REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie des matériaux

Contribution à l'étude structurale, analyse chimique et comportement mécanique des pipelines de Grands Travaux Pétroliers de HASSI R'MEL

Présenté par :

SIGA Chahrazed

ZERROUATI Wafa

Proposé et Dirigé par :

Dr. BELHADJ Abd-Elmouneïm

Dr.BENREKIA Ahmed Rédha

Promotion –Juin 2019

Dédicace

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre ta bienveillance me guide et ta présence à mes côté a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Je vous remercier pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mon très cher grand père

A mon amour qui est toujours vivant dans mon cœur, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études aucun mot si sacré soit-il, ne suffira à apprécier à sa juste valeur, les sacrifices que vous ne m'avez cessés de déployer. J'espère que du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse dieu le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

A mes chers frères et sœurs

Je vous dédie ce travail en témoignage des liens solides et intimes qui nous unissent et pour leurs soutiens, encouragements en vous souhaitant un avenir plein de succès et de bonheur.

A tout ma famille et mes chères amies en particulier « Wafa, Iméne, Nour, Amel ».

SIGA Chahrazed

La liste des figures

Figure 1 : Transformation allotropique du Fer…….9

Figure 2: Évolution des domaines d'existence des variétés allotropiques du fer par addition……10

Figure 3 : diagramme d'équilibre Fer-Carbone……11

Figure 4 : Structure ferritique……. 13

Figure 5 : Structure austénitique (avec précipités de carbures)…….. 13

Figure 6 : Structure perlitique……14

Figure 7: exprime le Principe de dureté Brinell……..16

Figure 8: principe de la dureté Rockwell…….17

Figure 9: exprime le principe de dureté Vickers…….18

Figure 10: schéma représente éprouvettes de traction…….. 20

Figure 11: Représentation d'une courbe de traction (matériau ductile)……..21

Figure 12: Détermination de la limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % (Re0,2) d'un matériau ductile……22

Figure 13 : Courbe de traction d'un acier doux (Fe-0,15 % C) présentant une discontinuité à la limite d'élasticité……..23

Figure 14 : forme des éprouvettes de flexion…….25

Figure 15 : essai de résilience…….. 25

Figure 16: schéma présentant le principe du procédé SMAW……..26

Figure 17: schéma représentant le principe du procédé GTAW……27

Figure 18: schéma des différentes zones d'un assemblage soudé……..30

Figure 19: la courbe de cycle thermique du soudage……31

Figure 20: Comparaison des électrodes et des fils-électrodes pour les procédés SMAW, GMAW, FCAW et MCAW……33

Figure 21: cycle d'un traitement thermique……38

Figure 22: courbe de chauffage des pièces……39

Figure 23: Schéma montrant les fissurations à froids……40

Figure 24: Prise de vue d'une fissure de cratère……41

Figure 25: schémas des différentes soufflures avec leurs interprétations……42

Figure 26 : Une photo représente machine d'oxycoupeuse……..45

Figure 27 : Prise de vue d'une tronçonneuse. ……45

Figure 28 : Une photo montre l'appareil de magnétoscope…… ..46

Figure 29: Photo montre une source radioactivité……47

Figure 30: Image représentative de négatoscope……..47

Figure 31 : Image de densitomètre……. 48

Figure 32: Photo montre l'appareil **PMI**……48

Figure 33 : Représentation de microscope optique…….49

Figure 34: Une photo représente l'appareil de dureté……50

Figure 35 : Une photo représente l'appareil de traction……..50

Figure 36 : Une photo représente l'appareil de résilience……..51

Figure 37 : Un spectromètre d'analyse chimique……52

Figure 38 : Un duromètre de Brinell……52

Figure 39 : Un duromètre Vickers……..53

Figure 40 : Photos de pièces obtenues par deux types de découpages……54

Figure 41 : Schéma présentant la forme des joints……54

Figure 42: Photos représentent le procédé de soudage d'un acier au carbone…….57

Figure 43 : Photos expriment le procédé de soudage de pipe inoxydable……...58

Figure 44 : Photos représentent les étapes de ressuage……60

Figure 45: Schéma montre l'interaction entre le flux et la discontinuité…….60

Figure 46: Contrôle par circuit magnétique fermé……...61

Figure 47: Contrôle magnétoscopie par circuit fermé…….62

Figure 48: Représentation simplifiée de la technique radiographique……63

Figure 49: Photos exprime le procédé de contrôle radiographique……63

Figure 50 : Laboratoire de développement des films de la radiographie……64

Figure 51: Description des nuances correspondent à l'ombrage produit par les différentes structures…….. 65

Figure 52: Photo d'un densitomètre LCD51……66

Figure 53: Photos montre le procédé de traitement thermique…….. .67

Figure 54: Photo d'un spectromètre de type PV8050…… ….67

Figure 55: Photo montre l'étape de dégrossissement à la meule au niveau de POVAL……. 68

Figure 56: Des photos expriment l'opération de polissage……..69

Figure 57: Photo représentant l'attaque chimique des deux échantillons (acier au carbone et acier inoxydable). ……70

