique ou gamma graphique

La radiographie industrielle permet l'examen interne des défauts d'un objet en lui faisant traverser un rayonnement électromagnétique de courte longueur d'onde (rayons X et γ) et recueillir les variations d'intensité du faisceau sous forme d'image, pour la plus part, sur un film. La quasi-totalité des matériaux peuvent être examinés en radiographie et les épaisseurs peuvent être importantes... [10]

II.4.1.3.1.Principe de travail

Le contrôle radiographique par rayonnements ionisants (X ou gamma) permet de détecter des défauts internes de compacité souvent très fins (fissures, soufflures, inclusions, manque de liaison, manque de fusion) dans les parois des matériaux métalliques. Ce contrôle est réalisé à l'aide d'un tube générateur à rayons X ou d'une source radioactive gamma qui émettent des rayonnements ionisants.

Les rayons de faible longueur d'onde traversant la paroi du matériau irradié. Le faisceau impressionne le film radiosensible en fonction des rayonnements transmis à travers la pièce contrôlée pour donner naissance à l'image radiographique. La présence d'un défaut se traduit par une variation de l'absorption du rayonnement ce qui produit des taches blanches sur le film. [4]

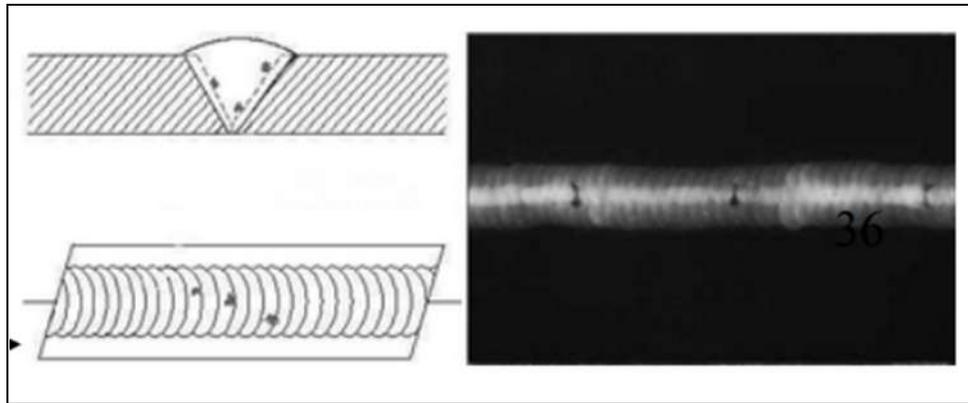


Figure 41 : Contrôle radiographique. [4]

II.4.1.3.2.Essais sous pression

Les essais sous pression sont réalisés en présence d'un ingénieur du service des Mines. Ces essais sont effectués à l'eau, l'air, l'huile... mis sous pression par une pompe. La pression d'essais est appliqué à un coefficient généralement de 1.5 fois. L'appareil essayé sous pression porte une plaque où sont inscrites les pressions d'utilisation et d'épreuve, la date de fabrication, la date d'épreuve, le nom du fabricant. Il reçoit après validation le poinçon de l'ingénieur des Mines. [4]

II.4.1.3.3. Génération des RX.

Les rayons X, mis en évidence Röntgen en 1895, sont créés en envoyant des électrons accélérés sur une cible en tungstène. On définit la longueur d'onde limite « λ_L » et la longueur d'onde maximale « λ_m » des rayons X qui sont reliés à la tension d'accélération des électrons V par les relations :

$$\lambda_L (nm) = \frac{1.24}{V (kV)} ; \lambda_m \approx 1.5 \lambda_L \quad (2)$$

Les rayons X ont des longueurs d'onde comprises entre 10^{-7} m et 10^{-12} m ; seuls les rayons X de longueur d'onde inférieure à $2.5 \cdot 10^{-10}$ m ont un pouvoir pénétrant suffisant pour être utilisés industriellement. Les rayons X sont absorbés par la matière, l'intensité du rayonnement subit un affaiblissement en fonction de l'épaisseur. En pratique, on considère la qualité d'un rayonnement X en fonction de la tension appliquée et de l'épaisseur de demi-absorption du matériau. [10]

Tableau N° 12 : Exemple sur l'application des rayons X sur quelques matériaux. [10]

Matériau	Épaisseur de demi-absorption (mm)			
	Aluminium	Fer	Cuivre	Plomb
Masse volumique ρ (g/cm ³)	2.7	7.86	8.9	11.34
Énergie du rayonnement				
20 keV	0.8	0.037	0.025	0.007
100 keV	15.1	2.5	1.8	0.15
200 keV	21.7	6.4	5.3	0.6
1 MeV	42	14.7	12.7	10
2 MeV	60	20.6	18	14

II.4.1.3.4. Production des rayons γ

Les rayonnements γ (gamma) sont créés par la désintégration spontanée des éléments radioactifs tels l'iridium 192 de période de 74 jours (ces éléments peuvent être naturels comme le radium 226 ou l'uranium 235). En pratique, la radiographie fait appel aux radioéléments artificiels mieux adaptés et peu coûteux. Les radio-isotopes sont obtenus par irradiation neutronique comme le cobalt 60 produisant un

spectre de raies d'émission λ caractérisé par deux niveaux d'énergie proches respectivement de (1.17) et (1.33) MeV. L'émission décroît de façon exponentielle dans le temps. On définit la période du radioélément (sa durée de vie) comme le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux atomiques actifs. Un facteur important est l'activité de la source radioactive, correspond au nombre d'atomes se transformant par unité de temps. Elle s'exprime en Becquerels (Bq), c'est le nombre de désintégrations par seconde et plus couramment en curies (Ci) sachant que :

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$$

En gammagraphie, il n'est pas utile de disposer d'une alimentation en eau et en électricité. La source peut se positionner dans des tubes de petits diamètre et rayonne dans toutes les directions ; ce qui permet une radiographie panoramique d'une cuve. L'utilisation des rayonnements ionisants exige des locaux spéciaux et doivent être transportés conformément au règlement de transport visant les marchandises dangereuses et les matières radioactives.[10]

Tableau N° 13 : Radioéléments utilisés en gammagraphie. [10]

Radioéléments utilisés en gammagraphie			
Éléments	Isotope	Période	Énergie (MeV)
Cobalt	⁶⁰ Co	5.3 ans	1.17 à 1.33
Iridium	¹⁹² Ir	74 jours	0.137 à 0.615
Césium	¹³⁷ Cs	30 ans	0.66

II.4.1.4.Magnétoscopie (méthode du courant de Foucault)

Le contrôle magnétoscopique permet de détecter des défauts débouchant (obstrués ou non) et sous-jacents (de 1 à 2 mm environ) sous la surface des matériaux métalliques ferromagnétiques (les aciers inoxydables, les alliages de cuivre et les alliages d'aluminium sont exclus de cette application). Un magnétique avec l'application simultanée en surface d'une liqueur magnétique colorée ou fluorescente champ magnétique important (>2400 A/m) traverse la pièce à contrôler jusqu'à saturation constituée de traceurs comme produit indicateur. Il existe différents types de méthode :

- a. Par circuit magnétique fermé

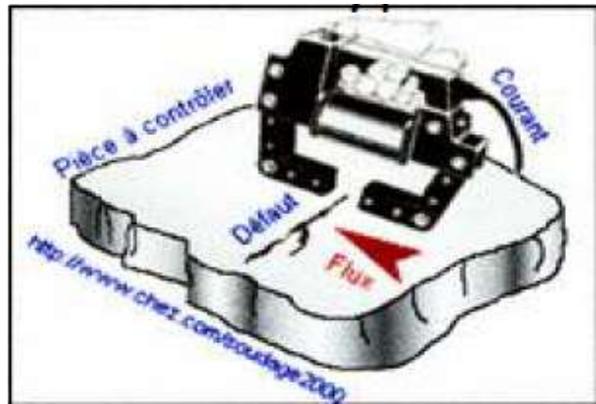


Figure 42 : Méthode du courant par circuit magnétique fermé. [4]

b. Par circuit magnétique ouvert

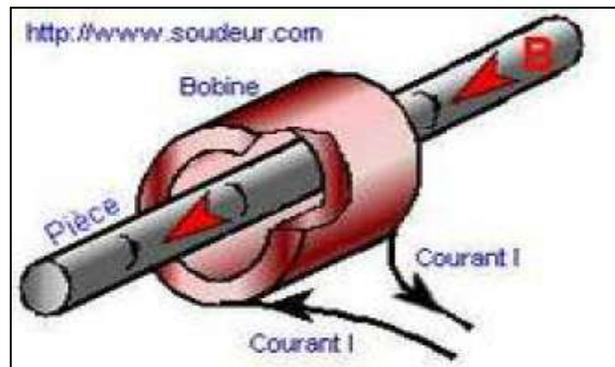


Figure 43 : Méthode du courant par circuit magnétique ouvert. [4]

c. Aimantation transversale par passage de courant électrique

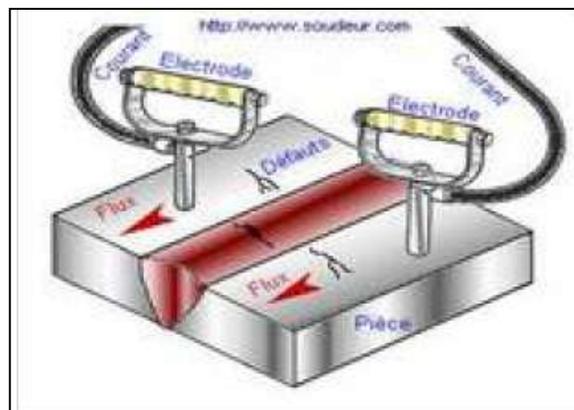


Figure 44 : Méthode d'alimentation transversale par passage de courant électrique. [4]

II.4.1.5. Contrôle par Ultrason

Le contrôle non destructif par ultrasons est un procédé de recherche du manque de matière (défaut) dans un matériau. Il permet de localiser et de dimensionner les discontinuités (défauts) à l'aide d'ondes acoustiques. Le contrôle US consiste à observer les échos produits par un manque de matière lors de la propagation d'une vibration de très haute fréquence et de très courte durée dans le matériau. [10]

II.4.1.5.1. Principe de travail

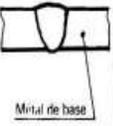
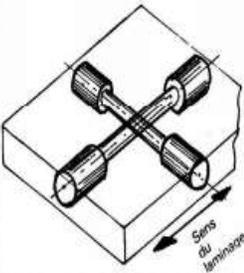
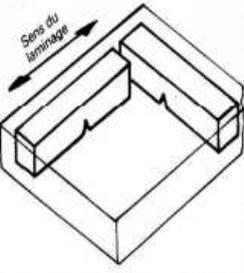
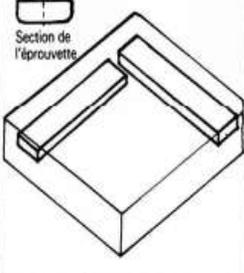
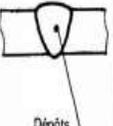
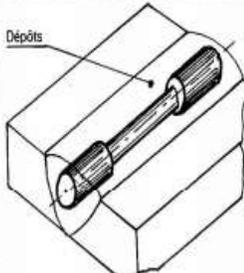
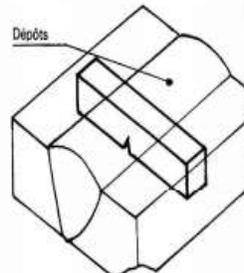
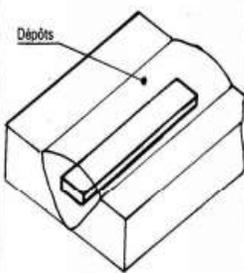
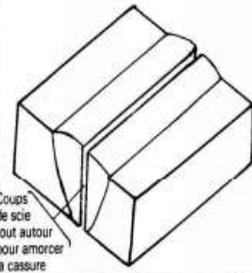
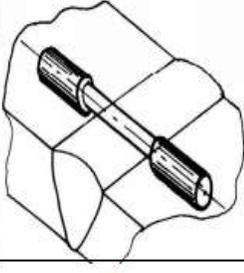
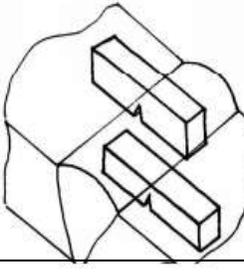
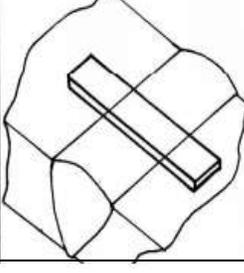
Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission, la réflexion et l'absorption d'une onde ultrasonore se propageant dans la pièce à contrôler. Le train d'onde émis se réfléchit dans le fond de la pièce et sur les défauts puis revient vers le transducteur (qui joue souvent le rôle d'émetteur et de récepteur). L'interprétation des signaux permet de positionner le défaut. Cette méthode permet la possibilité de trouver des défauts en profondeur. Par contre, c'est une méthode lente car il faut faire un balayage mécanique exhaustif de la pièce. Il est d'ailleurs souvent nécessaire de contrôler plusieurs surfaces de la pièce pour pouvoir faire une représentation tridimensionnelle des défauts. Une onde ultrasons est émise par un palpeur placé sur la surface du matériau à contrôler et se propage dans le matériau. Il existe des méthodes par contact (le palpeur est en contact avec la pièce) ou par immersion (la pièce et le palpeur sont immergés dans de l'eau). Dans le cas de la méthode par contact, il est nécessaire d'ajouter un couplant (eau ou gel) entre le palpeur et la pièce pour assurer la transmission des ondes. Les échos sont représentés par des pics sur l'écran. [4]

II.4.2. Contrôles destructifs

II.4.2.1. Eprouvettes pour essais

Elles sont prélevées, et usinées suivant des normes : dans le métal de base, le métal déposé ou la ZAT.
(Tableau 14)

Tableau N° 14 : Essais par éprouvettes. [4]

Position	Essai de traction	Essai de résilience KCV	Essai de pliage	Essai de compacité
<p>METAL DE BASE</p> 				<p>L'essai de compacité se pratique le plus souvent dans l'axe du cordon. Il consiste à casser l'éprouvette et à regarder sa texture.</p>
<p>METAL DEPOSE</p> 				
<p>ZONE AFFECTEE THERMIQUEMENT</p> 				<p>Essai de dureté</p> <p>L'essai de dureté est pratiqué localement à l'emplacement à contrôler.</p>

II.4.2.2. Macrographie

II.4.2.2.1. Définition

L'examen macroscopique (examen à l'œil nu) ou macrographie qui permet de révéler la structure métallographique d'une éprouvette soudée prise en travers de la soudure.

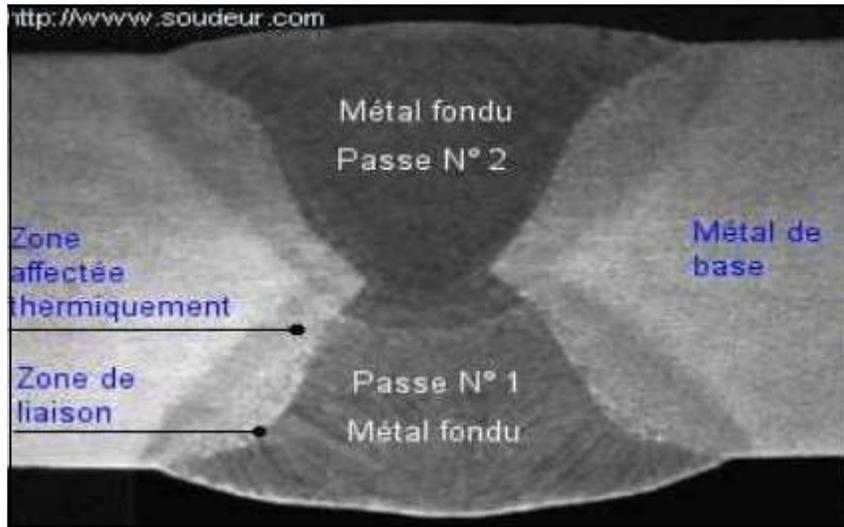


Figure 45 : Macrographie. [4]

II.4.2.2.2. Méthode

- ✓ Elle est coupée avec une meule à eau pour éviter les échauffements ou si elle est coupée à la meule, il faudra usiner les faces.
- ✓ Puis polis graduellement avec un touret sous eau et des disques abrasifs de granulométrie P120 à P1220, puis de feutre avec un ajout de des pates diamantées.
- ✓ Un réactif chimique (acide concentré) est appliqué sur la surface polie et révèle, par dissolution

II.4.2.2.3. Résultat

Cet examen permet de mettre en évidence :

- ✓ Le métal fondu (MF) ou zone fondue (ZF), la zone de liaison (ZL), la zone affectée thermiquement (ZAT), le métal de base (MB), la répartition des passes de soudure, la grosseur et la forme des grains, la structure dendritique des passes, la répartition d'inclusions de soufflures et de fissures, le fibrage et la déformation des grains. [4]

II.4.2.3. Essais de pliage

L'essai consiste à exercer sur une éprouvette, à température ambiante, une déformation plastique par pliage. Une seule face de l'éprouvette est mise en extension (endroit, envers ou coté). Le pliage est réalisé jusqu'à ce que l'une des branches de l'éprouvette fasse un angle alpha déterminé avec le prolongement de l'autre branche. La norme européenne de référence est la NF EN 910 Mai 1996. [4]

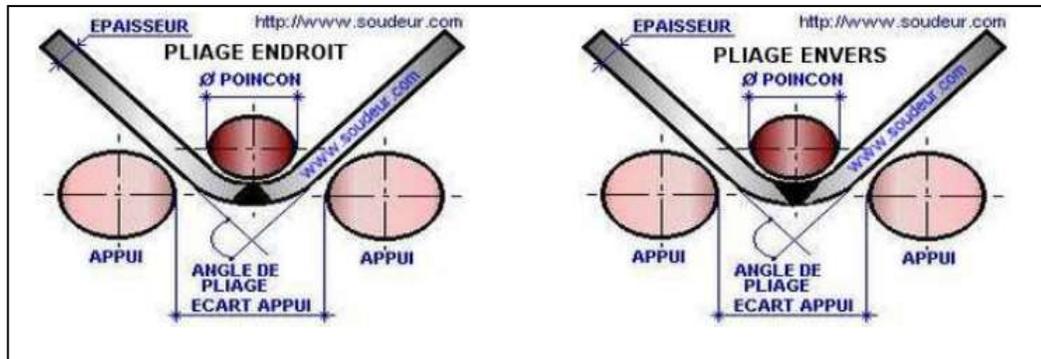


Figure 46 : Essai de pliage (endroit, envers). [4]

II.4.2.4. Essais de traction

L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette de section cylindrique ou prismatique à un effort progressif et croissant jusqu'à la rupture de la pièce d'essai. Cet essai est réalisé sur une machine spéciale qui enregistre les efforts et les allongements grâce à des capteurs d'extensomètre. L'essai permet de caractériser les propriétés mécaniques d'un matériau ductile. Cet essai est l'un des principaux critères de classement des matériaux. La norme européenne de référence est la NF EN 10002-1 Octobre 1990. [4]

II.4.2.4.1. Le diagramme conventionnel de traction

- ☞ La phase élastique est représentée par la ligne OB. L'éprouvette se déforme (Toute la partie uniforme s'allonge - loi de Hooke) sous l'action de la charge et revient approximativement à sa longueur initiale si la charge est supprimée.
- ☞ La phase plastique est représentée par la ligne BC. Les déformations de l'éprouvette sont permanentes et irréversibles. Le point B est la limite de l'élasticité.
- ☞ La phase de striction est représentée par la courbe entre F_m et D. La rupture de l'éprouvette est représentée par la lettre D. [4]

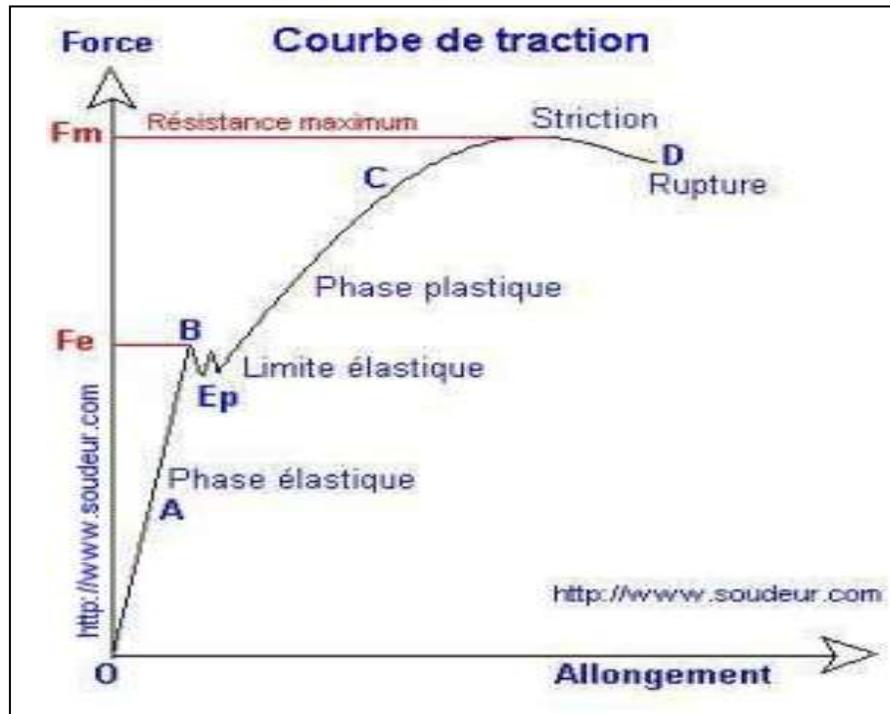


Figure 47 : Courbe de traction. [4]

II.4.2.5. Essais de dureté (H)

Différents types d'essais de dureté	
Type d'essai	Observations
$HB = \frac{0,102 \times 2(K \times 9,81 \times D \times D)}{3,14 \times D(D - \sqrt{D^2 - (d \times d)})}$	<p>Essai Brinell - HB</p> <p>Le pénétrateur est une bille en acier trempé ou carbure de tungstène de $\varnothing D$ sous une charge F en Newtons maintenue 15 secondes. On mesure le "d" de l'empreinte (d doit être compris entre 0,2 à 0,5 x D). $K = 30$ pour les aciers</p>
$HRC = 100 - e$	<p>Essai Rockwell C - HRC</p> <p>Le pénétrateur est un cône de diamant de 120° d'angle et de charge égale à 1373 N. On mesure l'accroissement "e" en profondeur ou enfoncement rémanent.</p>
$HRB = 100 - e$	<p>Essai Rockwell B - HRB</p> <p>Le pénétrateur est une bille en acier trempé de 1,6 mm de diamètre et de charge égale à 883 N. On mesure l'accroissement "e" en profondeur ou enfoncement rémanent.</p>
$HV = 0,189 \times \frac{F}{d \times d}$ $d = \frac{d1 + d2}{2}$	<p>Essai Vickers - HV</p> <p>Le pénétrateur est une pyramide droite à base carrée et d'angle au sommet de 136° sous une charge F. On mesure les diagonales "d" de l'empreinte.</p>

Figure 48 : Essais de dureté. [4]

L'essai consiste à appliquer sur une pièce à mesurer, un pénétrateur sous une charge d'appui F donnée. La dureté est mesurée par rapport aux dimensions de l'empreinte du pénétrateur laissée sur la surface du matériau contrôlé. L'empreinte est d'autant plus importante que le matériau est mou. Les essais de dureté caractérisent la résistance qu'offre un matériau à la pénétration. [4]

II.4.2.6. Essais de résilience (K)

L'essai de flexion par choc (essai de résilience ou essai de rupture fragile) consiste à mesurer le travail nécessaire pour rompre, à l'aide d'une masse pendulaire, un barreau usiné de forme carré de 1 cm^2 de section, entaillé en son milieu par une encoche (U ou V) et reposant sur deux appuis. Cet essai est réalisé sur une machine spéciale appelé mouton pendule rotatif de Charpy qui enregistre l'énergie absorbée par la rupture. L'essai permet de caractériser les propriétés de résistance d'un matériau aux chocs. La norme de référence est la NF EN 10045-1 Octobre 1990 et la NF EN 875 Novembre 1995. [4]

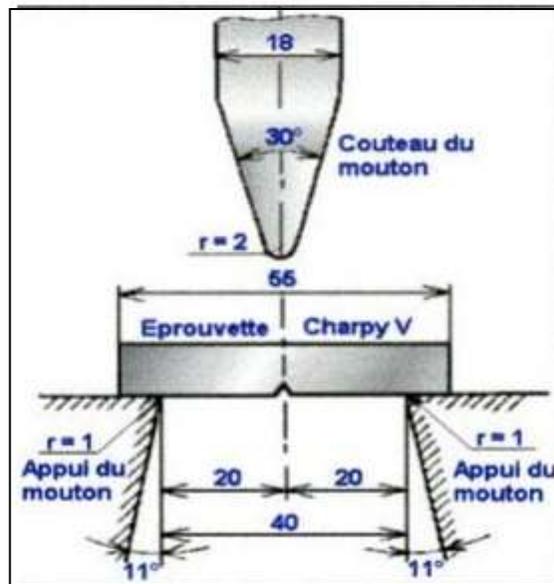


Figure 49 : Essai de résilience. [4]

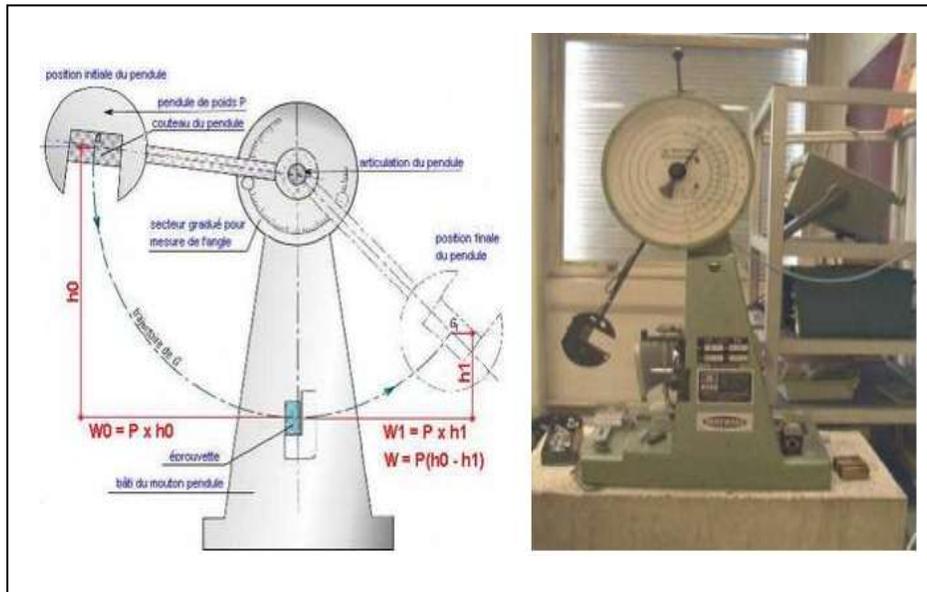


Figure 50 : Machine de mouton pendule rotatif de Charpy. [4]

II.4.2.6.1.Méthode

- ☞ Le couteau est écarté de la verticale à une hauteur correspondante à une énergie de départ de $W_0 = 300$ joules.
- ☞ Le couteau est libéré et vient frapper l'éprouvette.
- ☞ La hauteur de remontée du pendule est mesurée afin de calculer l'énergie non absorbée W_1 .
- ☞ Le calcul de l'énergie absorbée est la différence $W_0 - W_1$

II.5.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons cité les différents défauts de soudage qui peuvent être causés par de nombreux facteurs, tels que la vitesse d'avance ou l'intensité du courant. Dans bien des cas, les défauts peuvent être détectés et corrigés en cours de soudage par le contrôle non destructif ou bien le contrôle destructif.

Chapitre III :
Présentation du cas
d'étude : Etat actuel

III. Présentation du cas d'étude : Etat actuel

III.1.Introduction

Parmi les complexes nationaux spécialisés dans le transport et la commercialisation des hydrocarbures le complexe de gaz pétrole liquéfié N°1 d'Arzew GP1Z reste l'un des plus qualifié dans ce domaine. Ce dernier transporte le gaz pétrole liquéfié GPL en utilisant des canalisations métalliques de type pipeline qui sont obtenues par des procédés de soudage homogènes très sérieux et précis.

Ce chapitre vise à présenter le cas d'étude et donc l'état actuel au sein du complexe GP1Z.

III.2.La société SONATRACH et le complexe GP1Z

III.2.1.Description du site « complexe GP1Z »

Le complexe du gaz pétrole liquéfié N°1 d'Arzew (GP1Z) dépend directement de la société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures SONATRACH qui a été créé par le décret N° 63-491 du 31/12/1963, et a pour mission de couvrir tous les domaines des hydrocarbures en AMONT et en AVAL. Le complexe GP1Z est l'un des plus important complexes dans le traitement du gaz pétrole liquéfié GPL en Algérie.

Selon de décret présidentiel N°98-48 du 11/02/1998 portant statut de la société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures. SONATRACH est transformée, sans création d'une personne morale nouvelle, en une société par action d'un capital de deux cent quarante-cinq milliards de dinars reparti en cent quarante-cinq milles actions d'un million de dinars chacune, entièrement et exclusivement souscrit et libéré par l'état.

SONATRACH est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12^{ème} parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2^{ème} exportateur de GNL et de GPL et la 3^{ème} exportateur de gaz naturel. Sa production globale (tous produits confondus) est de 230 millions de tep en 2006. Ses activités constituent environ 30% du produit national brut (PNB) de l'Algérie. [11]

III.2.2.Fiche technique du complexe GP1Z

Le complexe GP1Z (gaz de pétrole liquéfié) alias « Jumbo GPL » fait partie des complexes de liquéfaction appartenant à l'activité (AVAL) de l'entreprise nationale SONATRACH, d'une superficie totale avoisinant les 120 Hectares et a été construit par un consortium japonais IHI-ITOCHU.

III.2.2.1.Situation géographique

Située sur la cote, à 40km de la ville d'Oran et à 8km de la ville d'Arzew, entre la centrale thermoélectrique de Mers EL HADJAJ à l'Est et les complexes de GNL à l'Ouest.



Figure 51 : Localisation du complexe GP1Z sur la zone industrielle d'Arzew (Source Google Earth)/ GP1Z. [12]

III.2.2.2.Conditions Climatiques

- Pression barométrique : 758 mm Hg ;
- ☞ Températures :
- Température moyenne maximale : 28.5 °c ;
- Température moyenne minimale : 9.6 °c ;
- Elévation : 20 mètres au-dessus du niveau de la mer ;
- Humidité relative : 76%.

b- Conditions Spécifiques

- Atmosphère saline : Oui ;
- Agressivité de l'air : Forte ;
- Vent de sable : Très Faible ;
- Gel : Très Peu ;
- Poussière : Oui.

III.3. Historique

La région d'Arzew est un pôle structurant composé du complexe industrialo-portuaire d'Arzew-Bethioua. Ce pôle, exportateur de pétrole et de gaz naturel liquéfié, abrite une importante zone industrielle créée à partir des années 1960.

Cette zone est essentiellement dédiée au transport et à la transformation des hydrocarbures par la SONATRACH et ses filiales.

Le complexe GP1Z dépend directement de la division LQS (Liquéfaction et Séparation des Gaz) des activités AVAL de SONATRACH.

Les travaux à l'emplacement actuel du complexe ont commencé en novembre 1980, et la production en décembre 1983 (phase 1, composée de 4 trains de séparation de GPL). L'expansion correspondante à la 2^{ème} phase a eu lieu en février 1998 et a amené à 6 le nombre total de train de séparation du complexe.

Actuellement, le complexe fait l'objet d'un projet d'expansion dénommée « phase 3 ». Cette dernière se compose de 3 trains de séparation de GPL identiques et modulaires, ainsi que de toutes les structures auxiliaires nécessaires pour le stockage et les utilités. [11]

L'historique du complexe GP1Z est résumé dans le tableau suivant :

Tableau N° 15 : Historique de création du complexe GP1Z.

Date	Evènement	Commentaires
10/11/1980	Démarrage des travaux	4 trains de traitement GPL produisant en total 4.8 MT/an
12/12/1983	Mise en production	4 trains de traitement GPL
24/02/1998	Extension	2 trains de traitement GPL apportant une capacité de production de 3 MT/an supplémentaires
En cours	Extension	3 trains de traitement GPL

Le complexe a comme objectif final la séparation et la transformation du GPL afin d'aboutir au propane, butane dans le but d'alimenter le marché national Algérien et pour l'exportation. Ce complexe est considéré autant que le premier complexe au monde avec neufs trains de production.

III.4.Ses capacités totales de stockage

- Stockage de la charge : 16000 m³ ;
- Stockage de produit réfrigéré : 420000 m³ ;
- Stockage de produits ambiants : 2500 m³.

III.5.Les principales installations qui composent le GP1Z

- 16 sphères de stockage de la charge d'alimentation ;
- 09 trains de traitement du GPL ;
- 02 unités de liquéfaction des boilloff ;
- 04 bacs de stockage de propane basse température ;
- 04 bacs de stockage de butane basse température ;
- 04 sphères de stockage de produits ambiants (propane et butane) ;
- 01 sphère de stockage de la gazoline ;
- 05 salles de contrôle ;
- 01 station électrique alimentée par SONELGAZ ;
- 04 générateurs assurant l'énergie de secours du complexe ;
- 02 quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variant entre 4000 et 45000 tonnes ;
- 01 rampe de chargement de camions ;
- 01 station de pompière d'eau de mer ;
- 01 système de télésurveillance.

III.6.Organisation générale

Le site peut être divisé en 4 grandes zones :

- A l'Ouest : la zone de stockage de GPL réfrigéré ;
- Au Sud-ouest : la zone de stockage de GPL à température ambiante, zone d'arrivée de charge et zone de chargement de camions ;
- Au Nord, dans la zone médiane : 4 trains de procédé (phase 1), production d'huile chaude ;
- Au Nord : broches, station de pompage d'eau de mer, traitement des eaux de récupération ;
- Au Nord-est : 2 trains de procédé (phase 1), production d'huile chaude, et zone des utilités ;
- Au Sud : bâtiments des services administratifs, techniques et utilités ;
- Au Sud-est : parking et centre de formation. [11]

III.7.Organisation du complexe

Le complexe GP1Z est géré suivant un organigramme bien déterminé de façon à bien maîtriser les tâches, il est composé d'une direction générale, de deux sous directions et des départements de contrôle, comme le montre l'organigramme suivant :

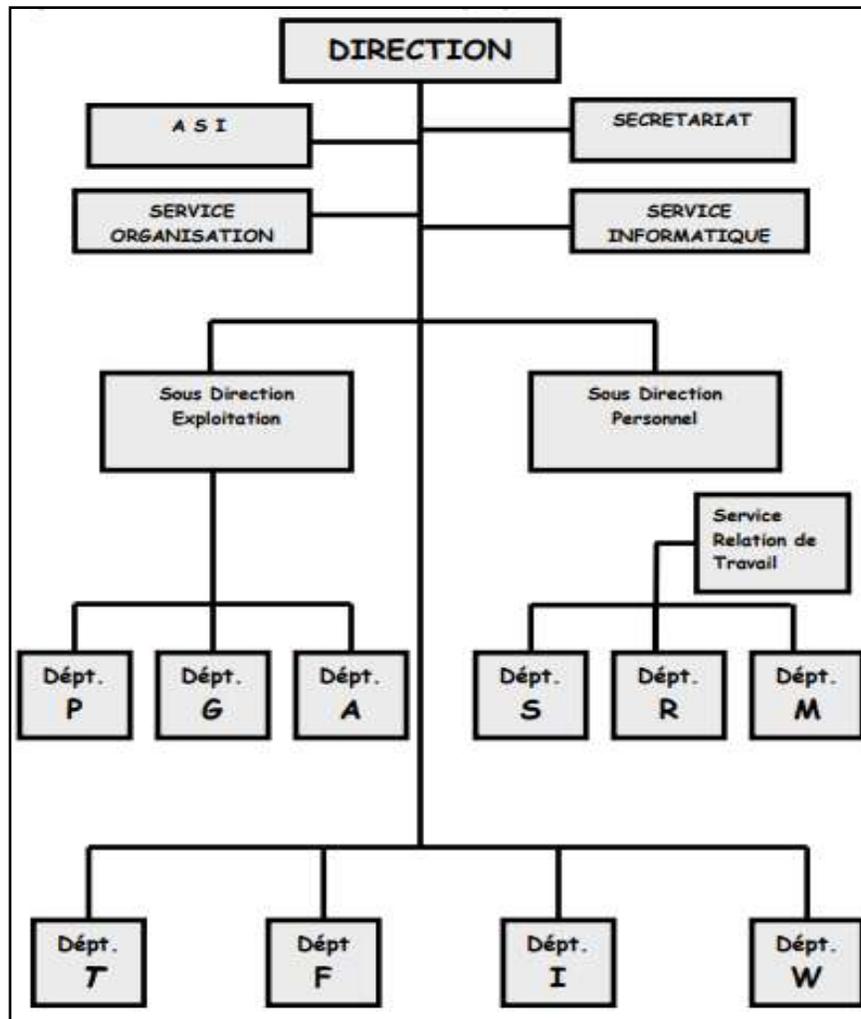


Figure 52 : Organigramme du complexe GP1Z. [11]

III.8.Légendes

✓ Les services liés directement à la direction :

D : direction ;

SE : secrétariat de la direction ;

INF : service informatique ;

ASI : assistance de sureté interne ;

ORG : service organisation.

✓ Les départements appelés structures de contrôle sont aussi liés directement à la direction :

T : département technique ;

I : département sécurité ;

W : département travaux neufs ;

F : département finances.

✓ Sous-direction d'exploitation (D*E) regroupe trois départements :

A : département approvisionnement ;

G : département maintenance ;

P : département production.

✓ Sous-direction personnelle (D*S) regroupe quatre départements :

ADM/SOC : département administration et social ;

MG : département moyens généraux ;

DRH : département développement des ressources humaines ;

RT : service relation de travail.

III.9.Département technique

III.9.1.Organigramme du département technique

Il est composé de secrétariat et de différents services :

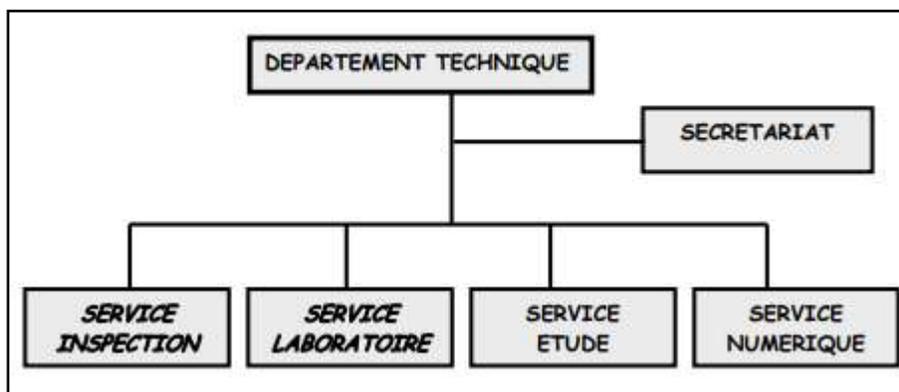


Figure 53 : Organigramme de département technique. [11]

C'est un département de contrôle chargé de la garantie des installations industrielles, il contrôle la qualité des produits finis, des installations et le suivi des équipements. Il travaille en permanence avec le département production.