Figure 58: L'attaque chimique d'un acier au carbone…….71

Figure 59: Photo montre l'opération de l'attaque d'un acier inoxydable…….71

Figure 60: Représentation d'un microscope optique (Neophot 2). ……..72

Figure 61: Schéma d'une éprouvette normalisée pour l'essai de traction……73

Figure 62: Machine de traction universelle……..74

Figure 63: Schéma représentative d'une éprouvette entaillée pour l'essai de flexion au choc suivant AFNOR…….75

Figure 64: Machine d'essai de résilience VEB……75

Figure 65: Un duromètre Brinell……76

Figure 66: Durométre Vickers marque Rathenow……..77

Figure 67: Résultats de ressuage pour les joints de soudures ……78

Figure 68: Photo montre les résultats de contrôle par magnétoscopie……..79

Figure 69: Les films développés de pipe inoxydable…….79

Figure 70: Les films développés de pipe au carbone…….79

Figure 71 : photo d'une courbe obtenue après un traitement thermique……81

Figure 72: Photographie de l'appareil de PMI de type X-MET 8000……83

Figure 73: Photo représentatif de la macrographie d'acier A106……..84

Figure 74: Une maquette de macrographie d'un acier A358……85

Figure 75: Microstructure de métal de base A106 avec un grossissement X10……85

Figure 76: Microstructure de joint de soudure A106 avec un grossissement X10……86

Figure 77: Microstructures de métal de base(MB) A358 avec un grossissement X10……..87

Figure 78: Microstructure de joint de soudure A358 avec un grossissement X10…….88

Figure 79: Courbe de contrainte-déformation pour l'acier A358…… 89

Figure 80: Courbe de force-allongement pour l'acier A358……..90

Figure 81: Courbe de contrainte-déformation pour l'acier A106……..91

Figure 82: Courbe de force-allongement pour l'acier A106……..92

Figure 83: Photo montre les résultats de flexion des aciers A358 et A106……93

La liste des tableaux

Tableau1 : les catégories des aciers au carbone……4

Tableau 2 : Principaux facteurs influant sur le choix d'un métal d'apport.....……33

Tableau 3 : Le Rôle du flux et du laitier.....……34

Tableau 4 : Éléments entrant dans la composition des flux……35

Tableau 5 : Propriétésde différents gaz de protection..……36

Tableau 6 : Classifications des défauts de soudure….……39

Tableau 7: Différents types d'inclusions solides observés par la technique de la radiographie……..
43

Tableau 8: Schéma des différents types de manque observés par la technique de la radiographie……..44

Tableau 9 : Les différents types des défauts de forme.……45

Tableau 10 : La composition chimique d'un acier au carbone de type A106 grade B suivant le code ASME……...55

Tableau 11 : La composition chimique d'un acier inoxydable de type A358 grade 316L…….55

Tableau 12 : La composition chimique de métal d'apport pour l'acier au carbone.....……..55

Tableau 13 : La composition chimique de métal d'apport pour l'acier inoxydable..……..56

Tableau 14: Technique d'exécution du joint et caractéristiques électriques pour l'acier au carbone.…… 56

Tableau 15: Technique d'exécution du joint et caractéristiques électriques pour l'acier inoxydable…….58

Tableau16 : Les compositions chimiques des deux échantillons..……..82

Tableau17 : Les résultats obtenus de l'appareil PMI pour l'acier A 358...…….82

Tableau 18 : Les valeurs de tractions pour l'acier A358….……89

Tableau 19 : Lesrésultats de tractions pour l'acier A358..……..90

La liste des tableaux

Tableau 20 : Les valeurs de traction pour l'acier A106..……91

Tableau 21 : Les résultats de traction pour l'acier A106…….92

Tableau 22 : Les résultats de flexions pour l'acier A358..…….93

Tableau 23 : Les résultats de flexion pour l'acier A106....……..94

Tableau 24 : Les valeurs de dureté Brinell pour l'acier A358…….94

Tableau 25 : Les valeurs de dureté Brinell pour l'acier A106....…….94

Tableau 26 : Les valeurs de dureté Vickers pour l'acier A358.....……....95

Tableau 27: Les valeurs de dureté Vickers pour l'acier A106....……95

Symbole	*Désignation*	*Unité*
Nb	Niobium	-
V	Vanadium	-
Ti	Titan	-
B	Bore	-
Si	Silicium	-
Cr	Chrome	-
Ni	Nickel	-
Mn	Manganèse	-
C	Carbone	-
CO2	Dioxyde de carbone.	-
H	Hydrogène	-
N	Azote	-
O2	Oxygène	-
Zr	Zirconium	-
$\boldsymbol{\sigma_n}$	Contrainte nominale	Mpa
$\boldsymbol{\sigma}$	Contrainte	Mpa
$\boldsymbol{\varepsilon_n}$	Déformation nominale	-
$\boldsymbol{\varepsilon}$	Déformation	-
Re	Résistance élastique	Mpa
Rm	Résistance à la rupture	Mpa
L0	Largeur initiale	mm
Lf	Largeur finale	mm
ΔL	Allongement	mm
S0	Surface initiale	mm^2
Sf	Surface finale	mm^2
E	Module de Young	Gpa

Symbole	*Désignation*	*Unité*
Z	Coefficient de striction	-
A	Allongement	-
I	Intensité	A
U	Tension électrique	V
E	Energie de soudage	J/cm
G	Accélération terrestre	N
Vs	Vitesse	cm /min
T	Température	°C / °F
t	Temps d'exposition	H
Q	Facteur d'exposition	Ci.h
D	Distances source –film	m
K	Coefficient de rapidité des films	-
N	Facteur correctif de densité	-
A	Activité de la source	Ci
D	Densité	-
I0	Intensité de la radiation incidente sur le film	-
I_t	Intensité de la radiation transmise à travers le film	-

La liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation.

ASME: American Society of Mechanical engineers.

API: American Petroleum Institue.

CA : Courant Alternatif.

CC : Courant constant.

CC : Structure Cubique Centré.

CFC : Structure Cubique à Faces Centrées.

CND : Contrôle Non Destructif.

FCAW : Flux-Cored Arc Welding (Soudage à l'Arc avec Fil Fourré (sans gaz).

GMAW : Gas Metal Arc Welding **(**Soudage à l'Arc sous Gaz-Métal).

GTAW : Gas Tungsten Arc Welding (Soudage à l'Arc sous Gaz Tungstène).

HB: Dureté Brinell.

HRC: Dureté Rockwell.

HV : Dureté Vickers.

MCAW: Metal Cored Arc Welding (Soudage à l'Arc avec Fil Tubelaire).

SMAW: Shielded metal Arc welding **(**Soudage à l'Arc avec éléctrode enroubée).

ZAC : Zone Affecté par Chaleur.

ZAT : Zone Affecté Thermiquement.