Le département technique comporte quatre services et une bibliothèque qui est chargée de fournir aux structures la documentation spécifique. [11]

III.10. Présentation du cas d'étude : état actuel

Pour le transport du GPL la société SONATRACH utilise en premier lieu les gros tubes en acier à haute limite d'élasticité (HLE) laminés à chaud qui ont trouvé leurs application dans de nombreux domaines.

Ces tubes ont une appellation spécifique c'est bien : des pipes en acier HLE ou pipelines (en anglais) (figure 54). Le développement industriel de ces dernières exige une maîtrise parfaite du processus de fabrication. De ce fait, le produit doit satisfaire les conditions techniques suivantes :

- Absence de défauts métallurgiques que des défauts de soudage ;
- Propriétés mécanique : (résistance, ductilité) ;
- Tolérance dimensionnelles : (épaisseur, largeur et longueur). [13]



Figure 54 : Pipelines dans l'environnement. [13]

Très souvent dans le transport du gaz pétrole liquifié par canalisation on trouve trois types de pipeline :

- ✓ Tubes soudés sous la forme de spirale ;
- ✓ Tubes soudés sous la forme longitudinale ;
- ✓ Tubes formés sans soudure.

III.11.Caractéristiques des tubes

Les tubes transporteurs du GPL sont faits d'acier HLE d'un tonnage de 10 à 30 tonnes et une largeur de 600 à 1800mm (figure 55). C'est grâce à leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques qu'ils occupent une place importante dans l'industrie des métaux ferreux donc on le trouve très souvent dans le transport par canalisation des hydrocarbures sur de grandes distances depuis leurs gisements (Ain Hamra- Hessi Messaoud) vers les zones de consommation et de transformation (complexes GP2Z,GP1Z d'Arzew) d'un réseau de 16000km pour des diamètres allant de 8 à 48 pouces.

Souder des pipelines consiste à établir la continuité métallique entre les parties à assembler. Cela implique qu'il n'y a pas de matières non métalliques interposées entre les éléments réunis. Cette soudure doit être homogène, de sorte que les pipelines sont en l'état final à l'emploi. [13]



Figure 55 : Tubes transporteurs du GPL. [13]

III.11.1.Propriétés chimiques et mécaniques des pipes

Le tableau suivant exprime les caractéristiques d'acier composant les pipelines.

Tableau N°16 : Caractéristiques d'acier HLE. [13]

Classification selon A.P.I	Qualité	Propriétés mécaniques		Composition chimique %		Equivalent carbonique (max)
		Re	Rm	Carbone max	Manganèse max	
5L	A25	170	310	-	-	0.31
5L-5LS	A	210	330	0.21	0.90	0.37
5L-5LS	B	240	410	0.27	1.15	0.46
5LX	X42	290	410	0.28	1.25	0.50
5LX	X46	320	430	0.28	1.25	0.53
5LX	X52	360	500	0.28	1.25	0.53
5LX	X56	390	520	0.26	1.35 e/o (Nb/V/Ti)	0.48
5LX	X60	410	540	0.26	1.35 e/o (Nb/V/Ti)	0.48
5LX	X65	450	550	0.26	1.40 e/o (Nb/V/Ti)	0.49
5LX	X70	480	560	0.23	1.60	0.49

Le diamètre d'une canalisation est déterminé en fonction du débit des produits à acheminer, de leur viscosité et de leur densité.

III.11.2. Avantages des aciers HLE

- ✓ Ils combinent soudabilité améliorée due au très faible niveau de carbone et bonne formabilité, leurs caractéristiques mécaniques facilitent le formage sur presses et sur lignes automatisées ;
- ✓ Ils se caractérisent de plus par une bonne tenue à la fatigue et à la résistance au choc ;
- ✓ Grâce à leur limite élastique élevée (Re), ils sont particulièrement adaptés lorsqu'une réduction de poids est recherchée, c'est pourquoi ces aciers s'utilisent fréquemment en remplacement des aciers de construction.

III.12.L'opération de soudage

Avant la phase de soudage, certaines opérations sont nécessaires pour préparer le matériel et le poste :

1. Préparation des pièces à souder

Pour réaliser une bonne soudure, les pièces doivent être :

- ✓ Dégraissées et exemptes de peintures (isolant).
- ✓ Ebavurées et chanfreinées à l'emplacement de la soudure.
- ✓ Positionnées l'une par rapport à l'autre.
- ✓ Immobilisées en position.

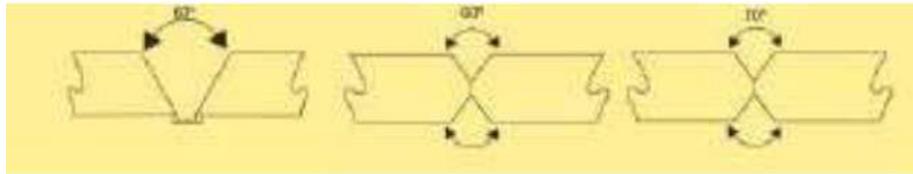


Figure 56 : Préparation des joints à souder. [13]

2. Choisir l'électrode

- ✓ Monter la baguette dans le porte-électrode : il faut positionner la baguette, du côté de l'âme, dans la pince du porte-électrode.

3. Préparer le poste

- ✓ Régler l'intensité de soudage du poste à souder.
- ✓ Serrer avec la pince de masse, la table de travail ou les pièces à souder (l'important est de fermer le circuit électrique de soudage).

III.13.Positions de soudage et types de joint

a) Positions de soudage :

- ☞ A plat
- ☞ En corniche
- ☞ Verticale montante
- ☞ Verticale descendante
- ☞ Au plafond
- ☞ Tubulaire

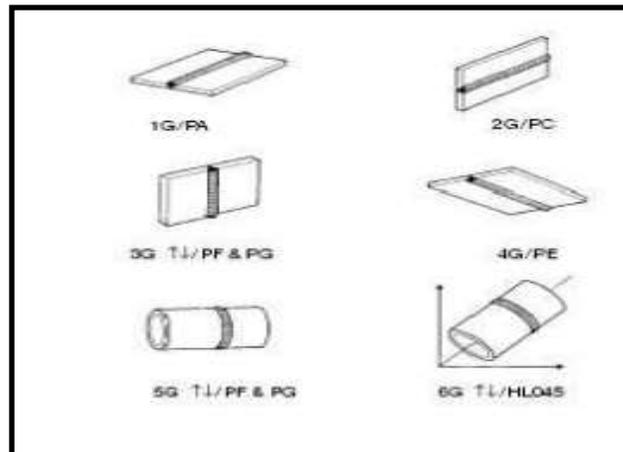


Figure 57 : Positions de soudage. [13]

b) Types de joint

- ☞ Angle intérieur
- ☞ Angle extérieur
- ☞ Bout à bout
- ☞ A clin

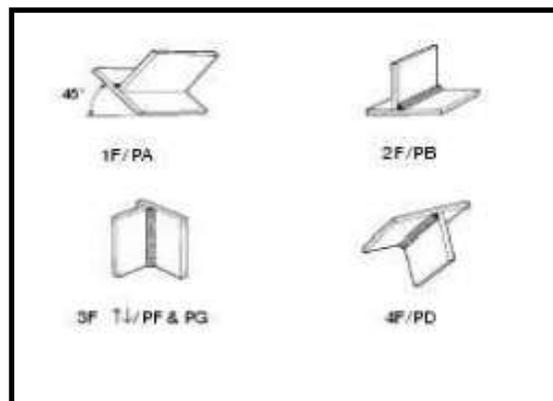


Figure 58 : Types de joint. [13]

III.14.Procédés de soudage utilisés

Dans la société SONATRACH, complexe GP1Z les assemblages de canalisation de transport de GPL sont préférentiellement effectués par :

- ❖ **Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée** : Le soudage à l'arc à l'électrode enrobée (SAEE), soudage manuel ou soudage à la baguette est le plus connu des procédés de soudure.

Lorsque l'on approche l'électrode enrobée des pièces à assembler, il se crée un arc électrique qui dégage un fort pouvoir calorifique qui provoque la fusion de l'électrode.

- ✓ **Désignation française** : SAEE (Soudage à l'Arc avec Electrode Enrobée).
- ✓ **Designation Américaine**: SMAW (Shielded Metal Arc Welding).
- ✓ **Désignation numérique** : 111.



Figure 59 : Soudage des pipelines (Type manuel). [11]

III.14.1.Principe du procédé

Un arc électrique établi entre une électrode et les bords des pièces à assembler, provoque leur fusion et crée un bain de métal liquide reçoit les gouttes de métal de l'électrode. L'arc résulte du passage d'un courant électrique intense à travers une atmosphère de gaz ou de vapeur, normalement non-conductrice. Les électrons circulent de la cathode (pôle négatif) vers l'anode (pôle positif) qui constituent l'extrémité de l'électrode et l'impact de l'arc sur la pièce : la polarité est choisie ionisée ne représentant qu'une faible

part d'énergie calorifique mais irradie surtout des rayonnements électromagnétique (lumière visible, ultra violetes, ...).

La tâche anodique et surtout la tâche cathodique, où se présentent les ions positifs, fournissent ensemble l'essentiel de la chaleur. La tâche anodique, bombardée par les électrons est par contre à une température plus haute (3500°C) que celle de la tâche cathodique (2400°C).

Cette situation est permanente en courant continu ; elle s'inverse à chaque alternance en courant alternatif. Le réamorçage s'obtient dans la mesure où l'anode, devenue cathode, reste suffisamment chaude pour devenir émettrice. [13]

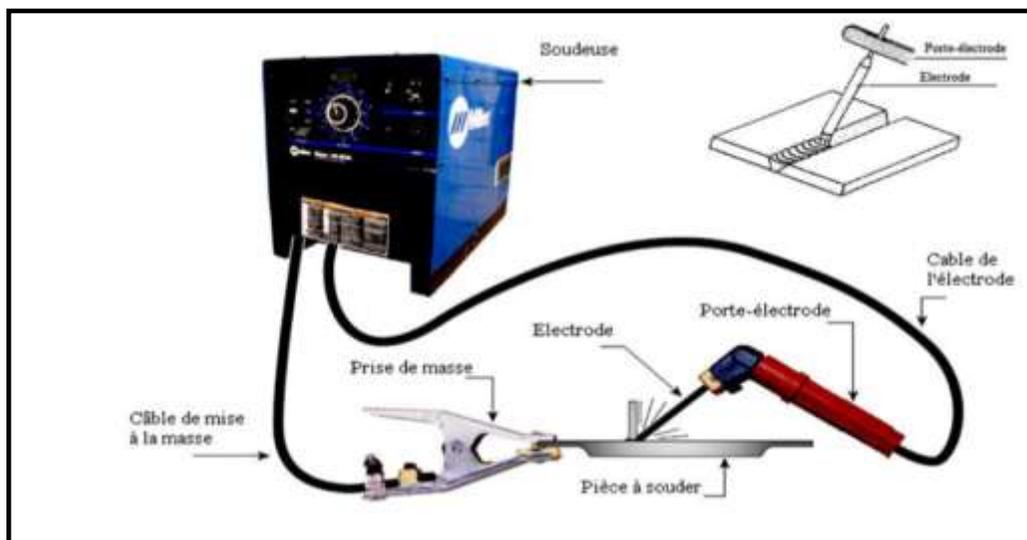


Figure 60 : Principe de soudage à l'arc par électrode enrobée. [13]

III.14.2. Composition d'une installation de soudage

1. **Poste à souder** : Deux types de courant peuvent être utilisés :

A. Le courant continu (poste rotatif CC) :

- ✓ Les générateurs
- ✓ Les redresseurs

Dans le générateur, qui est le plus utilisé, le courant est créé par la rotation d'une armature dans un champ magnétique, c'est un courant alternatif qui est recueilli puis redressé (transformé en courant continu) par un système comprenant un collecteur et un ensemble de balais en carbone [13].

- B. Le courant alternatif (poste statique CA) :** il s'agit d'un transformateur électrique qui permet d'abaisser le voltage du courant (de 230 V à 50 V) et d'amplifier l'intensité jusqu'à 250 A. une intensité élevée permet le soudage des pièces épaisses.
2. **Pince porte- électrode :** reliée par un câble au poste à souder, c'est l'endroit où l'électrode (baguette) est placée.
 3. **Pince de masse :** reliée par un câble au poste de soudage, elle se fixe sur la pièce à souder.
 4. **Marteau à piquer / brosse métallique :** pour éliminer le laitier.
 5. **Electrode :** baguette de métal d'apport. Il s'agit d'une tige d'acier enrobée qui se déposera, lors de la fusion, sous forme de laitier. L'électrode s'insère dans la poignée de soudage du poste.
 6. **Pince étau :** pour un maintien parfait des pièces à souder.
 7. **Meuleuse :** on peut s'en servir pour régulariser.



Figure 61 : Matériels nécessaires pour l'opération de soudage. [14]

Les électrodes

Les électrodes de soudages sont constituées par :

- **Une âme métallique** : C'est la partie métallique de l'électrode. Elle compose le centre de l'électrode dont le rôle est de conduire le courant est dont la fusion forme le métal déposé.

Diamètres : 1.25 ; 1.6 ; 2 ; 2.5 ; 3.15 ; 4 ; 5 ; 6.3 ; 7 et 8mm

- **Un enrobage concentrique à l'âme** : dont la composition permet de remplir plusieurs rôles :
 - Stabilité électrique de l'arc ;
 - Protection du métal en fusion ;
 - Apport d'éléments dans le métal déposé.

Les longueurs des électrodes : 225mm-250mm-300mm-350mm-450mm-600mm-700mm. [13]

III.14.3.Types d'électrodes utilisés

Il existe trois types d'électrodes utilisés dans la soudure des pipelines :

- a. **Enrobage cellulosique (C) type E6010 PLUS/ 7010** : la nature cellulosique de ces électrodes permet d'obtenir une bonne pénétration. On utilise ce type d'électrodes en pipeline et donc pour les soudures dites méthodes descendante.
- b. **Enrobage rutile (R) type OK 46.06** : comme son nom l'indique, l'enrobage est à base rutile ou oxyde de titane. Si leurs caractéristiques mécaniques et leur teneur en hydrogène sont voisines de celles des électrodes d'enrobage cellulosique, elles s'en distinguent par leur bonne aptitude à réaliser des soudures par la technique montante sur tubes de faible diamètre.
- c. **Enrobage basique (B) type OK 75.75 VacPac** : utilisée pour le soudage de canalisation soumis à des conditions de service sévères. On peut les utilisées en courant continu comme le courant alternatif avec une tension à vide supérieure à 60 V.

Ces électrodes doivent être conservées dans un endroit sec et de toute façon, être étuvées dans un four à 350°C durant 2h. [13]



Figure 62 : Les électrodes. [13]

III.14.4.Plages de courant recommandées pour les différentes positions de soudage

Tableau N°17 : Plages de courant recommandées pour les différentes positions de soudage. [11]

Epaisseur (mm)	Ø (mm)	Position à plat (A)	Position en montée (A)	Position en descente (A)
4	2.5	40- 70	40-60	50-90
8	3.25	70-110	60-90	70-120
15	4	90-130	70-110	90-160
30	5	110-160	90-170	110-300

Quelques données à savoir

- ✓ Température de fusion : 1520°C ;
- ✓ Energie utilisée : électrothermique ;
- ✓ Tension nécessaire pour l'amorçage : 45 à 100 V ;
- ✓ Température d'enrobage : -50°C ; -60°C ;
- ✓ Nombre de passe : trois (3) passes.

❖ Soudage automatique : soudage à l'arc sous gaz de protection procédé TIG

Le TIG produit des assemblages d'un aspect irréprochable, qui dans bien des cas, ne nécessitent aucune reprise ultérieure.

III.14.5.Principe

Par définition, le terme (TIG) est l'abréviation de (Tungstène Inert Gas) et sert à désigner le procédé de soudage en atmosphère inerte avec électrode de tungstène.

L'appareillage comporte une source de courant alternatif ou continu, un dispositif d'amorçage, une bouteille de gaz avec détendeur et débitmètre, une torche spécifique du procédé et divers accessoires.

A l'aide d'un courant électrique approprié dont la nature varie avec celle du métal de base, on fait jaillir dans une veine de gaz inerte (argon) un arc électrique entre une électrode de tungstène (infusible) et la pièce à souder (figure 63). La chaleur dégagée par cet arc fait fondre localement la pièce ainsi que le métal d'apport (éventuel) formant ainsi le joint soudé après refroidissement.

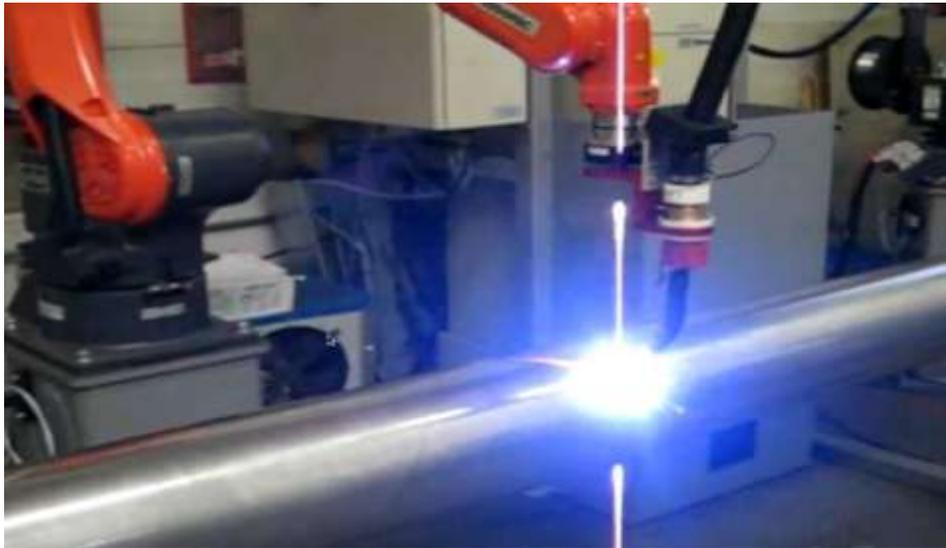


Figure 63 : Soudage des pipelines par TIG. [13]

III.14.6.Les réglages recommandés pour souder en TIG acier courant continu DC

☞ **DC (courant continu) pour souder les aciers**

- 35 A par mm d'épaisseur de pièce en acier
- Electrode tungsten + 2% thorium ou 2% lanthane (Gold)
- Diamètres tungstène 1,6 mm \leq 160 A

$$2,4 \text{ mm} \leq 240 \text{ A}$$

$$3,2 \text{ mm} \leq 320 \text{ A}$$

- ☞ **Métal d'apport** : Homogène
- ☞ **Diamètre baguette TIG** : De 1 mm à 4 mm en fonction du courant.

Le diamètre doit être inférieur à l'épaisseur à souder.

☞ **Gaz**

- Argon pur
- Débit = 5 litres / minute

Ce gaz inerte généralement à base d'argon isole de métal en fusion, les zones chaudes environnantes et évite toute oxydation de l'électrode au tungstène.