Sommaire

Introduction générale ……..1

Chapitre I : partie bibliographique

I.1 Introduction…….....3

I.2 Définition de l'acier …… .....……3

I.3 Classification des aciers…….....3

I.3.1 Les aciers au carbone …….....4

I.3.2 Les aciers alliés ou non alliés …….....5

I.3.2.1 Les aciers non alliés …….....6

I.3.2.2 Les aciers alliés …….....6

I.4.1 influence des éléments d'addition ……6

I.4.2 les éléments alphagène et gammagène…… 8

I.5 diagramme Fer-Carbone…….10

I.5.1 Les différentes phases du système Fer-Carbone…….11

I.5.1.1 La ferrite …….....11

I.5.1.2 L'austénite ……..11

I.5.1.3 La cémentite …….....12

I.5.1.4 La perlite ……12

I.5.1.5 Le point eutectoïde …….12

I.6 Les essais mécaniques …….14

I.6.1 Intérêt des essais ……...14

I.6.2 Les essais par indentation…….15

I.6.2.1 Essais de dureté Brinell……..15

I.6.2.2 Essais de Rockwell …….16

I.6.2.3 Essais de dureté Vickers……..……17

I.6.3 L'essai de traction……. …….19

1 Intérêt et déroulement de l'essai……...19

2 Propriétés de traction ……21

I.6.4 Essai de résilience ……..24

I.7 Les Procédés du soudage …… 26

I.7.1 Le procédé de soudage SMAW.....….....26

1 principe de procédé……..26

2 Soudeuse et type de courant utilisés……27

I.7.2 Le procédé GTAW ……27

1. principe de procédé……27

2. Soudeuse et type de courant utilisés …….....27

I.8 La soudabilité…….28

I.9 Aspect thermo-métallurgique du soudage …….29

I.9.1 Parties constitutives d'un joint soudé ……..29

1 Zone fondue …….....29

2 Zone de liaison …….....29

3 La zone affectée thermiquement ……..29

4 Le métal de base ……29

I.9.2 Aspect thermique de soudage …….....30

1) Cycle thermique du soudage ……..……30

2) Paramètre thermique du soudage …….. ……..31

I.9.3 Aspect thermomécanique ……31

I.10 Les produits de soudage …….....32

I.10.1 Les métaux d'apport …… 32

1) Principaux facteurs influant sur le choix d'un métal d'apport ……...33

I.10.2 Les Flux et les gaz protecteurs ……..33

1) Rôle et caractéristiques des flux…….33

2) Rôle et caractéristiques des gaz protecteurs……..34

I.11 Traitement thermique des soudures …….37

I.11.1 Cycle d'un traitement thermique ……..37

I.11.2 Chauffage des pièces ……..38

I.11.3 Refroidissement des pièces ……39

I.12 Les principaux défauts de la soudure …….39

I.12.1 Les fissurations……39

1) Les fissurations à froid …….39

2) La fissuration à chaud ……..40

I.12.2 Les soufflures ou cavités ……...……..41

I.12.3 Les inclusions solides ……..42

I.12.4 Manque de fusion ……43

I.12.5 Défauts de forme……..44

Chapitre II : matériels utilisés

II.1 Oxycoupeuse ……45

II.2 La tronçonneuse …….45

II.3 Magnétoscope ……..……46

II.4 source radioactivité ……..……..…46

II.5 Négatoscope …….47

II.6 Densitomètre ……...48

II.7 PMI (positif matériel identification) ……..48

II.8 Microscope optique ……..……...49

II.9 Appareil dureté (HB) …….……49

II.10 Appareil traction ……..……..50

II.11 Appareil de résilience ……...……..51

II.12 le spectromètre ……...…….51

II.13 un duromètre Brinell ……..……....52

II.14 un duromètre Vickers……..……53

Chapitre III : techniques expérimentales

III.1 Préparation des échantillons …….…….……54

III.1.1 Découpage des pièces ……..……..54

III.1.2 Le soudage des pièces ……....54

1) **Formes des joints ……..….54**
2) **Identification des métaux de base et métaux d'apport …….…….55**
   - **A. Les métaux de base …….…….……55**
   - **B. Les métaux d'apport (les électrodes) …….…….55**

III.1.3 Les procédés de soudage des pièces ……..…56

III.2 Les contrôles non destructifs …….……59

III.2.1 Contrôle par ressuage ……....……59

1) **Le principe de contrôle …….…….59**
2) **L'application des produits sur les échantillons…….59**

III.2.2 Contrôle par magnétoscopie…….……..60

1) **Principe de contrôle……..……..60**
2) **Méthodes d'aimantation ……...61**
   - **A. Par circuit magnétique fermé …….61**
3) **Présentation de contrôle…….61**

III.2.3 Contrôle par radiographie ……...62

1) **Principe du contrôle radiographique ou gammagraphie……..62**
2) **Présentation de procédé ……..63**
3) **Calcule du temps d'exposition ……...64**
4) **Le développement des films ……...64**
5) **Calcul de la densité des films ……65**

III.3 Traitement thermique ……..……66

III.3.1 Traitement thermique d'acier au carbone ……...66

III.4 L'analyse chimique ……....67

III.4.1 Principe du procédé ……67

III.5 Etude métallographique……..68

III.5.1 Examen macrographique……68

1) **Préparation des échantillons……68**
   - A. **Un dégrossissement à la meule ……68**
   - B. **Un Polissage……..……..69**
2) **Une attaque chimique ……..69**
   - A. **Préparation des solutions……69**

III.5.2 Examen micrographique ……70

1) **Préparations des échantillons ……..……..70**
2) **L'attaque chimique ……...70**
   - A. **Préparation de réactif ……..……70**

III.5.3 Observation par microscope optique ……71

III.6 Les essais mécaniques ……....72

III.6.1 Essais de traction ……....72

1) **La forme des éprouvettes ……....72**
2) **Exécution de l'essai ……73**

III.6.2 L'essai de résilience ……74

1) La forme des éprouvettes ……..74
2) Exécution de l'essai ……...75

III.6.3 Essai de dureté ……...76

1) Les éprouvettes ……..76
2) Essais de Brinell ……....76
A. Execution de l'essai ……..76
3) Essai de Vickers ……..77
A. Exécution de l'essai …….....77

Chapitre V : résultats et discussions

V.1 Les contrôles non destructifs ……..……...…78

V.1.1 Contrôle par ressuage ……....78

V.1.2 Contrôle par magnétoscopie ……..……78

V.1.3 Le contrôle par la technique radiographique……79

V.2 Traitement thermique ……..…….80

V.3 L'analyse chimique ……..……..81

V.4 Etude métallographique ……83

V.4.1 Examen macrographique …….....84

V.4.2 La micrographie ……85

1) L'acier A106 ……85

A. Métal de base ……85

B. Joint de soudure ……86

2) L'acier A358 ……86

A. Métal de base ……..86

B. Joint de soudure……..87

V.5 Les essais mécaniques ……...88

V.5.1 Essai de traction ……..88

V.5.2 Essai de flexion ……..….93

V.5.3 Essai de dureté ……..….94

1) Dureté Brinell ……..….94

2) Dureté Vickers ……..….95

الملخص :

يتطلب نقل الغاز في ظل الظروف الاقتصادية استخدام ضغوط نقل عالية ، وبالتالي استخدام الفولاذ ذي القوة الإنتاجية العالية. فتحسين موثوقية أعمال نقل الغاز الطبيعي هو الهدف الأساسي لمصممي خطوط الأنابيب. اذ نهتم بسلامة البضائع ,الأفراد, أداء خطوط الأنابيب واقتصاديات نقل خطوط الأنابيب من الهيدروكربونات. لا يمكن تحقيق هذا الهدف دون تحليل الخصائص وخصائص الأنابيب الفولاذية وتأثيرها على موثوقية خطوط الأنابيب.

في هذا السياق ، يتكون هذا العمل من دراسة مقارنة بين سلوك درجة الصلب A358 درجة L316 وسلوك درجة الصلب A106 درجة B. أولاً ، لقد أجرينا فحوصات غير مدمرة مثل تقنية التوغل والأشعة السينية بعد اللحام. ثم حددنا الخصائص الميكانيكية والمعدنية لهذه اللحامات بطرق مختلفة.

كلمات البحث: خطوط الأنابيب ، دراسة المعادن ، التحليل الهيكلي ، التآكل ، الصلب عالي القوة ، تشققات ، إجهاد ، تمزق ، تعب.

Résumé :

Le transport du gaz dans des conditions économiques nécessite l'utilisation de pressions de transport élevées, et donc l'utilisation d'aciers à haute limite d'élasticité .Améliore la fiabilité des ouvrages de transport de gaz naturel est un objectif primordial des concepteurs des pipelines. Cette dernière intéresse la sûreté des biens et des personnes, la disponibilité et la performance des pipelines ainsi que le gain économique du transport des hydrocarbures par canalisation. Un tel objectif ne peut être atteint sans l'analyse de toutes les propriétés et les caractéristiques des aciers des tubes et leur influence sur la fiabilité des pipelines.

Dans ce contexte, ce travail consiste à une étude comparative entre le comportement d'un acier de type A358 grade 316L et le comportement d'un acier de type A106 grade B qui sont les alliages constitutifs des pipelines. En premier lieu, nous avons réalisé des examens de contrôles non destructifs sur ces alliages, tels que le ressuage, le magnétoscope et la technique de la radiographie après le soudage. Puis nous avons identifié les caractéristiques mécaniques et métallurgiques de ces soudures par différentes méthodes dans un second lieu.

Mots clés : Pipelines, Métallographie, analyse structurale, Corrosion, Acier à haute limite d'élasticité, Fissures, contrainte, Rupture, Fatigue.

Abstract

The transport of gas under economic conditions requires the use of high transport pressures, and therefore the use of steels with high yield strength. Improving the reliability of natural gas transmission works is a primary goal of pipeline designers. The latter is concerned with the safety of goods and people, the availability and performance of pipelines and the economic

gain from pipeline transportation of hydrocarbons. Such an objective can not be achieved without the analysis of all the properties and characteristics of pipe steels and their influence on the reliability of pipelines.
In this context, this work consists of a comparative study between the behavior of a steel grade A358 grad 316L and the behavior of a steel type A106 grad B which are the constituent alloys of the pipelines. In the first place, we carried out non-destructive testing examinations on these alloys, such as penetrant, VCR and X-ray technique after welding. Then we identified the mechanical and metallurgical characteristics of these welds by different methods in a second place.

Keywords: Pipelines, Metallography, structural analysis, Corrosion, High yield strength steel, Cracks, stress, Rupture, Fatigue.

Introduction

Le transport par pipelines s'impose depuis les années trente reconnu comme le moyen le plus sûr et économique. Il se développe davantage suite à l'accroissement continu des besoins mondial en énergie et l'apparition de nouveaux consommateurs des hydrocarbures sur le marché.

Un gazoduc est une structure dont l'intégrité doit être garantie. En particulier, pour évité tout amorçage de rupture, le dimensionnement de la structure est effectue pour travailler dans le domaine élastique avec un coefficient de sécurité adéquat, ce qui autorise une taille critique de défaut. De plus, la température de transition ductile fragile de l'acier est choisie de façon à empêcher une rupture fragile du tube. Egalement, la sécurité des installations demande une bonne ténacité pour éviter la ruine de la structure par propagation rapide des fissures.

Ce dernier exige une maitrise parfaite du processus de fabrication et d'assemblage, par conséquent, le produit doit satisfaire les conditions techniques suivantes:

- Absence de défauts métallurgique et de défauts de procédé de soudage.
- Propriétés mécaniques (résistance à la rupture, ductilité et autres).
- Tolérance dimensionnelles (épaisseur, largeur et longueur).

Parmi les procédés d'assemblage le soudage qui 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. Cela se fait, par chauffage, par intervention de pression ou bien par l'un et l'autre. Ce procédé est réalisé soit avec ou sans métal d'apport dont la température de fusion est de même ordre de grandeur que celle du matériau de base.

La qualité d'assemblage par soudure prend ses racines à divers stades de la construction ou d'utilisation. Pour le cas des tubes, la soudure doit être faite de manière efficace. Afin d'éviter la corrosion dans la zone de soudure.

Pour mieux comprendre le comportement de ces aciers, nous avons procédé à une étude théorique et expérimentale sur l'évolution et la résistance des pipelines en acier inoxydable austénitique de type A 358 grade 316L dans un premier temps. L'acier au carbone de type A106 grade B et leur tenue après le procédé de soudage fera l'objet de cette étude dans un second temps. Finalement, une étude comparative est donnée pour déterminer l'aptitude des propriétés trouvées des deux matériaux qui ont servis à la présente étude.

Introduction

Le présent mémoire comporte quatre chapitres engendrés par une introduction générale et une conclusion générale. Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique ayant trait à la généralité des aciers des tubes et le soudage. Dans le second contient les différents matériels utilisés. Le troisième chapitre est consacré pour les techniques expérimentales. Enfin une conclusion générale.