- ☞ **Epaisseur** : > 0.5mm et < 10mm

III.15. Défauts dus à l'opération de soudage (figure 64)

La classification des défauts de soudure conformément à la norme NF EN 26250.

- ✓ **Fissures**
- ✓ **Cavités**
- ✓ **Inclusions solides**
- ✓ **Manque de fusion et de pénétration**
- ✓ **Défauts de forme**



Figure 64 : Défauts de soudage.

III.16.Méthode de détection choisie

Après le soudage, les pièces et constructions subissent les contrôles et les essais de réception, qui ont pour but de détecter les défauts apparents et internes des soudures et de remédier à ces derniers, s'il est possible. On soumet aux contrôles tout le lot de produits soudés ou un nombre limité d'unités identiques.

Le choix des méthodes de contrôles et d'essais dépend essentiellement du but recherché et de l'importance de la construction.

En raison de l'importance de la rigidité et la qualité de ces tubes dans le transport du GPL et l'absence de tout type de défauts dans ceux-ci, le complexe effectue un contrôle non destructif représenté en détection par contrôle radioactif ou radioactivité pour maîtriser ces anomalies et les traiter afin d'optimiser son rendement.

III.17. Conclusion

Le travail réalisé dans ce chapitre vise principalement à présenter et étudier le cas actuel des opérations de soudage des différents types de pipes au sein du complexe de gaz pétrole liquéfié d'Arzew GP1Z et de choisir la méthode de détection des défauts commises lors de l'assemblage de ces canalisations.

*Chapitre VI : application
de la méthode de
détection des défauts de
soudage choisie : la
radioactivité*

IV. Application de la méthode de détection des défauts de soudage choisie : la radioactivité

IV.1.Introduction

Le complexe de gaz pétrolier N°1 d'Arzew (GP1Z) ; SONATRACH applique l'examen de soudure par radioactivité. La radioactivité est une méthode non destructive d'examen de matériaux, elle est basée sur l'inégalité d'absorption des rayonnements ionisants (X et γ) grâce à leur pouvoir de pénétration et de détection des défauts.

Ce chapitre a pour but d'expliquer la procédure d'application de cette méthode et l'interprétation de ses résultats.

IV.2.Définition

La radioactivité est une méthode de contrôle non destructif qui consiste à obtenir une image de la densité de matière d'un objet traversé par un rayonnement électromagnétique X ou Gamma (γ). L'image est obtenue grâce à un détecteur qui soit :

- Un film argentique ;
- Un écran photo stimulable à mémoire réutilisable. [15]



Figure 65 : Analyse d'une détection radiographique. [15]

Les rayons X et Gamma (γ) font partie du spectre électromécanique, ils sont de même nature que la lumière ordinaire, mais en diffère par longueurs d'ondes (Angströms $\text{A} = 10^{-10} - 10^{-8}$ M)

- Rayon Gamma: 0, 1-0,005 A ;
- Rayon X : 0,005- 5 A.

IV.3.Principe de la méthode

La radioactivité est utilisée industriellement pour contrôler la santé interne d'une pièce. Elle permet de détecter tout type de cavité ou de matériaux étrangers inclus dans la pièce. Les discontinuités planes sont révélées lorsque le rayonnement est parallèle au plan de l'indication. La taille des discontinuités détectables dépend de l'épaisseur traversée. La sensibilité de la méthode est plus limitée pour des matériaux denses et épais.

Cette méthode (figure 66) est utilisée pour le contrôle des soudures ainsi que pour rechercher des imperfections de fonderie. Elle est également très utilisée pour vérifier l'intégrité des structures composites.

Elle est applicable à tous les types de matériaux (aluminium, acier, alliage cuivreux, titane, composites,...) [15]

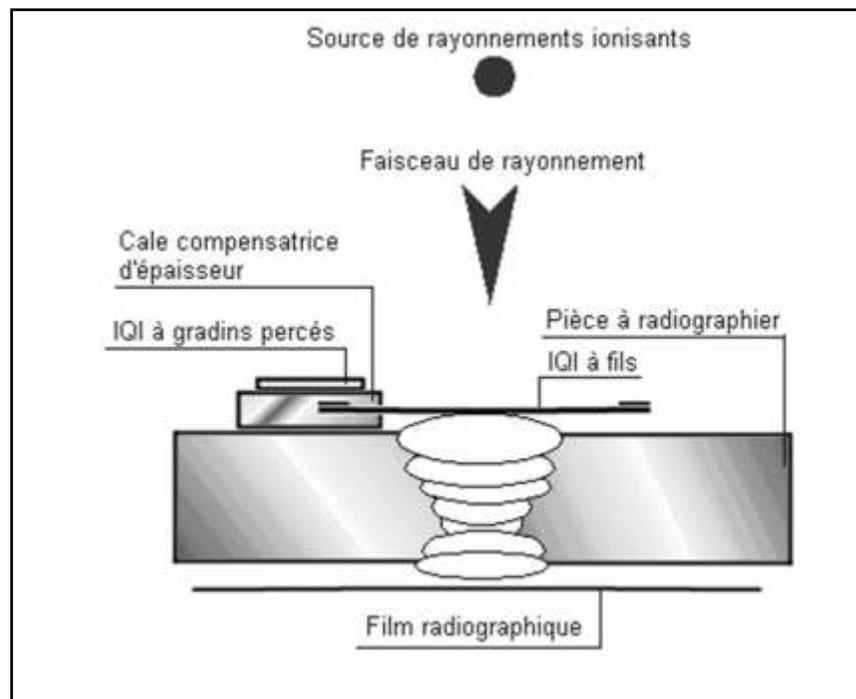


Figure 66 : Schéma de principe de la radioactivité. [15]

- ☞ La pièce est placée entre la source de radiation et le film.
- ☞ Plus le matériau traversé est dense, plus il absorbe le rayonnement.

☞ L'intensité de gris du film est proportionnelle à l'intensité du rayonnement.

IV.4. Lois de propagation des rayonnements ionisants

IV.4.1. Nature et propriétés principales

Les rayons X ou γ qui sont employés en contrôle et ont les propriétés suivantes :

- Ce sont des radiations électromagnétiques invisibles ;
- Ils peuvent pénétrer dans la matière ;
- Ils sont absorbés différenciellement ;
- Ils se propagent en ligne droite ;
- Ils produisent des effets photochimiques sur des émulsions photographiques ;
- Ils ne sont pas affectés par les champs magnétiques et électriques ;
- Leur vitesse de propagation est de 300000Km/s. [15]

IV.4.2. Phénomène d'absorption

Lors de la traversée du matériau, le rayonnement électromagnétique subit un affaiblissement par :

- ☞ Effet photo-électrique ;
- ☞ Effet Compton ;
- ☞ Formation de paires d'ions.

D'une façon schématique, on peut écrire (en rayonnement monochromatique) :

$$I = I_0 e^{-\mu e}; (A) \quad (3)$$

Avec : I : intensité en sortie ;

I_0 : intensité incidente ;

μ : coefficient d'absorption ;

e : épaisseur du matériau.

☞ Le coefficient d'absorption prenant la forme :

$$\mu = k l^3 Z^3 \quad (4)$$

Avec : k : fonction de la masse volumique du matériau ;

l : longueur d'onde du rayonnement ;

Z : numéro atomique de l'élément traversé.

☞ L'absorption peut aussi s'exprimer par :

- L'épaisseur de demi-absorption : $I = I_0/2 ; (A)$ (5)

- L'épaisseur de déci-transmission : $I = I_0/10 ; (A)$ (6) (utilisée en radioprotection). [15]

IV.5.Appareillage

IV.5.1.Source de rayonnement X

Les rayons X sont produits à partir d'un appareillage spécial appelé groupe radiogène et comprenant un tube radiogène, des gaines protectrices, un générateur électrique constitué de transformateurs à haute et basse tensions reliés à un poste de commande. Les groupes radiogènes se diffèrent par leur haute tension maximale, on distingue les appareils auto redressés et les appareils à tension constante.

En radiographie industrielle, la gamme des tensions utilisées varie entre 1kV à 420kV. [15]

Tube radiogène :

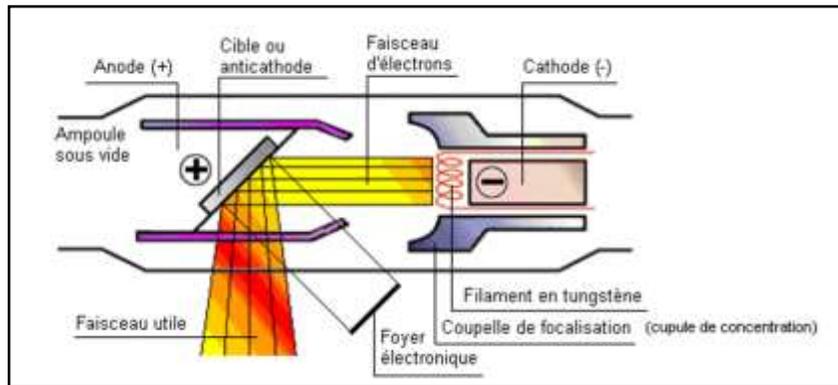


Figure 67 : Eléments de tube radiogène. [15]

IV.5.2.Sources de rayonnement Gamma γ

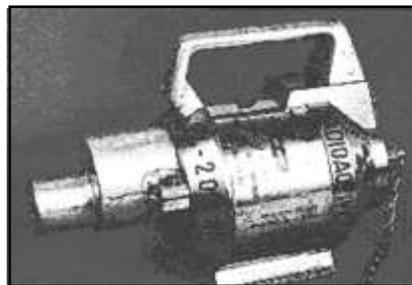


Figure 68 : Source de rayonnement γ . [15]

IV.5.3. Energie des rayons émis

Le rayon gamma est éjecté du noyau avec une certaine énergie exprimée en KeV ou en MeV.

L'énergie ou les énergies émises sont caractéristiques du radioélément.

- ☞ Le Cobalt 60, émet à chaque désintégration deux rayons de 1,17 et 1,33 MeV ;
- ☞ Le Césium 137, émet des rayons à 0,66 MeV ;
- ☞ L'Iridium 192, émet des rayons de 0,3 à 0,6 MeV ;
- ☞ Le Thulium 170, émet des rayons de 0,084 MeV.

IV.5.4. Matériels d'éjection

Les appareils d'éjection utilisés en gammagraphie industrielle doivent être conformes à la norme NF M.60.551 ; les principaux points de cette norme concernent notamment la conformité de l'appareil des points de vues suivants :

- Débit de dose au contact, à 5 cm et à 1 m des parois externes du conteneur ;
- Résistance mécanique ;
- Résistance thermique ;
- Signalisation sur l'appareil ;
- Dispositif de verrouillage. [15]

IV.5.4.1. Conteneur ou projecteur TIF

La source est stockée dans la coque du conteneur dont les parois, en métal lourd, sont suffisamment absorbantes pour limiter le débit de dose aux valeurs permises. L'ouverture et la fermeture de l'appareil est assurée par une bague fixée à l'arrière de la coque et qui commande un « barillet ».

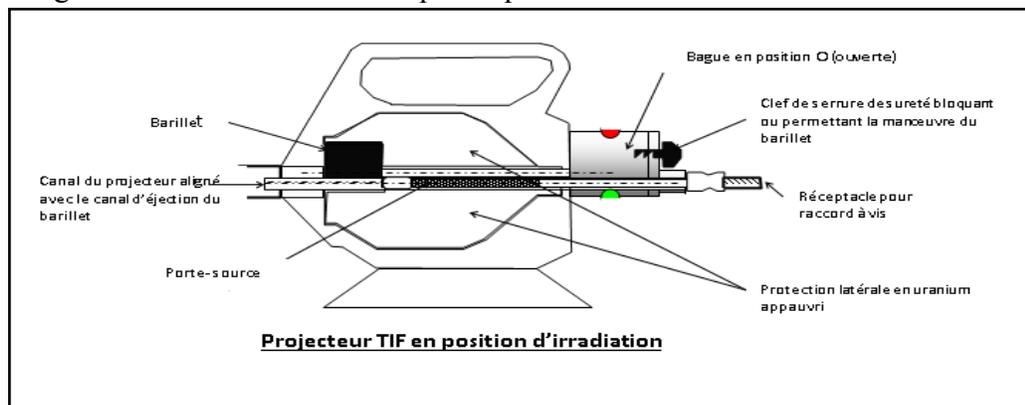


Figure 69 : Projecteur TIF en position d'irradiation. [15]

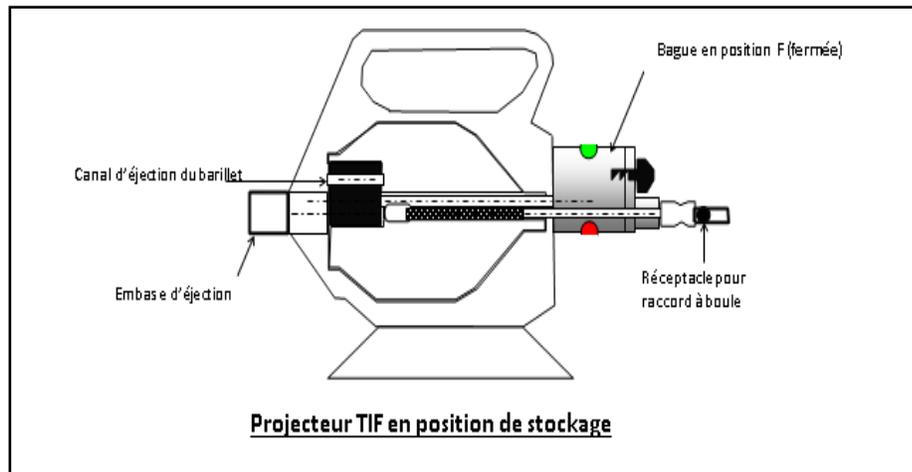


Figure 70 : Projecteur en position de stockage. [15]

IV.5.4.2. Conteneur ou projecteur GAM 80 et GAM 120

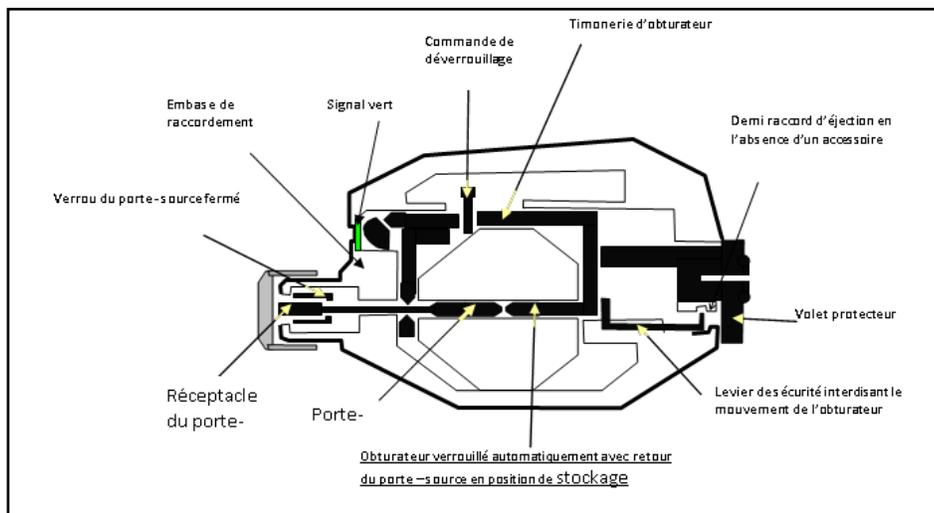


Figure 71 : Projecteur GAM 80 en position d'irradiation. [15]

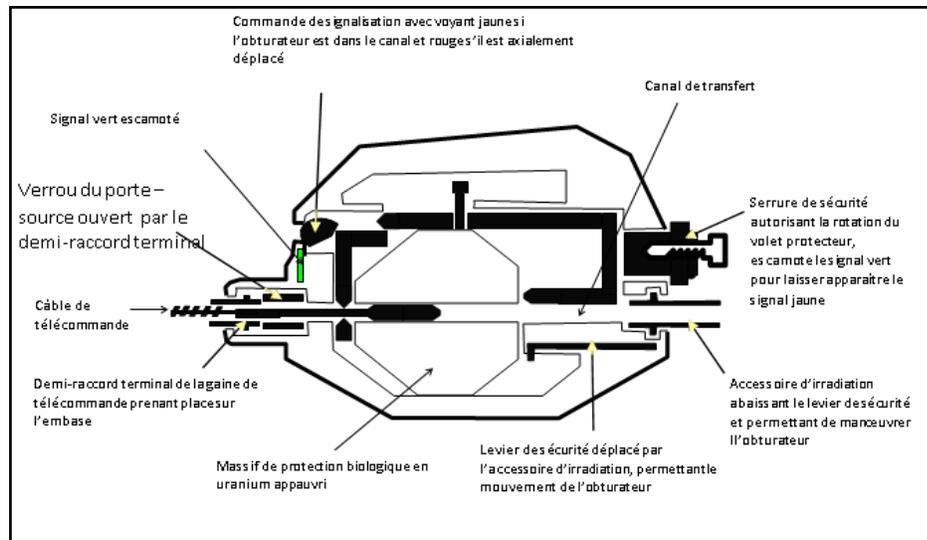


Figure 72 : Projecteur GAM 120 en position d'irradiation. [15]

IV.6.Mise en œuvre

Le contrôle radiographique est effectué dans deux chambres à rayons X ou Gamma (γ). Le cordon de soudure est visualisé en totalité par radioscope. Toute fois le repérage de défauts suivi par une prise de clichés.

Le travail aux rayons ressemble à la prise de photos. D'un côté de la pièce, on fixe un film et, de l'autre côté, on place une source radioactive ou un tube à rayons X. Le rayonnement passe à travers la pièce et arrive sur le film. Plus la pièce est fine, moins le rayon est retenu. Le film est donc exposé au mieux. Un défaut ou une irrégularité dans la pièce va plus ou moins retenir le rayonnement que ses environs et se dégager. Le rayonnement Gamma (γ) a un plus grand pouvoir de pénétration que les rayons X. La source de rayonnement utilisée, l'épaisseur de la pièce et le temps d'exposition doivent correspondre.



Figure 73 : La mise en œuvre du contrôle par radioactivité. [16]

IV.6.1. Le film radiographique

Les films sont constitués d'un support plastique recouvert sur les deux faces d'une émulsion de sels d'halogénures d'argent dans une couche de gélatine. Une des caractéristiques des films est la taille du grain. Les films à gros grains sont plus rapides que les films à grains fins mais la définition des images est plus faible. [15]

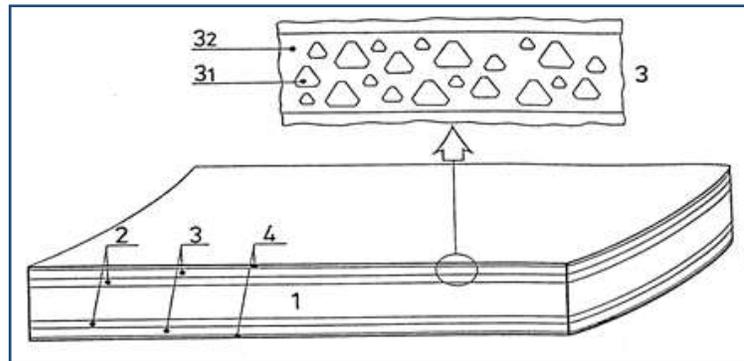


Figure 74 : Schéma d'un film radiographique. [15]

Où :

1. Support en polyester
2. Sous couche adhésive
3. Emulsion
 - 3₁. Cristaux d'halogénures d'argent
 - 3₂. Gélatine
4. Couche protectrice

IV.7. Qualité du contrôle

Pour apprécier la qualité de l'image radiographique, il faut la traduire sous forme numérique.