I.1 Introduction :

Les aciers sont d'une importance capitale, puisqu'on les retrouve quasiment dans tous les domaines. Ils sont à l'origine de toutes les révolutions scientifiques et industrielles. Ce progrès est essentiellement dû à la présence d'une vaste gamme de transformations qui permettent de faire varier considérablement les propriétés mécaniques des aciers, en recourant à l'addition d'éléments d'alliages et aux différents mécaniques, thermiques et chimiques [1].

I.2 Définition de l'acier :

L'acier est un alliage de fer contenant moins de 2 % de carbone. Il peut être répertorié selon cette teneur en carbone qui fixe son niveau de dureté maximale à l'état trempé. Un acier de haute teneur en carbone sera employé pour sa grande dureté alors qu'un acier de teneur plus faible est moins dur et plus malléable. Il contient généralement de petites quantités d'autres éléments que le fer et le carbone, incorporés, volontairement ou non. Au cours de son élaboration. On peut également y ajouter des quantités plus importantes d'éléments d'alliage: il est considéré alors comme un acier allié [2].

I.3 Classification des aciers:

Les aciers peuvent être classifiée selon plusieurs systèmes, la composition chimique est la plus largement utilisée internationalement et sera soulignée comme suit :

Plus on a de carbone, plus l'acier est dur. On a donc initialement classé l'acier en catégories[3].

I.3.1 Les aciers au carbone :

Nous pouvons récapituler quelques propriétés des aciers industriels le tableau I.1.

Tableau 1: Les catégories des aciers au carbone [4].

Taux de carbone	Composition	Dureté	Utilisation typique	Propriétés
Bas carbone (ferrite)	0,10 à 0,25 % C	60 000 psi	Produits en feuilles, clous, tuyaux; Pièces forgées, vis, tôles, profilés structuraux.	Ductilité
Moyen carbone (ferrite et perlite)	0,30 à 0,60 % C	40 HRC	engrenage; Rails, matrices de forgeage, lames de ressorts, burins, marteaux, scies à ruban	Compromis en ductilité et résistance à l'usure
Haut carbone (perlite et cémentite)	0,80 à 1,20 % C	170 HB	Acier à outils (ressorts à boudins, poinçons, matrices, mèches, outils de tour, lames, billes de roulement.	Résistance à l'usure

L'augmentation du taux de carbone dans un acier aura pour effet :

- d'augmenter la dureté;
- d'augmenter la résistance en traction;
- d'augmenter la limite d'élasticité;
- de réduire la résistance à l'impact;
- de réduire la ductilité (% d'allongement).

I.3.2 Les aciers alliés ou non alliés :

1) Les aciers non alliés :

En faisant abstraction des impuretés, l'acier peut être considéré comme un alliage binaire fer - carbone (jusqu'à 1,7 % de carbone). Les mélanges hétérogènes fer - carbone sont caractérisés par la présence de grains de ferrite (solution solide ferα - carbone) et de grains de perlite (agrégat perlite + cémentite (Fe3C)). La cémentite est un composé dur et fragile qui se

dispose en fines lamelles alternées sur les grains. A l'examen au microscope optique, ces lamelles de cémentite présentent un aspect nacré à l'origine du nom de cette structure particulière: la perlite. Au-dessus de 0,85 % de carbone (eutectoïde), l'acier n'est plus composé que de perlite. De plus, la cémentite supplémentaire s'accumule aux joints de grains. On doit noter que ces structures correspondent à un état recuit (non trempé) de l'acier. Mais nous rappelons que la trempe des aciers consiste à faire subir au matériau un cycle particulier de variation de la température et surtout un refroidissement qui permet la création d'une nouvelle structure appelée martensite : ceci permet d'augmenter les caractéristiques de dureté, de limite élastique...etc. Les différentes structures des aciers en fonction de la température sont représentées dans le diagramme d'équilibre fer-carbone. Il traduit la composition de phases et la structure des alliages dont la concentration varie du fer pur à la cémentite (6.67%) [5].

2) Les aciers alliés :

Pour améliorer certaines propriétés d'un acier (limite élastique, résilience,...), on lui ajoute de faibles proportions d'éléments comme le chrome, le nickel, le vanadium, le zirconium,...etc. Un acier est faiblement allié si les teneurs en éléments d'addition restent inférieures à un certain seuil. Par contre pour une teneur supérieure à 5 % pour l'un quelconque des éléments d'addition, l'acier est dit fortement allié. Le rôle des éléments d'apport devient prépondérant et les propriétés des aciers fortement alliés sont nettement différentes de celles des aciers non alliés. La trempabilité est généralement supérieure et des structures martensitiques peuvent être obtenues par des trempes à l'huile ou à Pair (aciers autotrempants) [6].

- **les aciers microalliés :**

Les aciers microalliés sont des aciers à haute résistance mécanique caractérisés par de faibles additions de niobium (Nb), de vanadium (V) et/ou de titane (Ti). Ces éléments de microalliage (0.1 % massique) s'associent avec des éléments interstitiels (carbone, et/ou azote) pour former des précipités : nitrures, Carbures et/ou carbonitrures. Cette précipitation conduit à un accroissement des propriétés mécaniques par rapport aux aciers de base au carbone manganèse. Ces niveaux de propriétés mécaniques sont garantis par l'affinage des grains austénitiques et le durcissement structural induit par la précipitation de dispersoïdes. Les effets spécifiques de telles additions peuvent être affectés par l'addition d'autres éléments d'alliage (B, Si, Cr, etc.) d'une part, et par la maîtrise des paramètres de traitements thermiques et et/ou thermomécaniques, d'autre part [7].