Pour cela, on utilise des indicateurs de qualité d'image (IQI). Ils sont placés au contact de la pièce face à la source de rayonnement. L'image de l'IQI sur le film traduira la qualité de l'image. [14]

IV.8. Visibilité des défauts

La visibilité des défauts est déterminée par les facteurs suivants :

- La nature et l'épaisseur traversée par le rayonnement du défaut ;

- Les facteurs géométriques (distance du foyer de la source au film par exemple) qui vont conditionner la netteté des contours du défaut (problème de flou) ;
- Les propriétés du film (granulation, voile de base, présence d'écrans filtrants et (ou) de renforçateurs) ;
- La qualité du rayonnement utilisé. [13]

IV.9. Défauts détectés pendant l'application de la méthode et leurs interprétations

On a pu détecter plusieurs défauts pendant l'application de la radioactivité sur les joints soudés et donc on les a classés en 6 groupes comme suivant :

IV.9.1.1^{er} Groupe : Fissures

Elles sont très souvent causées par : le refroidissement rapide, présence d'hydrogène aussi que les contraintes résiduelles et on les aperçoit dans le métal fondu, la zone de liaison, dans la zone affectée thermiquement ZAT et dans le métal de base. Il existe trois types de fissures :

- ☞ **Fissure longitudinale** : est une fracture dans le métal déposé dans le sens de la longueur de la soudure et la détection par radiographie est représentée dans la (figure 76).

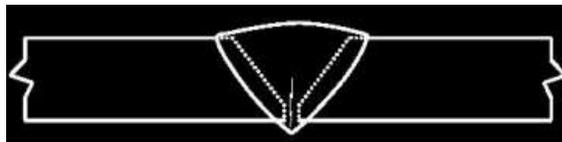


Figure 75 : Une fissure longitudinale.

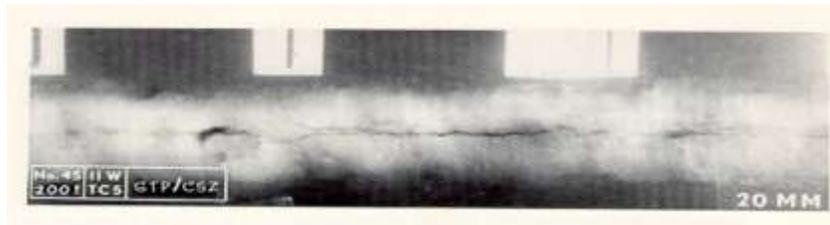


Figure 76 : Image radiographique représente une fissure longitudinale.

Interprétation : l'image révèle des lignes en forme de spirales ou de plumes, dont la densité est plus sombre, qui longe la longueur de la soudure en pleine centre, donc en remarque une indication fine, linéaire souvent ramifiée.

☞ **Fissure transversale** : une fracture dans le métal déposé qui traverse la soudure.

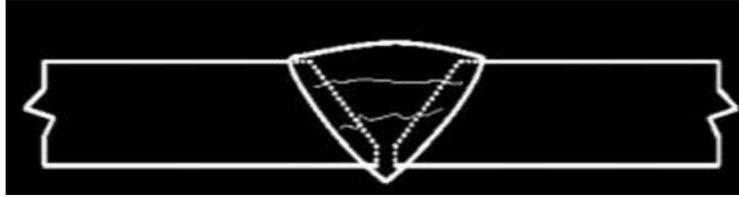


Figure 77 : Une fissure transversale.

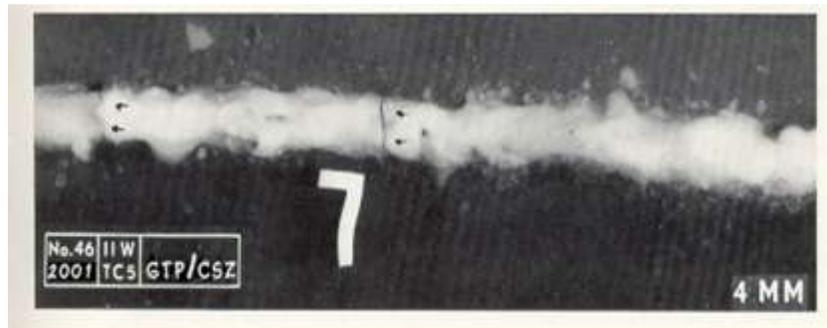


Figure 78 : Image radiographique d'une fissure transversale.

Interprétation : l'image révèle parfois des lignes en forme de spirales ou de plumes, dont la densité est plus sombre, qui traverse perpendiculairement la largeur de la zone soudée, donc une indication fine perpendiculaire au joint.

☞ **Fissure rayonnante** : proprement dit fissure longitudinale à la racine est une fracture dans le métal déposé dans le sens de la longueur de la soudure à la racine du joint.

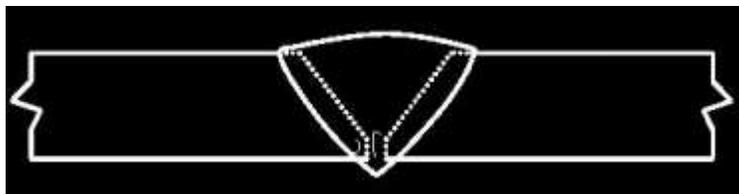


Figure 79 : Fissure rayonnante.

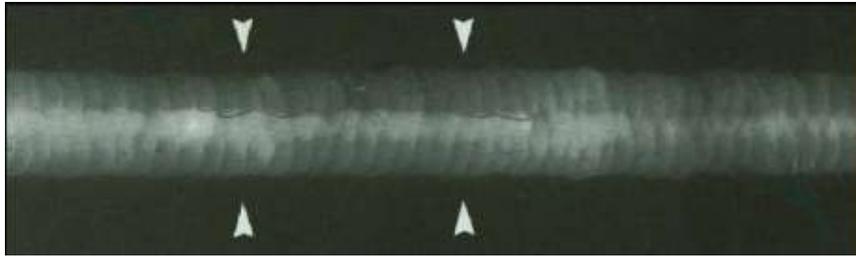


Figure 80 : Image radiographique d'une fissure rayonnante.

Interprétation : l'image révèle des lignes en forme de spirales ou de plumes, dont la densité est plus sombre, qui longent la racine de la soudure. Pour distinguer une pénétration incomplète d'une fissure à la racine, cette dernière est caractérisée par des lignes brisées.

IV.9.2.2^{eme} Groupe : Cavités

On appelle cavités tous les défauts volumiques, elles comprennent :

- a) Les soufflures qui sont des bulles de gaz réparties ou isolées et de forme diverses ;
- b) Les retrassures (retrait du métal) qui apparaît souvent dans les cratères ;
- ✓ **Les soufflures** : on a détecté trois types de soufflures
- **Soufflure sphéroïdale** : autrement dit les porosités dispersées sont des petites poches gazeuses éparpillées au hasard de grosseurs variées.

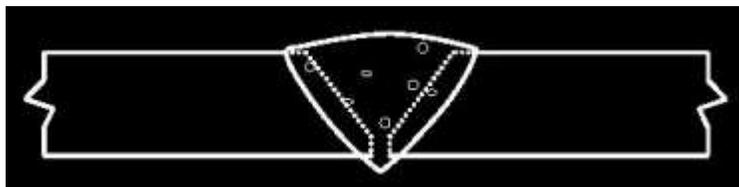


Figure 81 : Soufflure sphéroïdale.



Figure 82 : Image radiographique de la soufflure sphéroïdale.

Interprétation : l'image révèle des petits points ronds densité plus sombre, dispersés à divers endroits dans la zone soudée et de dimensions variées.

- **Nids de soufflures** : ou soufflures agglomérées sont des petites poches gazeuses rondes ou légèrement allongés regroupées ensemble.

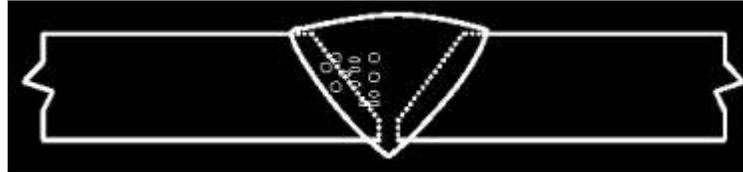


Figure 83 : Nids de soufflures.



Figure 84 : Image radiographique des nids de soufflures.

Interprétation : l'image révèle de petits points ronds allongés ou non, dont la densité est plus sombre, regroupés ensemble à diverse endroits dans la zone soudée et de dimensions variées.

- **Soufflures alignées à la racine du joint** : sont des petites poches d'air rondes ou légèrement allongées, alignées et regroupées tout le long du joint dans le centre de la largeur de la photo rayon X.

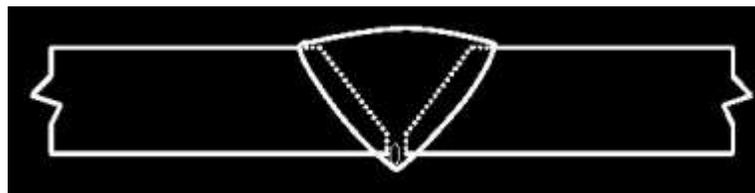


Figure 85 : Soufflures alignées à la racine du joint.



Figure 86 : Image radiographique de soufflures alignées à la racine du joint.

Interprétation : l'image révèle de petits points ronds allongés ou non, dont la densité est plus sombre, alignés en ligne droite dans le centre de la zone soudée.

- ✓ **Retassure de cratère** : autrement dit cratère à la racine localisé sur la surface interne le long du joint de soudure, dépression très sévère dans le centre du cordon à la racine provoquant un creux mais habituellement localisé.

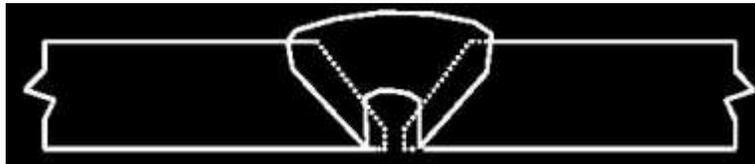


Figure 87 : Retassure de cratère.



Figure 88 : Image radiographique de la retassure de cratère.

Interprétation : l'image révèle une zone localisée de densité plus sombre sur une très petite distance où on remarque que l'arête est floue dans le centre de la largeur du cordon de soudure. Cela peut être plus large que la largeur même de la passe à la racine.

IV.9.3.3^{eme} Groupe : inclusions solides

Les inclusions solides se divisent en trois types :

- Inclusion de laitier en interpasse ;
- Inclusion de laitier en lignes allongées ;
- Inclusion de tungstène.

Les inclusions de laitier en interpasse : ce sont habituellement des impuretés non métalliques qui se sont solidifiées à la surface de la soudure et qui n'ont pas été correctement enlevées lors de nettoyage.

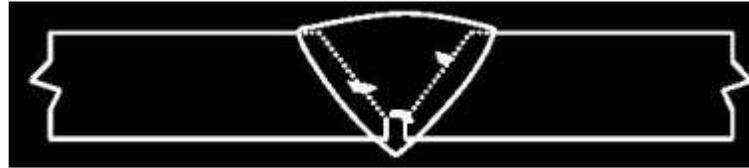


Figure 89 : Inclusion de laitier en interpasse.

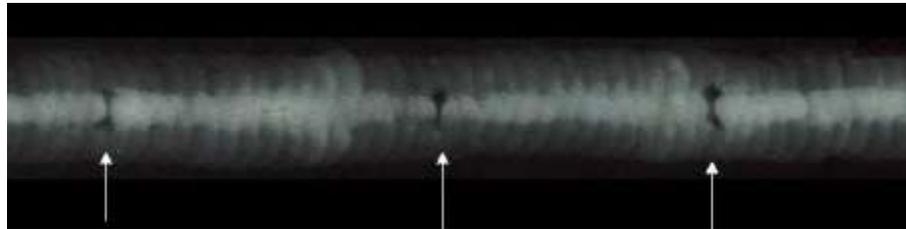


Figure 90 : Image radiographique d'inclusion en laitier interpasse.

Interprétation : l'image révèle des formes irrégulières de densité plus sombre et étroitement allongées et situées au hasard sur l'image de la zone soudée.

Inclusion de laitier en lignes allongées : ce sont habituellement des impuretés non métalliques qui se sont solidifiées à la surface de la soudure et qui n'ont pas été correctement enlevées entre les passes.

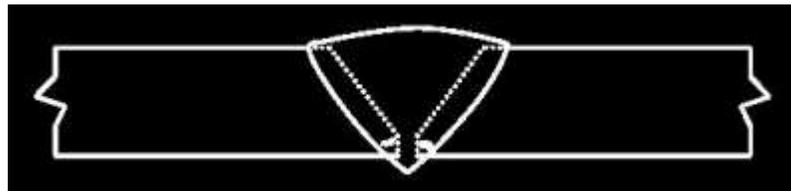


Figure 91 : Inclusion de laitier en lignes allongées.

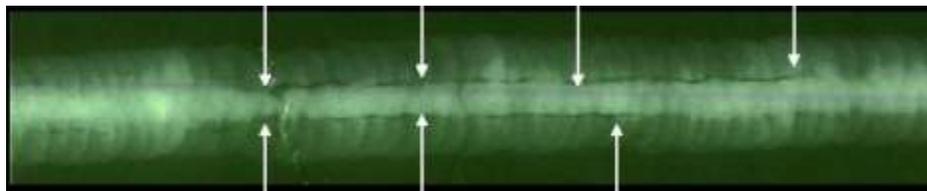


Figure 92 : Image radiographique d'inclusion de laitier en lignes allongées.

Interprétation : l'image révèle des lignes de densité plus sombre régulière ou non régulière, étroitement allongées et situées en parallèle ou non, dans le sens de la longueur.

Inclusion de tungstène : lors du soudage TIG, des morceaux d'électrodes réfractaires en tungstène ont fondu dans le métal déposé.

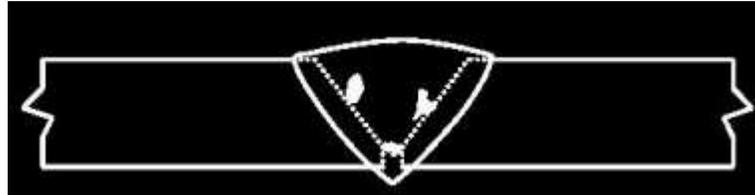


Figure 93 : Inclusion de tungstène.

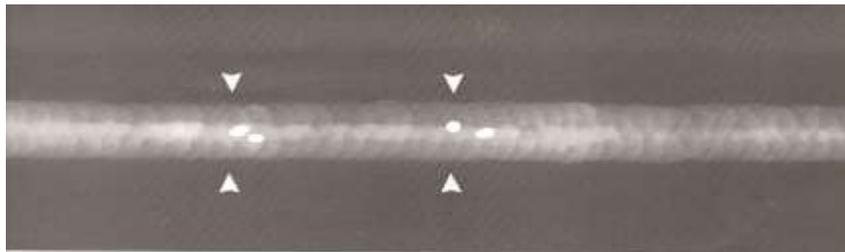


Figure 94 : Image radiographique d'inclusion de tungstène.

Interprétation : l'image révèle formes irrégulières, dont la densité est plus claire et qui sont localisée différemment sur les pièces soudées.

IV.9.4.4^{eme} Groupe : Manque de fusion

Manque de fusion des bords : c'est de longs espaces vides allongés entre le dépôt de soudure et les surfaces du joint.

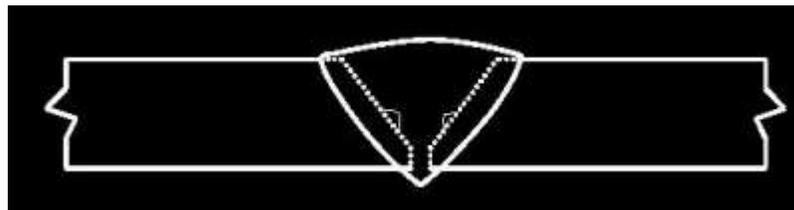


Figure 95 : Manque de fusion des bords.

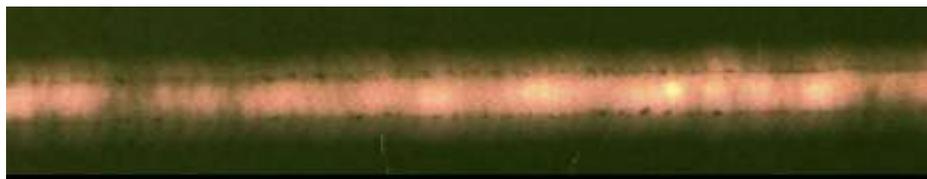


Figure 96 : Image radiographique de manque fusion des bords.

Interprétation : l'image révèle des lignes droites de densité plus sombre parfois avec des points plus noirs dispersés tout le long du manque de fusion, étroitement allongées, droites et situées en parallèle ou seules dans le sens de la longueur.

Manque de fusion entre passes : c'est des zones de manque de fusion le long de la surface du cordon et aux abords de la passe de soudure. Alors c'est un manque de chaleur.

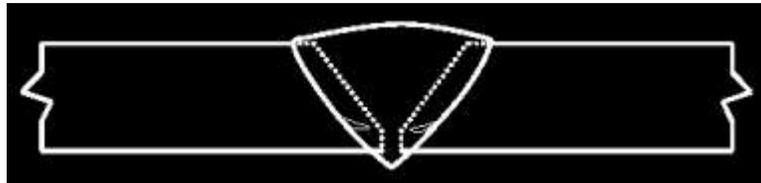


Figure 97 : Manque de fusion entre passes.

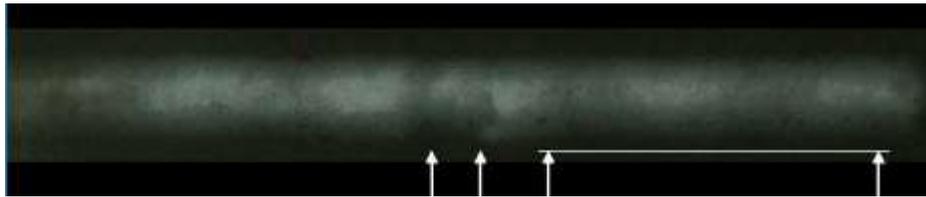


Figure 98 : Image radiographique de manque de fusion entre les passes.

Interprétation : l'image révèle des petits points de densité plus sombre, quelques-uns avec de minces queues allongées enlignées dans le sens du soudage et non situé dans le centre de la largeur du cordon de soudure mais aux abords.

IV.9.5.5^{eme} Groupe : Manque de pénétration

Manque de pénétration (ou pénétration incomplète) : les arêtes de la racine du joint de soudure n'ont pas été fusionnées ensemble, habituellement au fond du chanfrein en V simple avec ou sans épaulement.

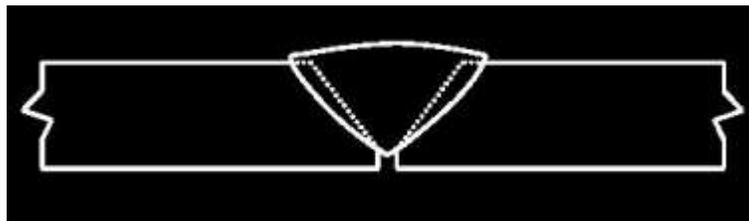


Figure 99 : Manque de pénétration.