- **les aciers fortement alliés :**

On désigne par acier fortement allié un métal dans lequel un des éléments d'addition au moins a une teneur égale ou supérieure à 5 %. Il se distingue par une lettre majuscule Z, indiquant que ce métal est fortement allié, suivie de 100 fois la teneur en carbone suive elle-même du symbole des éléments d'addition et des pourcentages exacts de ceux-ci. Dans les Acier fortement allié La teneur en molybdène n'est pas spécifiée, celui-ci entrant dans l'alliage a moins de 1 % [8].

I.4.1 influence des éléments d'addition :

Les éléments d'addition (éléments d'alliage) sont en général des ''métaux'' surtout dans les aciers mais ce peut être des ''non métaux'' ou des ''gaz''. En général, les éléments d'alliage améliorent les propriétés de ces métaux. Les éléments d'addition dans les aciers sont nombreux (une trentaine) [9, 10].

Ces éléments ont une action spécifique dans les aciers :

- **Manganèse :** On l'utilise surtout pour améliorer les propriétés des aciers d'usage général et la trempabilité des aciers de traitements thermiques, et ce a un faible cout. Le manganèse se retrouve rarement seul comme élément d'alliage, car il entraine plusieurs inconvénients : sensibilité à la surchauffe au cours de l'austénitisation, sensibilité qui provoque une croissance des grains ; augmentation de la fragilité au revenu ; diminution de la ductilité et de la résistance mécanique mesurées selon une direction perpendiculaire au laminage (sens travers).
- **Nickel :** Le nickel, qui ne forme pas de carbures, agit principalement sur les propriétés de la ferrite augmentation de la résistance mécanique et de la ténacité. Les aciers qui contiennent plus de 0.5% de nickel conservent une bonne résilience, même à des températures très basses (aciers à 9 % de nickel utilisés pour les réservoirs cryogéniques). Le nickel freine en outre la croissance des grains austénitiques (aciers de cémentation) et il exerce une action moyenne sur la trempabilité (facteur d'augmentation de la trempabilité de 1,4/1 % Ni).
- **Silicium :** Le Silicium augmente par ailleurs la stabilité du revenu, mais il accroit la fragilité de l'acier. Cet élément améliore la résistance à l'oxydation à chaud et la résistance au fluage; c'est pourquoi on peut le retrouver dans des aciers au chrome. On le retrouve également en présence de manganèse (1,5 a 2 % de Si et 0,6 à 0,9 % de

Mn) dans les aciers mangano-siliceux utilises pour la fabrication des ressorts (limite d'élasticité élevée).

- **Chrome :** Cet élément d'addition alphagène est particulièrement important. II augmente la trempabilité de l'acier. Par la formation de carbures de types M_7C_3 (1400-1500 HV), il améliore la résistance à l'abrasion, diminue le grossissement du grain lors de l'austénisation, retarde l'adoucissement lors du revenu et contribue à la réduction de l'oxydation à haute température, augmente la résistance à la corrosion (sauf en milieu sulfurique). Suite à son rôle alphagène pour des teneurs supérieures à 7 %, il renforce la résistance à la fissuration à chaud lors de solidifications rapides (telles que celles rencontrées dans des opérations de soudage).
- **Molybdène :** Le molybdène améliore la résistance au revenu en favorisant l'apparition d'un durcissement secondaire dû à la formation de carbures, Mo_2C, et en diminuant la sensibilité a la fragilisation au revenu.
- **Le carbone :** Elément fortement gammagène (diagramme de Schaeffler,), il contribue à stabiliser l'austénite lors de déformations à froid. Par contre, il peut provoquer la formation de carbures de chrome $Cr_{23}CO_6$ intergranulaires qui diminuent la résistance à la corrosion intergranulaires.
- **Le niobium :** A un point de fusion beaucoup plus élevé que le titane est présente des propriétés semblables. Il est utilisé dans les métaux d'apport pour soudage à l'arc électrique en lieu et place du titane qui serait volatilisé pendant le transfert dans l'arc électrique.
- **Titane :** Titane est employé essentiellement en raison de leur très grande affinité pour le carbone. Il évite l'altération des structures métallurgiques lors du travail à chaud, en particulier lors des travaux de soudure où il prend la place du chrome pour former un carbure de titane (TiC) évitant de ce fait la perte du caractère d'inoxydabilité dans les zones affectées par la chaleur (ZAC) du fait de la captation du chrome.
- **Cuivre :** Le cuivre, en petites proportions, améliore la résistance de l'acier à l'oxydation par l'aire.
- **Le soufre :** Le soufre il diminue la résistance à la corrosion.
- **Le vanadium :** Il affine le grain primaire donc la structure de coulée; puissant générateur de carbures, d'où accroissement de la résistance à l'usure, de la tenue en coupe et à la chaleur; de ce fait, utilisation privilégiée comme composant additionnel d'alliage dans les aciers rapides, de travail à chaud et résistant au fluage à température élevée. Amélioration substantielle de la résistance au revenu, réduction de la

sensibilité à la surchauffe. V affinant le grain et inhibant la trempe à l'air suite à la formation de carbures, il favorise l'aptitude au soudage des aciers de traitement. Suite à la constitution de carbures, accroissement de la résistance à l'hydrogène sous pression V rétrécit la zone y et décale le point Curie en direction de températures plus élevées.