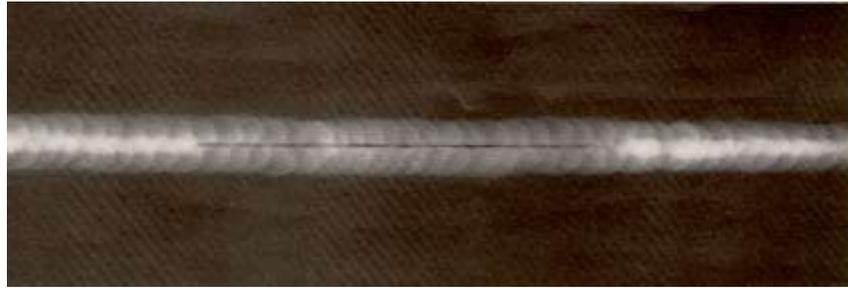


Figure 100 : Image radiographique de manque de pénétration.

Interprétation : l'image révèle une longue bande de densité plus sombre où on remarque que les arêtes dans le centre de la largeur du cordon de soudure ne sont pas fusionnées.

IV.9.6^{eme} Groupe : Défauts de forme

Ce groupe contient plusieurs types de défauts :

☞ Caniveau

Caniveau interne à la racine : on le trouve sur la surface interne le long du joint de soudure, amincissement du métal de base provoquant un Under-dut. La détection par radiographie est montrée sur la (figure 102).

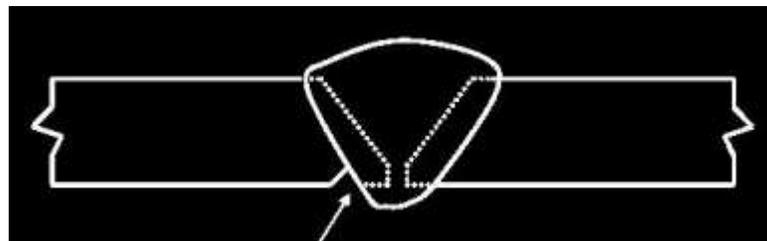


Figure 101 : Caniveau interne à la racine.

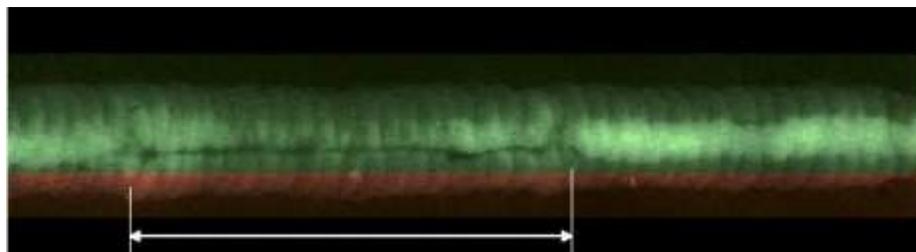


Figure 102 : Image radiographique de caniveau interne à la racine.

Interprétation : l'image révèle une zone irrégulière de densité plus sombre non loin du centre du joint de soudure et tout le long de l'arête de la passe à la racine.

Caniveau externe : remarquable sur la surface externe le long du joint de soudure et sur le bord de l'arête, amincissement du métal de base provoquant un Under-Cut.

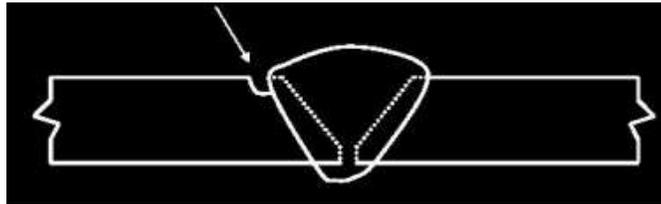


Figure 103 : Caniveau externe.

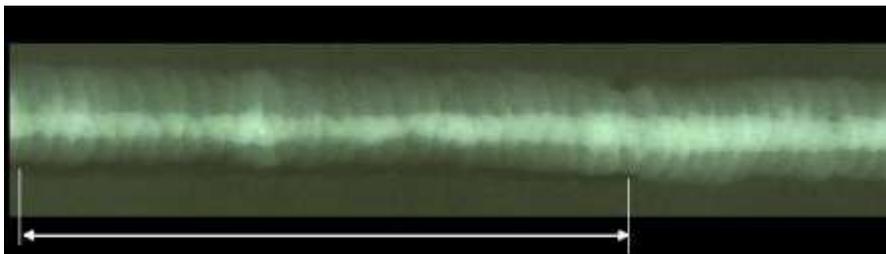


Figure 104 : Image radiographique de caniveau externe.

Interprétation : l'image révèle une zone irrégulière de densité plus sombre. Lors d'un caniveau tel que celui-ci, la densité de ce défaut sera toujours plus sombre que la densité des pièces à souder.

Pénétration excessive : c'est la quantité du métal d'apport à la racine du cordon de soudure excédentaire.

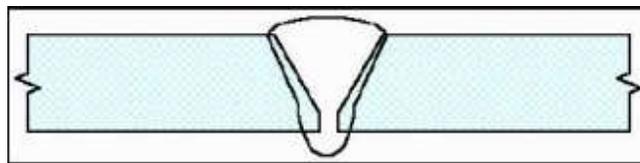


Figure 105 : Pénétration excessive.

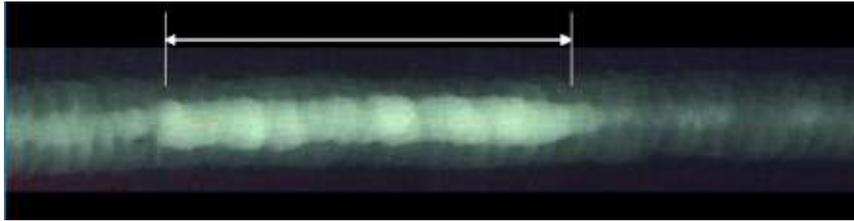


Figure 106 : Image radiographique de pénétration excessive.

Interprétation : l'image révèle une densité plus claire dans le centre de la largeur de la zone de soudage. Cela peut s'étendre tout le long du joint de soudure ou, comme dans ce cas, à des zones isolées.

☞ Concavité

Concavité interne à la racine : se trouve sur la surface interne le long du joint de soudure, dépression dans le centre du cordon à la racine provoquant un creux à cette même racine.

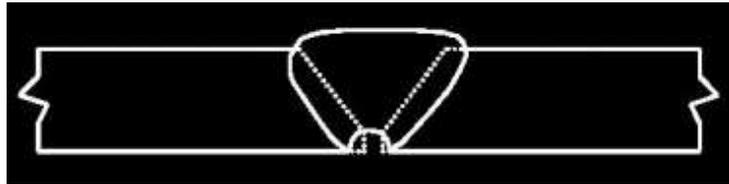


Figure 107 : Concavité interne à la racine.

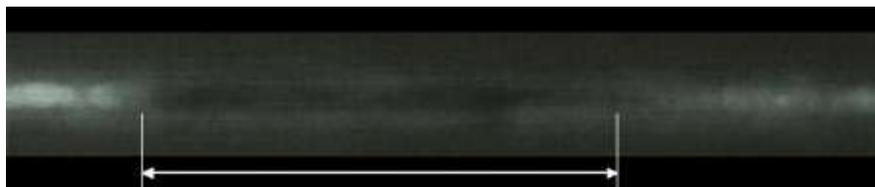


Figure 108 : Image radiographique de concavité interne à la racine.

Interprétation : l'image révèle une zone allongée irrégulière de densité plus sombre avec une arête floue dans le centre de la largeur du cordon de soudure.

Concavité excessive : la quantité du métal d'apport sur la dernière passe est insuffisante. La soudure sur le cap est creuse, l'épaisseur totale du cordon est donc plus mince à cet endroit.

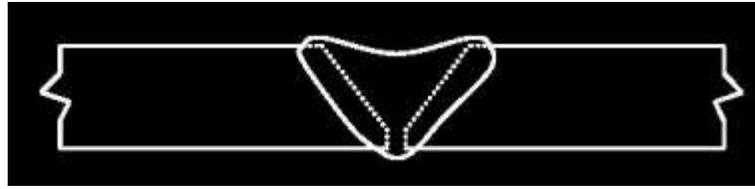


Figure 109 : Concavité excessive.

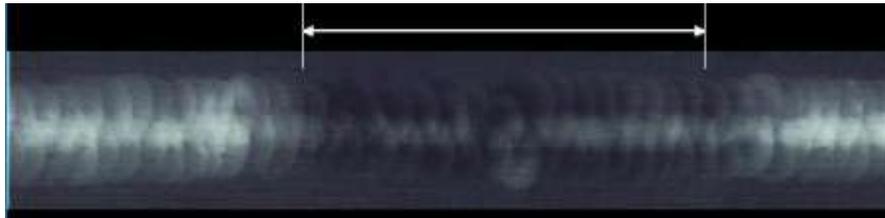


Figure 110 : Image radiographique de concavité excessive.

Interprétation : l'image révèle une densité plus sombre qui s'étend sur toute la largeur de la zone de soudage. Le reste de la partie soudée est plus blanc.

IV.10. Application des critères d'acceptabilité

Après avoir décelé les défauts inhérents au joint soudé, le contrôleur procède à la vérification des aspects suivants : nature du défaut, dimensions, répartition du défaut pris isolément puis en liaison avec d'autres défauts.

A ce stade précis, intervient l'application des critères selon codes, normes ou spécifications. [15]

IV.10.1. Exemple de codes

Code ASME VIII : Les fissures, les collages, les manques de pénétrations sont inacceptables quel que soit leurs dimensions.

Code API 1104 : les fissures sont inacceptables

Manque de pénétration et manque de fusion inacceptables si la longueur du défaut dépasse 1 pouce sur une longueur de soudure de 300 mm

Pour les pièces coulées

Exemple : ASTM E 446

Le standard E446 regroupe une collection de radios représentant les différents types de défauts rencontrés dans des pièces en acier moulées.

IL est constitué de 3 volumes, chacun d'eux étant caractérisé par une énergie de rayonnement et une fourchette d'épaisseur.

Chaque type de défaut est classé en 5 degrés de sévérité hormis fissure, crique, insert, moutonnement. [15]

IV.11.Rédaction du procès-verbal

Après chaque opération de détection les opérateurs doivent rédiger un procès-verbal qui doit contenir à son tour les points suivants :

- Document de référence
- Commande client
- N° d'affaire
- Constructeur
- Type de pièce, nuance, épaisseur
- Fiche d'anomalies
- Date
- Nom et visa du contrôleur

IV.12.Avantages et inconvénients de la méthode

Avantages

- ✓ Détection des défauts de surface ou volumique dans tous les matériaux ;
- ✓ Energies X disponibles : de quelques KeV jusqu'à 15 MeV ;
- ✓ Possibilité de radiographier des formes complexes et des épaisseurs d'acier variant de quelques micromètres à 600 mm ;
- ✓ Dimensionnement et identification possible des défauts ;
- ✓ Sensibilité de détection des défauts très élevée pour certaines techniques ;
- ✓ Examen possible en temps réel (radioscopie) ;
- ✓ Pas de zone morte sous la surface ;
- ✓ Conservation possible des radiogrammes plusieurs dizaines d'années ;

- ✓ Transportabilité (générateurs de rayons X de faibles énergies, appareils de radiographie gamma portatifs d'environ 20 Kg).

Inconvénients

- ✓ La sensibilité de détection des défauts dépend des dimensions de la source et de son énergie, de la position et de l'orientation des défauts dans la pièce, de l'épaisseur de la pièce, de la sensibilité du film...
- ✓ Coûts de fonctionnement élevés (sources de rayonnement, entretien du matériel, films radiographiques, contrôles obligatoires, radioprotection...);
- ✓ L'interprétation des radiogrammes est souvent délicate et nécessite une formation des opérateurs de niveau élevé ainsi qu'une grande expérience.

Inconvénients en Hygiène et Sécurité

- ✓ Les rayonnements utilisés sont dangereux et peuvent provoquer des maladies professionnelles graves ;
- ✓ Les opérateurs sont classés travailleurs de catégorie A et portent un dosimètre individuel ;
- ✓ La réglementation est souvent très contraignante (transport et stockage des sources radioactives, déclarations, autorisations, travail des femmes...). [13]

IV.13. Conclusion

Ce chapitre avait pour but de nous faire apprendre et savoir l'application de détection des défauts de soudage par la méthode de radioactivité et l'interprétation de ses résultats qui se caractérise par l'identification des indications et l'application des critères d'acceptabilité définis par les documents de référence et qui aboutissent soit au rebut soit à l'acceptation du produit. Elle est effectuée par un contrôleur certifié niveau II ASNT, COFREND, BANT ou équivalent, avec des équipements adaptés et en bon état (négatoscope, densitomètre...) et sur la base de procédures de contrôle approuvées.

*Chapitre V : Protection
radioactive*

V. La protection radioactive

V.1.Introduction

Les rayonnements ionisants ayant des effets nocifs sur les tissus vivants, leur utilisation dans les activités industrielles constitue un risque pour les travailleurs et la population dans son ensemble. Afin de limiter ce risque à un niveau acceptable la majorité des états se sont dotés d'un certain nombre de textes réglementaires que les utilisateurs de rayonnements ionisants sont tenus de respecter et ont mis en place des moyens de surveillance et de contrôle de la population.

Dans ce sens, nous avons réalisé ce chapitre à fin de définir la protection radioactive ou la radioprotection, ses principes ainsi que ses moyens.

V.2.Définition de la protection radioactive

La radioprotection ou la protection contre les rayonnements ionisants est l'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes, directement ou indirectement, y compris par les atteintes portées à l'environnement. [17]

V.3.But de la protection radioactive

L'objectif de la protection radioactive est de protéger les personnes de la radioactivité. Il s'agit de diminuer l'exposition aux rayonnements chaque fois qu'on le peut en dehors de l'exposition incontournable à la radioactivité naturelle et de celle, parfois nécessaire due aux utilisations médicales et industrielles de la radioactivité et donc d'empêcher ou de réduire les risques liés aux rayonnements ionisants.

☞ Pour bien protéger, il faut connaître le risque, c'est-à-dire évaluer la dose de la radioactivité reçue : activité (Becquerels) ; le dépôt d'énergie (grays) ; et surtout la dose biologique (milli sieverts). [18]

La dosimétrie est la mesure d'une quantité d'énergie communiquée à la matière en un point précis, par l'intermédiaire des rayonnements ionisants.

En effet, une radiation ionisante crée dans la matière traversée des ionisations et subit une perte d'énergie.

La quantité d'énergie cédée à la matière détermine la dose absorbée.

La quantité d'ions produits dans l'air par les rayons X et γ détermine l'exposition.

La dose absorbée est l'énergie délivrée par les radiations ionisantes à une masse de matière organique ou inorganique. Elle s'exprime par :

$$D = E/M ; (\text{Gy}) \quad (7)$$

Où : E : énergie cédée (J) ;

M : unité de masse (Kg).

L'exposition (X) est une grandeur définie uniquement pour les rayons X et γ , et pour un seul milieu l'air.

L'exposition (X) est égale au quotient de la somme Q des charges électriques de tous les ions de même signe produits dans un volume d'air, par la masse de ce volume d'air, soit : [19]

$$X = Q/ M ; (\text{C/Kg}) \quad (8)$$

V.4. Les effets de la radioactivité sur la santé

La radioactivité, naturelle ou artificielle, n'est dangereuse pour les organismes vivants que si la quantité d'énergie transmise est trop élevée.

Pour évaluer l'importance de l'impact biologique d'une exposition aux rayonnements ionisants et comparer les expositions entre elles, la radioprotection utilise notamment la dose efficace.

Les effets induits par les rayonnements ionisants dépendent de la source d'irradiation (nature, énergie, etc.), du mode d'exposition (temps, débit, distance), et de la cible (tissus ou organes touchés).

Les différents effets qui peuvent résulter de l'exposition de l'être humain aux radiations ionisantes peuvent être classés en deux catégories :

- Les effets à incidences déterministes ou non stochastiques ;
 - Les effets à incidences aléatoires ou stochastiques.
- a) **Déterministes** : ils apparaissent systématiquement à partir d'une certaine dose, variable selon l'organe ou le tissu touché ; ils sont d'autant plus sévères que la dose est élevée. Ce type d'effet s'observe lors des accidents nucléaires, comme par exemple aux abords de la centrale de Tchernobyl. Le délai d'apparition de ces effets après l'exposition varie de quelques heures à quelques mois. [20]

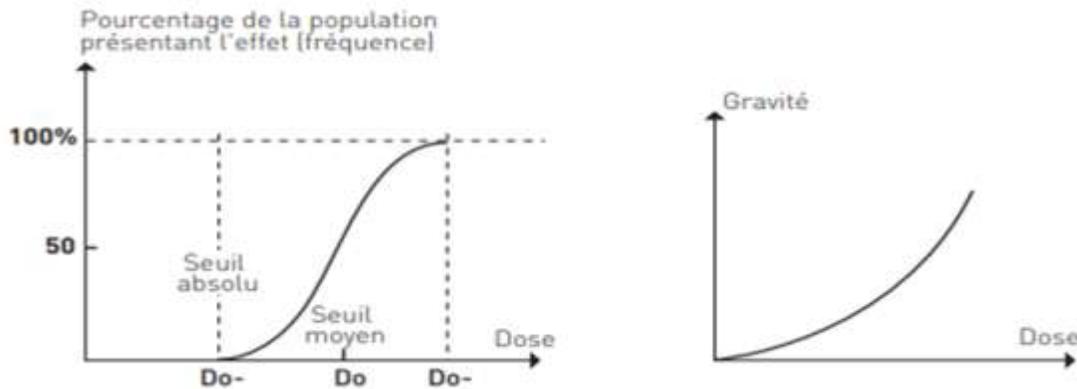


Figure 111 : Effets déterministes de la radioactivité. [21]

Ces effets (également appelés non aléatoires ou non stochastiques) ont les caractéristiques suivantes:

- Ils sont observés aux fortes doses ;
- Ils apparaissent obligatoirement au-dessus d'un seuil qui varie avec le débit de dose ;
- Leur gravité augmente avec la dose reçue. [21]

b) Aléatoires (ou stochastiques) : ils sont plutôt liés à la transformation des cellules, et c'est dans ce cas la probabilité d'apparition de l'effet qui augmente avec la dose reçue. Le délai d'apparition de ces effets, lorsqu'ils existent, est de plusieurs années après l'exposition. [20]

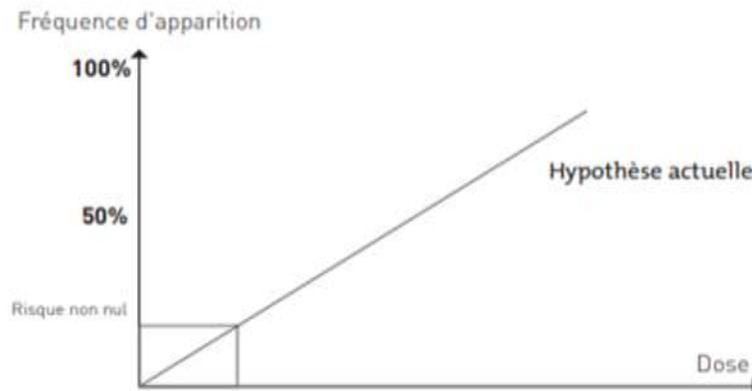


Figure 112 : Effets aléatoires de la radioactivité. [21]

Il s'agit d'effets cancérogènes ou mutagènes :

- Ils sont observables ou prépondérants aux faibles doses ;

- Pour des raisons de sécurité, et en l'absence de certitude scientifique, il est admis qu'il n'existe pas de dose seuil en dessous de laquelle ils ne se manifesteraient pas ;
- Leur probabilité d'apparition dans une population croît avec la dose ;
- Leur gravité est indépendante du niveau d'exposition ;
- Leur temps d'apparition est long (quelques années à quelques dizaines d'années). [21]

Le risque de cancer - Effets à long terme (aléatoires)

Sur le long terme, du fait d'altérations subies au niveau de la cellule, l'exposition à des rayonnements ionisants peut conduire à l'apparition de cancers secondaires chez les personnes irradiées. C'est pourquoi certaines populations comme les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki, ou les personnes qui travaillent avec des matériaux radioactifs comme les travailleurs des mines d'uranium ont développé plus de cancers que les personnes qui n'ont pas subi d'irradiation.

Ces effets, peuvent se révéler plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années après l'irradiation. Cependant toutes les personnes touchées ne développent pas de cancer : cela n'est qu'un risque.

La fréquence dépend en partie de la dose reçue (plus la dose est importante, plus le risque de développer un cancer est fort).

En juin 2009, la commission internationale de protection radiologique (CIPR) a réuni un groupe de travail afin d'estimer la cancérogénicité de différents types de rayonnements et pour identifier les localisations cancéreuses correspondantes. [20]

Les principes généraux formulés par la Commission Internationale de Protection Radiologique CIPR sont :

- a. Toute activité impliquant une exposition aux rayonnements ionisants doit être justifiée par les avantages qu'elle procure.
- b. Toutes les expositions doivent être maintenues à un niveau aussi faible qu'il est raisonnablement possible de la faire, compte tenu des aspects économiques et sociaux.
- c. En aucun cas dans les activités autres que les applications médicales et à l'exception des expositions d'urgences, les doses reçues par les individus ne devront dépasser les limites recommandées par la commission.

La CIPR joue un rôle capital sur le plan scientifique en matière de radioprotection. [22]

V.5. Modes d'exposition à la radioactivité

Si les sources d'émission des rayonnements sont situées à l'extérieur de l'organisme l'exposition est externe, si elles sont situées à l'intérieur elle est interne.

L'exposition du corps entier considérée comme homogène est une exposition globale par opposition à l'exposition partielle relative à une partie du corps, ou à un ou plusieurs organes ou tissus. La somme des expositions interne et externe constitue l'exposition totale.

- 1) **Exposition externe** : la source radioactive est à l'extérieur de l'organisme. Si l'ensemble de l'organisme est atteint, on parle d'exposition globale ; si seule une partie est atteinte, il y a exposition partielle. Cette exposition externe peut être à distance de l'intervenant ou au contact (à la surface de la peau).
- 2) **Exposition interne** : (ou contamination) la source radioactive se trouve à l'intérieur de l'organisme. Le ou les radio-contaminants sont directement en contact avec les tissus internes de l'organisme, on parle d'exposition interne. [17]

V.6. Sources d'exposition à la radioactivité

Il existe trois principales sources d'exposition :

1. L'exposition médicale, la plus importante ;
2. L'exposition naturelle ;
3. L'exposition industrielle, accidentelle. [20]

V.7. Synthèse sur les Equivalents de dose maximale admissibles E.D.M.A., les catégories de personnes et divers types d'exposition externes

V.7.1. Equivalents de dose maximale admissibles E.D.M.A

Les Equivalents de Dose Maximales Admissibles (E.D.M.A) fixés par les textes concernent uniquement les expositions d'origine professionnelle, elles sont définies pour les conditions normales de travail.

E.D.M.A pour les hommes et les femmes en état de procréer :**Tableau N°18 : EDMA sur douze mois consécutifs. [22]**

Types d'exposition et parties du corps irradiées	EDMA Annuel
Exposition globale en profondeur	0,05 Sv (5 rem)
Exposition de la peau	0,5 Sv (50 rem)
Exposition du cristallin	0,15 Sv (15 rem)
Exposition des extrémités (main, avant bras, pieds et chevilles)	0,5 Sv (50 rem)

L'EDMA trimestriel est fixé aux six dixièmes (6 /10) de l'EDMA annuel pour les hommes, il est limité au quart de l'EDMA annuel pour les femmes en état de procréer.

Tableau N°19 : EDMA sur trois mois consécutifs. [22]

Exposition globale en profondeur	EDMA trimestriel
Hommes	0,03 Sv (3 rem)
Femmes en état de procréer	0,0125 Sv (1,25 rem)

E.D.M.A pour les femmes dont la grossesse est déclarée

Dès qu'une grossesse a été déclarée au médecin du travail, des dispositions doivent être prises pour que l'exposition abdominale de la femme, accumulée pendant le temps qui s'écoule entre la déclaration de la grossesse et le moment de l'accouchement soit aussi réduite que possible et ne dépasse en aucun cas 0,01 Sv soit 1 rem . [22]

V.8.Classification des travailleurs et EDMA pour les différentes catégories**➤ Catégorie A : DATR**

Ce sont les travailleurs Directement Affectés à des Travaux sous Rayonnements(DATR).

Pour ces personnes les conditions habituelles de travail sont susceptibles d'entraîner le dépassement des trois dixièmes des E.D.M.A annuel.

Aucune personne de moins de 18 ans révolus ne peut être classée DATR.

➤ **Catégorie B : NDATR**

Ce sont les travailleurs Non Directement Affectés à des Travaux sous Rayonnements (NDATR). Pour ces personnes, les conditions habituelles de travail sont telles qu'elles ne peuvent pas entraîner le dépassement des trois dixièmes des E.D.M.A annuel.

Pour une exposition globale l'EDMA annuel des NDATR ne devra pas dépasser 0,015 Sv soit 1,5rem.

➤ **Les apprenties**

Entre 16 et 18 ans, les apprentis ne peuvent être exposés aux rayonnements que pour le besoin de leur formation. Leur E.D.M.A est limité aux trois dixième de l'EDMA annuel.

E.D.M.A annuel pour une exposition globale est de : 0,015 Sv soit 1,5 rem.

➤ **Le public**

Pour le public l'EDMA ne devra en aucun cas dépasser le dixième de l'EDMA annuel fixé par les textes pour les DATR ...

Pour une exposition globale l'EDMA annuel pour le public est fixé à 0,005 Sv soit 0,5 rem. [22]

V.9.Dangers et risques de l'exposition à la radioactivité

Troubles observés par l'être humain, dans l'ordre, lors d'absorption de doses croissantes : maux de tête, manque d'appétit, diminution du nombre de globules rouges, stérilité, destruction des tissus.

Et depuis la découverte de tous ces risques, des décisions et des études aussi que des recherches sont faites rigoureusement par des pouvoirs publics à fin de maîtriser l'utilisation des propriétés de la radioactivité dans le cadre des normes internationales de la protection radioactives. [22]

V.10.Règles élémentaires de la protection radioactives

En présence d'une source de radioactivité, certaines règles simples peuvent être mises en place pour éviter les risques :

- Éloigner au maximum les personnes de la source des rayonnements ;
- Diminuer autant que possible la durée d'exposition aux rayonnements ;

- Placer entre la source et les personnes exposées un ou plusieurs écrans de protection appropriés à la nature des différents rayonnements ionisants ;
- Ventiler les lieux où flottent des gaz radioactifs afin de diluer ces gaz (par exemple, aérer les galeries des mines souterraines d'uranium pour en évacuer le radon) ;
- Attendre si possible que la radioactivité baisse naturellement. [23]

V.11.Principes de la protection radioactive

La radioprotection s'appuie sur trois grands principes : justification, optimisation et limitation des doses de rayonnements.

1. La justification

Toute activité entraînant une exposition aux rayonnements ionisants doit être justifiée par une analyse coût/avantage, mettant en évidence que le détriment est suffisamment faible par rapport au bénéfice que l'on retire de cette pratique.

Toute activité non justifiée est interdite. Lorsque plusieurs techniques permettent d'obtenir le même résultat, le choix se portera sur celle qui est la moins « dosante » en rayonnements ionisants et dont le bilan, en termes de risques, est le plus favorable. [24]

2. L'optimisation

Pour une source donnée, l'objectif général est de maintenir les valeurs de doses individuelles et collectives, au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des techniques et des facteurs socio-économiques. C'est le principe ALARA. (As Low As Reasonably Achievable). [17]

Le principe d'optimisation s'applique à toutes les expositions, qu'elles résultent d'activités industrielles civiles ou militaires, médicales, vétérinaires ou de recherche. Il s'applique aussi à des activités menées dans des environnements particulièrement exposés aux rayonnements ionisants d'origine naturelle, cosmique ou terrestre (par exemple, vols en haute altitude, galeries de mines et certains bâtiments construits sur des terrains à sous-sol granitique). [24]



Figure 113 : Travailleur du nucléaire contrôlant des tubes de générateurs de vapeur. [24]

3. La limitation des expositions individuelles

La réglementation nationale de la santé publique et du travail fixe, pour le public et les travailleurs, des limites de doses individuelles annuelles cumulées admissibles. Pour le public, la limite de la dose efficace, par exemple, est fixée à 1 mSv/an. Pour les travailleurs, cette limite est fixée à 20 mSv/an.

Il faut également réduire les expositions individuelles aux limites pour lesquelles le risque est jugé acceptable. Ces limites sont telles qu'elles permettent :

- D'éviter tout effet pathologique, en se situant bien au-dessous des seuils des effets déterministes ;
- De maintenir le détriment éventuel provoqué par les effets aléatoires à un niveau jugé acceptable pour l'individu et la société. [24]

Ces trois principes fondamentaux découlent d'un principe général de précaution : le principe «ALARA » (As Low As Reasonably Achievable).

V.12.Règles de protection opérationnelle

Pour l'utilisateur, il existe quatre (4) règles fondamentales de protection contre les sources de rayonnement externes : la distance, l'activité, le temps et les écrans (moyens mnémotechniques ; (D.A.T.E)).

V.12.1. Protection contre l'exposition externe

1. Distance

Est de s'éloigner de la source des rayonnements. En effet, dans le cas des rayonnements qui s'atténuent peu dans l'air, la dose reçue par une source ponctuelle à la distance (d) est plus faible que la dose reçue à la distance (do) et peut-être calculée en utilisant la relation inverse carrée de la distance :

$$Dd_1 = \frac{Dd_0}{(d_1/d_0)^2} ; (\text{rad/h}) \quad (9)$$

Où : d_1/d_0 : distances (m) ;

D : dose reçue (rad/m).

Exemple : Le débit de dose délivré à 1 m du foyer d'un générateur de RX est de 800 rad/h, on a calculé le débit de dose délivré à 5 m et à 0,5 m :

1. $Dd_1 \text{ à } 5\text{m} = D (1\text{m})/ d^2 = 800/ (5\text{m})^2 = 32 \text{ rad/h}$
2. $Dd_1 \text{ à } 0.5\text{m} = D (1\text{m})/ d^2 = 800/ (0.5\text{m})^2 = 3200 \text{ rad/h}$

Cette équation est valable dans tous les milieux isotropes ainsi que dans le vide.

- ☞ La distance à la source de rayonnements doit être considérée de deux façons différentes :
 - ✓ Distance par rapport à l'équipement actif sur lequel on travaille (ex. : renvoi de commande manuelle, caméras de surveillance, outillages spécialisés permettant certaines opérations à distance) ;
 - ✓ Distance par rapport aux autres équipements actifs, plus particulièrement dans le bâtiment réacteur. [22]

2. L'activité

IL s'agit de :

- ✓ Réduire l'activité de la source, par exemple ;
- ✓ Diminuer les quantités de matière radioactive engagées, dans le cadre d'une décontamination par exemple ;
- ✓ Diluer les gaz radioactifs ; Dans les mines d'Uranium souterraines, la ventilation permet de maintenir une faible concentration de radon dans l'air que respirent les mineurs ;

- ✓ Attendre la décroissance radioactive des éléments ; Par exemple, les installations nucléaires ne sont pas démantelées aussitôt leur arrêt, de façon à permettre une diminution de l'activité des zones concernées. [22]

3. Temps

Il s'agit de minimiser la durée de l'exposition aux rayonnements

Pour réduire le temps d'exposition, quelques exemples de bonne conception sont donnés ci-après :

- Prévoir le supportage des matelas de plomb ainsi que les points d'ancrage des autres types de protection adaptés aux matériels auxquels ils sont dédiés et en vérifier la tenue au séisme ;
- Les calorifuges doivent être déclinables. En effet, les calorifugeurs peuvent être très exposés. Le temps de la mise en place et de retrait des calorifuges doit être aussi réduit que possible ;
- Un éclairage efficace permet un gain sur le temps d'exposition des personnels ;
- La mise en place de plate-forme d'accès permanente pour travaux de maintenance est de loin préférable à l'installation d'échafaudages générateurs de temps d'exposition ;
- Prévoir des outillages et/ou des filtres sans manutention ;
- Installation de robinets à maintenance allégée.

$$D = D^{\circ} \times t ; (\text{mrad}) \quad (10)$$

La dose absorbée est proportionnelle au temps pendant lequel on est soumis à l'irradiation. [22]

Exemple : on a calculé la dose absorbée par un opérateur DATR travaillant pendant 2 h et demi en un point où le débit de dose est de 20 mrad/h.

$$D = 20 \text{ mrad/h} \times 2.5 \text{ h} = 50\text{mrad.}$$

4. Ecran

Il s'agit d'interposer un écran dont la nature et l'épaisseur (eau, plomb, béton...) qui sont adaptées aux caractéristiques des rayonnements émis par la source.

- ✓ Pour des rayonnements α , peu pénétrants, des écrans très minces (papier, aluminium, cuivre) sont suffisants.
- ✓ Pour des rayonnements γ , moyennement pénétrants, des écrans de matériaux à faible numéro atomique (plexiglas, plastique) les absorbent complètement.

- ✓ Pour des rayonnements X ou γ , très pénétrants, on utilise généralement des matériaux de numéro atomique élevé (plomb). L'efficacité des écrans est alors mesurée par la valeur de l'épaisseur de matériau qui divise le débit de dose par deux (« épaisseur moitié ») ou par dix (« épaisseur dixième »).
- ✓ Pour des neutrons, on utilise des écrans de faible numéro atomique (eau, paraffine...) pour les ralentir (thermalisation) et des écrans de bore ou de cadmium pour les absorber. [22]

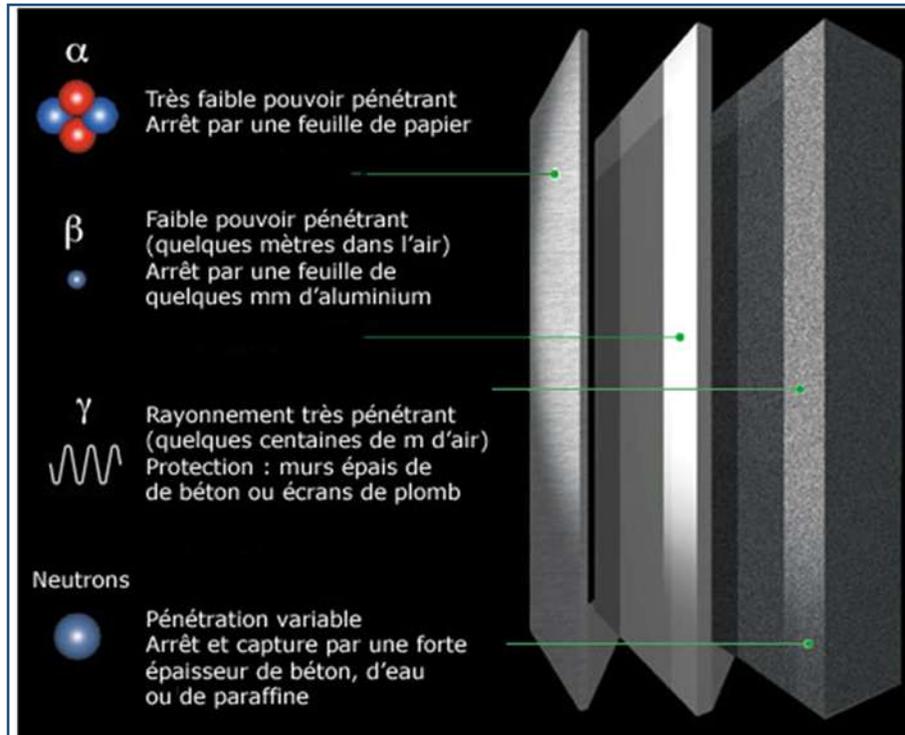


Figure 114 : Ecrans de protection. [18]

Disposition des écrans

Quelques règles sont décrites ci-après pour la disposition des écrans :

- a. Cas d'une source riche en neutrons rapides :
 - Disposer un matériau ralentisseur en tête de protection,
 - Disposer derrière un matériau qui capture les neutrons thermiques (matériaux borés).

- b. Cas d'une source mixte (neutron et gamma) :
 - Nécessité d'absorber une grande partie des gammas dès leur sortie de la source (gain de poids et augmentation de la durée de vie des matériaux neutrophiles).
- c. Cas d'une source intense de rayonnement gamma :
 - Écrans de matériaux lourds (plomb, fer, tungstène...) au plus près de la source.

Influence des écrans

- **Définition de la couche de demi-atténuation (C.D.A) :** On appelle C.D.A couche de demi-atténuation, l'épaisseur de matière qui divise le débit de dose initial par deux.

La C.D.A est couramment notée par $E_{1/2}$ ou $x_{1/2}$, sa valeur dépend du type de matière traversée et de la nature du rayonnement utilisé.

Retenons que $E_{1/2}$ ou $x_{1/2}$ augmente si l'énergie du rayonnement augmente et diminue si la densité (masse volumique) du matériau croit.

Dans le cas des RX, l'énergie moyenne des rayons dépend de la haute tension appliquée au tube et de la filtration propre de chaque poste, il est impossible de donner des valeurs générales de C.D.A. [22]

Exemple d'un tube auto-redressé :

H.T. Appliquée C.D.A de l'acier

200 kV	5 mm
300 kV	7 mm

V.12.2. Protection contre l'exposition interne

La protection contre l'exposition interne s'exerce au niveau des locaux (protection collective) et au niveau des individus (protection individuelle).

☞ **Au niveau collectif**

La protection contre l'exposition interne est assurée dès la conception par le confinement statique (trois barrières pour les installations nucléaires de base) et le confinement dynamique (système de

ventilation et de filtration). Elle est complétée en exploitation par les dispositions spécifiques de radioprotection destinées à surveiller et contrôler leur efficacité.

La protection collective consiste à :

- ✓ Assurer l'étanchéité des barrières de confinement ;
- ✓ Réduire l'activité des fluides par purification ;
- ✓ Limiter, autant que possible, l'activité des dépôts de produits de corrosion, en particulier, par le contrôle de la chimie du circuit primaire ;
- ✓ Diluer ou piéger par ventilation les produits radioactifs dont les gaz rares et les iodes ;
- ✓ Collecter les fuites et purges ;
- ✓ Assurer le confinement des locaux et des chantiers ;
- ✓ Contrôler les conditions de fonctionnement à l'aide des chaînes fixes de radioprotection.

☞ **Au niveau individuel**

La protection est assurée par le port de protections des voies respiratoires et de vêtements spéciaux (tenue autonome). [17]

V.13.Objectifs liés à la limite d'exposition

L'un des objectifs principaux de la radioprotection est de fixer des limites à l'exposition que peut subir chaque personne, notamment les travailleurs. Les valeurs de ces limites ont été établies dans le double but :

- D'empêcher l'apparition de tout effet déterministe en maintenant l'équivalent de dose reçue pendant toute la vie professionnelle au-dessous de l'équivalent de dose du plus faible seuil ;
- De limiter l'apparition des effets stochastiques à un niveau "socialement acceptable", juste compromis entre le bénéfice que tire la société de l'utilisation de la radioactivité et des rayonnements ionisants et les nuisances qui en découlent. [25]

V.14.Moyens de protection radioactive

Les moyens de protection doivent permettre de réduire les expositions subies par les travailleurs et l'environnement au niveau le plus faible que l'on puisse raisonnablement atteindre.

Si plusieurs pratiques sont en compétition, une analyse détaillée coûts-avantages devra être effectuée afin de dégager la pratique optimum : le coût comprenant la somme de tous les aspects négatifs (notamment les charges financières directes, les atteintes à la santé ou à l'environnement), l'avantage, la somme de tous les aspects positifs.

V.14.1.Les moyens de protection contre l'exposition externe

La dose absorbée par un individu étant le produit du débit de dose par le temps de présence, la protection contre l'exposition externe est en général une combinaison de trois paramètres : éloignement des sources, écrans interposées (paramètres agissant sur le débit de dose), et temps d'exposition. Elle est réalisée, en particulier, par :

- Le blindage des sources ;
- La disposition d'obstacles physiques empêchant une approche excessive des sources ;
- L'utilisation d'écrans mobiles adaptés à la nature des rayonnements ;
- L'emploi d'appareils permettant d'effectuer les manipulations à distance.

V.14.2.Les moyens de protection contre la contamination corporelle externe

Les moyens de protection contre la contamination corporelle externe peuvent se diviser en deux catégories :

- 1) **Les moyens directs** : tenue vestimentaire appropriée à la nature du travail et tout particulièrement port de gants jetables adaptés, la manipulation des sources non scellées à main nue étant interdite.
- Education gestuelle pour travailler en limitant au maximum la contamination des gants, pour surveiller le niveau de contamination en cours de travail et pour savoir retirer des gants souillés sans risque de se contaminer les mains ou les poignets.

- 2) **Les moyens indirects** : ce sont tous les procédés utilisés pour lutter contre la contamination surfacique, donc contre la dissémination tels que le confinement des sources, la limitation des déplacements des sources, le respect des consignes de travail dans les différentes zones (en particulier les tenues vestimentaires), l'aménagement du lieu de travail, les contrôles fréquents de non contamination et l'emploi de surfaces lisses et imperméables permettant une décontamination aisée en cas d'accident. [25]

V.14.3. Les moyens de protection contre l'exposition interne

Les moyens visant à empêcher l'incorporation des radionucléides sont de deux natures : physiques et réglementaires.

V.14.3.1. Les moyens réglementaires de protection contre l'exposition interne

Dans tout local où sont manipulées des sources radioactives non scellées une disposition du règlement intérieur de l'établissement doit interdire :

- ✓ Le pipetage des solutions à la bouche ;
 - ✓ L'introduction de nourriture, de boisson, de gomme à mâcher et de tout ustensile pour manger ou boire ;
 - ✓ L'introduction de cigarettes, de tabac et de tout article pour fumer (ou même priser...) ;
 - ✓ L'utilisation de mouchoirs personnels ; L'employeur est tenu de fournir des mouchoirs en papier.
- [25]

V.14.3.2. Les moyens physiques de protection contre l'exposition interne

Pour l'inhalation, ils résident avant tout dans le confinement de la source. Même si les locaux de travail sont ventilés (avec filtration de l'air et cascades de dépression entre les différentes zones) ce n'est que pour faire face à un accident de contamination atmosphérique. On se place du point de vue de la sûreté des installations. En cas d'intervention ou de travaux nécessitant une rupture de confinement, toutes les dispositions doivent être prises pour qu'un confinement provisoire soit réalisé (tente en vinyle par exemple) et qu'il soit correctement ventilé.

L'ensemble des dispositifs précédents sont liés à la protection collective. Mais ces moyens englobent également les dispositifs individuels de protection des voies respiratoires, étant entendu que ces

équipements sont réservés aux situations incidentelles ou accidentelles et qu'il serait parfaitement anormal qu'ils soient utilisés en permanence dans les conditions habituelles de travail. Pour l'ingestion, ils comprennent une éducation gestuelle visant à réprimer les gestes réflexes tels que, par exemple, porter les doigts au nez ou à la bouche en cours de travail alors que l'on est porteur de gants contaminés. [25]

Le tableau suivant exprime les différents risques radioactifs et leurs moyens de protection radioactive en bref :

Tableau N°20 : Moyens de protection radioactive.

Mode d'exposition	Protection collective	Protection individuelle
Exposition externe sans contact	<ul style="list-style-type: none"> • Blindage des sources • Écrans (béton, acier, eau...) 	Ecran Distance Durée d'exposition
Exposition externe avec contact	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle et nettoyage des surfaces • Zonage des locaux 	Gants Sur tenues
Exposition interne	<ul style="list-style-type: none"> • Confinement des sources non scellées dans des enceintes et des circuits étanches • Conception des ventilations 	<ul style="list-style-type: none"> • Protections respiratoires • Tenue étanche

V.15. Contrôles prévus dans le cadre de la protection des travailleurs

V.15.1. Contrôles techniques de radioprotection

Le directeur de l'unité procède, ou fait procéder, à un contrôle technique de radioprotection des sources et des appareils émetteurs de rayonnements ionisants (y compris pour les générateurs X et accélérateurs de particules), des dispositifs de protection et d'alarme ainsi que des instruments de mesure utilisés. Il s'agit des contrôles suivants :

- A la réception dans l'unité ;
- Avant la première utilisation ;
- Lorsque les conditions d'utilisation sont modifiées ;

- Périodiques pour les sources et appareils émetteurs de rayonnements ionisants ;
- Périodiques pour les instruments de mesure utilisés pour ces contrôles, assortis d'une vérification du bon fonctionnement.

V.15.2. Contrôles techniques d'ambiance

Le directeur d'unité procède, ou fait procéder, à des contrôles techniques d'ambiance comprenant :

- En cas d'exposition externe, la mesure des débits de dose externe, en indiquant les caractéristiques des rayonnements en cause ;
- En cas de risque d'exposition interne, les mesures de la concentration dans l'air et de la contamination des surfaces, en indiquant les caractéristiques et la présentation des substances radioactives présentes.

Le type d'appareils, la localisation des points de mesure et la périodicité de ces contrôles sont déterminés par la PCR (polymerase chain reaction) ou l'organisme agréé, en fonction de la nature des risques.

Cependant le contrôle d'ambiance systématique, s'il n'est pas effectué en continu, devra être réalisé au moins une fois par mois.

Ces contrôles peuvent être effectués par la PCR ou par un organisme agréé, mais sont réalisés au moins une fois par an par un organisme agréé.

Les résultats de ces contrôles sont consignés dans un document comportant également :

- Un relevé actualisé des sources et appareils, des informations relatives aux modifications apportées aux sources, appareils et dispositifs de protection ;
- Les remarques faites par les organismes agréés ou l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). [22]

V.16. Conclusion

D'après ce chapitre, nous avons constaté que l'utilisation de la méthode de détection par radioactivité nécessite obligatoirement une protection radioactive et c'est ce qu'on a présenté dans ce modeste travail; commençant par sa définition, son but passant par les effets qu'on doit connaître et diminuer ainsi ses règles et ses principes dans les différents modes d'expositions.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Parmi les procédés de mise en œuvre des matériaux métalliques le soudage se situe en première position. Cette technique consiste à réunir deux ou plusieurs pièces à l'aide d'une source de chaleur ou par compression de telle sorte que ces pièces forment un continuum.

La qualité d'une soudure dépend certainement du bon déroulement de l'opération de soudage, mais on aura aucune certitude sur l'état de la soudure si celle-ci, n'est pas certifiée par un contrôle fiable et sûr.

Les défauts de soudage probables sont nombreux, mais aussi les procédés de détection sont multiples, et avec des techniques différentes.

En pratiquant le contrôle des irrégularités situés sur l'assemblage soudé, on a choisie et donc appliqué la détection par radioactivité grâce à ses propriétés qui peuvent détecter un nombre important de défauts tels que : les fissures, les cavités, les inclusions sur le joint soudé et qui sont révélés dans de différentes indications sur le film ou l'image radiographique.

Cette méthode nécessite obligatoirement une protection contre ses risques et ses dangers qui peuvent arriver jusqu'au des maladies mortelles et c'est ce qu'on a pu constater au sein du complexe de gaz pétrole liquéfié N°1 d'Arzew (GP1Z).

En fin ce travail nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine mécanique ainsi que la maîtrise du contrôle par rayonnement X ou Y.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] www.wikipédia.com. Consulté le 02 novembre 2019.
- [2] www.kemppi.com/ les technologies du soudage, consulté le 03 novembre 2019.
- [3] [www.poste à souder.ooreka.fr/](http://www.poste-à-souder.ooreka.fr/) critères de choix d'un poste à souder ; consulté le 05 novembre 2019.
- [4] BERNARD. A, ooreka.com/soudage : soudage – préparation–contrôle DMOS, consulté le 10 décembre 2019.
- [5] www.wikibooks.org/ soudage, conception d'un assemblage soudé, ouvrage consulté le 04 novembre 2019.
- [6] JOHO.P, le soudage, généralités sur la représentation symbolique des soudures, cours documents, construction.
- [7] AUBON.R, LE MEUR J. M ,2017 Etude expérimentale des déformations en soudage, Centre national de ressources structures métalliques, Nantes. Académie de Créteil.
- [8] CSMOFMI, 2014, défauts de soudure, soudage et assemblage-soudage, guide d'auto apprentissage, Chapitre 06.
- [9] MAHDI .H et HASNAOUI.D, 2018, inspection et contrôle des assemblages soudés par méthode non destructive, Mémoire de fin d'étude master, en génie mécanique université de Msila.
- [10] RAID.A 2018, Contrôle non destructif ressuage, magnétoscopie, radiographie, courants de Foucault et ultrasons, polycopie.
- [11] Documentation du complexe GP1Z, Service administratif.
- [12] Google Earth.
- [13] Documentation de l'entreprise, cours de radioactivité, institut national de pétrole IAP SPA.
- [14] FERNANDES.A, ESAB, Soudage équipements, consulté le 02 septembre 2020.
- [15] Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers GTP, inspecteur CND, documents stagiaire.
- [16] Documentation complexe GP1Z, Service technique, obtenue le 17 aout 2020.
- [17] GARCIER Y, Guide Pratique EDF, 2014, Mémento de la radioprotection en exploitation.

- [18] www.laradioactivite.com / édité par CNRS/EDP-SCIENCES 2016 ; consulté le 10 février 2020.
- [19] Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers GTP, cours radioprotection ; obtenue le 02 septembre 2020.
- [20] CARRIE C, radioactivité (rayonnements ionisés et cancer) centre Léon Bérard, Lyon.
- [21] Guide de radioprotection, 2007, les Cahiers de prévention : santé sécurité, environnement, Centre National de la Recherche Scientifique.
- [22] Documentation stagiaire, Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers GTP.
- [23] Andra, 2006, l'inventaire des matières radioactives, Parc de la Croix Blanche, France
- [24] Autorité de la sûreté nucléaire, Principe de la radioprotection, fiche d'information ASN°02.
- [25] Cours de protection radioactive, Institut National de Pétrole IAP.

ANNEXES

Annexes

Codification des soudures

Soudage à l'arc électrique	11	Soudage à l'arc avec électrode fusible sans protection gazeuse
	111	Soudage à l'arc avec électrode enrobée
	115	Soudage à l'arc au fil enrobé
	12	Soudage à l'arc sous flux en poudre Soudage à l'arc sous flux
	121	Soudage à l'arc sous flux en poudre avec fil électrode
	13	Soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec électrode fusible
	131	Soudage MIG soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil électrode fusible
	135	Soudage MAG soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil électrode fusible
	14	Soudage sous protection gazeuse avec électrode réfractaire
	141	Soudage TIG soudage sous atmosphère inerte avec électrode de tungstène
	149	Soudage à l'hydrogène atomique
	15	Soudage au plasma
	18	Autre procédé de soudage à l'arc
Soudage par résistance	21	Soudage par point (par résistance)
	22	Soudage à la molette
	221	Soudage à la molette par recouvrement
	225	Soudage à la molette avec feuillard
	23	Soudage par bossage
	24	Soudage par étincelage
	25	Soudage en bout par résistance pure
	29	Autre procédé de soudage par résistance
Soudage aux gaz	31	Soudage oxygaz
	311	Soudage oxyacétylénique
	312	Soudage oxypropane
	313	Soudage oxhydrique
	32	Soudage aérogaz
	321	Soudage aéroacétylénique
Brasage	91	Brasage fort
	94	Brasage tendre
	97	Soudobrasage
	971	Soudobrasage au gaz
	972	Soudobrasage à l'arc

Paramètres de soudage TIG

P
R
O
C
E
D
E
S

Paramètres de soudage TIG

Soudage TIG des aciers non ou faiblement alliés et des aciers inoxydables

ELECTRODE : Tungstène thorié à 2 %, Cérium à 2% ou Multistrike
 GAZ DE PROTECTION : Argon pur
 NATURE DU COURANT : Courant continu (pôle négatif à l'électrode)
 POSITION DE SOUDAGE : A plat (en position, réduire l'intensité de 10 à 20 %)

Epaisseur à souder (mm)	Ø électrode (mm)	Ø métal apport (mm)	Intensité soudage (1) (Ampère)	Dia buse céramique (mm)	Débit gaz (l/min)	Vitesse soudage (2) (cm/min)	Nombre passes	Joint conseillé à plat (3)
0,6	1	- / 1	10 - 25	6	4	20 - 40	1	A
0,8	1	- / 1	15 - 35	6	4	30 - 40	1	A
1,0	1,6	1,2	25 - 65	9	4	25 - 40	1	A
1,5	1,6	1,2 / 1,6	45 - 95	9	5	20 - 45	1	A
2,0	2	1,6 / 2	60 - 110	11	5	15 - 30	1	A ou B
2,5	2	2 / 2,5	90 - 130	11	5	15 - 30	1	B
3,0	2,4	2 / 2,5	100 - 150	13	6	15 - 30	1	B
4,0	2,4	3	120 - 200	13	6	10 - 25	1	B
5,0	3	3 / 4	150 - 250	13	6	10 - 25	1	C
6,0	4	4	200 - 300	15	8	10 - 20	1	C

Supérieur à 6 mm : Passe pénétration en TIG / remplissage électrode ou multi-passes en TIG

Soudage TIG de l'aluminium et de ses alliages (5)

ELECTRODE : Tungstène pur
 GAZ DE PROTECTION : Argon pur ou mélange Argon/Hélium
 NATURE DU COURANT : Courant alternatif stabilisé par haute fréquence
 POSITION DE SOUDAGE : A plat (en position, réduire l'intensité de 10 à 15 %)

Epaisseur (mm)	Ø électrode (mm)	Ø métal ap. (mm)	Intensité (Ampère)	Dia buse (mm)	Débit gaz (l/min)	Vit. soud (2) (cm/min)	Nombre passes	Joint conseillé (3) (4)
1	1 / 1,6	1,6	30 - 55	9	7	20 - 25	1	B
1,5	1,6	1,6 / 2	60 - 80	9	7	20	1	B
2	2 / 2,4	2 / 2,5	70 - 120	11	7	15 - 20	1	B
2,5 *	2,4	2,5 / 3	110 - 140	13	8	10 - 20	1	B
3 *	2,4	3	140 - 160	13	8	10 - 15	1	B
4 *	2,4 / 3	3 / 4	140 - 160	13	8	10 - 15	1	B
5 *	3 / 4	4	150 - 190	15 **	9	5 - 15	1	B ou C
6 *	4	4 / 5	180 - 240	19 **	9	5 - 15	1	C
8 *	5	5	200 - 300	19 **	10	5	1 ou 2	C

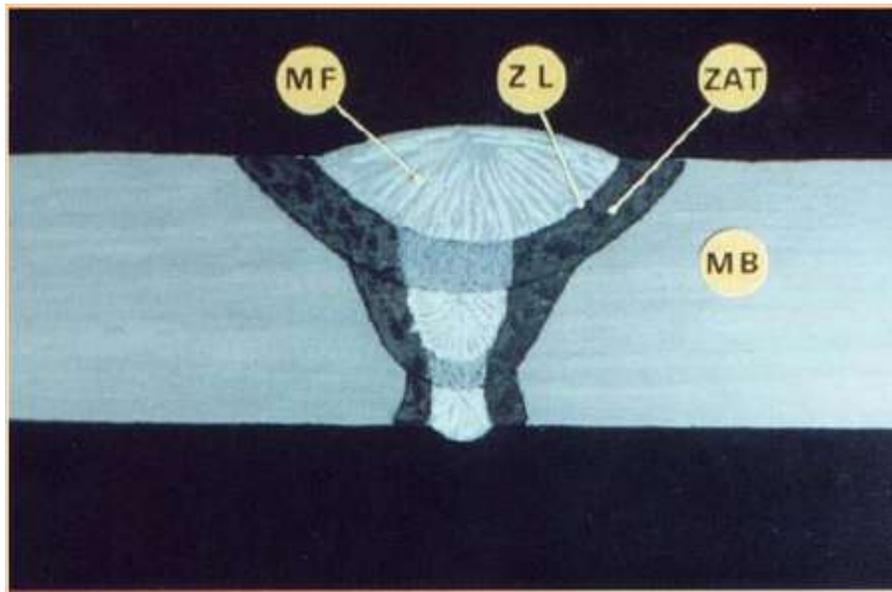
* Soudable en MIG si la qualité du MIG est acceptable ** L'emploi d'une buse diffuseur est conseillé pour limiter l'échauffement de la torche

Soudage TIG du cuivre désoxydulé (soudable) (5)

ELECTRODE : Tungstène thorié à 2 %, Cérium à 2% ou Multistrike
 GAZ DE PROTECTION : Argon pur
 NATURE DU COURANT : Courant continu (pôle négatif à l'électrode)
 POSITION DE SOUDAGE : A plat (en position, réduire l'intensité de 10 à 15 %)

Epaisseur (mm)	Ø électrode (mm)	Ø métal ap. (mm)	Intensité (Ampère)	Dia buse (mm)	Débit gaz (l/min)	Vit. soud (2) (cm/min)	Nombre passes	Joint conseillé (3)
1	1,6	1,6	60 - 110	11	5	35	1	B
1,5	2	1,6 / 2	120 - 130	13	5	35	1	B
2	2	2	120 - 170	13	5	30	1	B
2,5 *	2,4	2	170 - 200	15	5	30	1	B
3 *	3	3	170 - 230	19	6	30	1	B
4 *	3	3	200 - 270	19 **	7	25	1	B
5 *	3	3	220 - 300	19 **	7	25	1	C
6 *	4	3	280 - 350	19 **	8	20	2	C
8 *	4	3 / 4	280 - 350	19 **	10	15	2 / 3	C
12 *	5	4 / 5	400 - 500	19 **	12	10	3	C

Les différentes zones d'une soudure



MB : métal de base

MF : métal fondu

ZL : zone de liaison

ZAT : zone affectée thermiquement

Quelques définitions

Soudobrasage : est un procédé de brasage fort dans lequel le joint soudobrasé est obtenu de proche en proche, par une technique opératoire analogue à celle du soudage par fusion, mais sans aucune action capillaire.

Le brasage : le brasage des métaux est un procédé d'assemblage permanent qui établit une liaison métallique entre les pièces réunies.

Chanfreinage : un fait de chanfreiner, de casser un angle fixe.

Bridage : est l'opération consistant à maintenir une pièce sur un plateau en utilisant le frottement.

Défauts débouchants : tout défaut visible à la surface ; ce sont les défauts externes.