- **Le zirconium :** Générateur de carbures; utilisation métallurgique en tant qu'élément additionnel de désoxydation. dénitruration et désulturation car laissant peu d'impuretés. Les additions de Zr dans des aciers de décolletage sulfureux et entièrement calmés exercent une influence favorable sur la formation de sulfures et évitent ainsi une cassure au rouge [11].

I.4.2 les éléments alphagène et gammagène :

Le fer métallique existe sous deux variétés allotropiques différentes, c'est-à-dire avec deux formes cristallines : cc et cfc.

- À des basses températures et jusqu'à 912°C, ses atomes sont disposés suivant un réseau cubique centré (CC) : On l'appelle alors Fer α. Le fer α ne dissout pratiquement pas le carbone : 0.02%C au maximum à 723°C, moins de 0.01%C à 300°C. Les solutions solides dans le fer α sont appelées ferrites
- À des températures supérieures à 912 °C et jusqu'à 1394°C le réseau cristallin est du type cubiques à faces centrées (CFC) : on l'appelle Fer γ. Le fer γ dissout facilement le carbone : 0.8%C à 723°C, 2.14%C à1147°C. Les solutions solides dans le fer γ sont appelées austénites.
- Au-dessus de 1394°C et jusqu'au point de fusion à 1538°C, le fer retrouve la structure cubique centrée du Fer α : On l'appelle alors Fer δ. Il dissout un peu mieux le carbone que le Fer α (0.07%C au maximum à 1493°C).
- Jusqu'à 768°C point de Curie, le fer est ferromagnétique, au-delà il devient paramagnétique. Le caractère ferromagnétique se dit d'une substance qui peut prendre une forte aimantation.

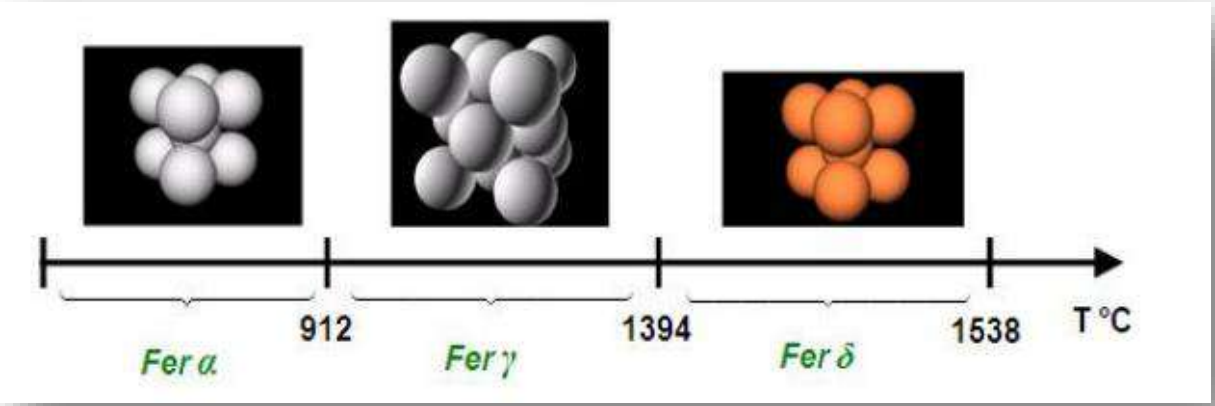


Figure 1 : Transformation allotropique du Fer [12].

Les éléments d'addition ont des solubilités très différentes dans ces deux variétés. Ce fait entraine l'existence de domaine de transformations très différentes en présence d'éléments d'addition. Dans le fer pur. Le passage de fer α au fer γ se produit à une température définie. La présence d'un élément d'addition entraîne l'apparition d'un domaine plus au moins étroit dans lequel les deux vfnfnnfnariétés allotropiques peuvent coexister en équilibre.

Les diagrammes permettent de classer les éléments d'addition en deux types :

- Les éléments gammagène qui abaissent cette température (parce qu'ils augmentent la stabilité du fer γ et de ce fait abaissent les limites du domaine d'existence de l'austénite); ce sont essentiellement le nickel et le manganèse auxquels on peut ajouter le cuivre (peu utilisé comme élément d'alliage).
- Les éléments alphagène qui relèvent cette température (parce qu'ils augmentent la stabilité du fer α et de ce fait élèvent les limites du domaine d'existence de la ferrite); ce sont les plus nombreux des éléments d'alliage tels chrome, silicium, molybdène, vanadium, tungstène, titane [13].

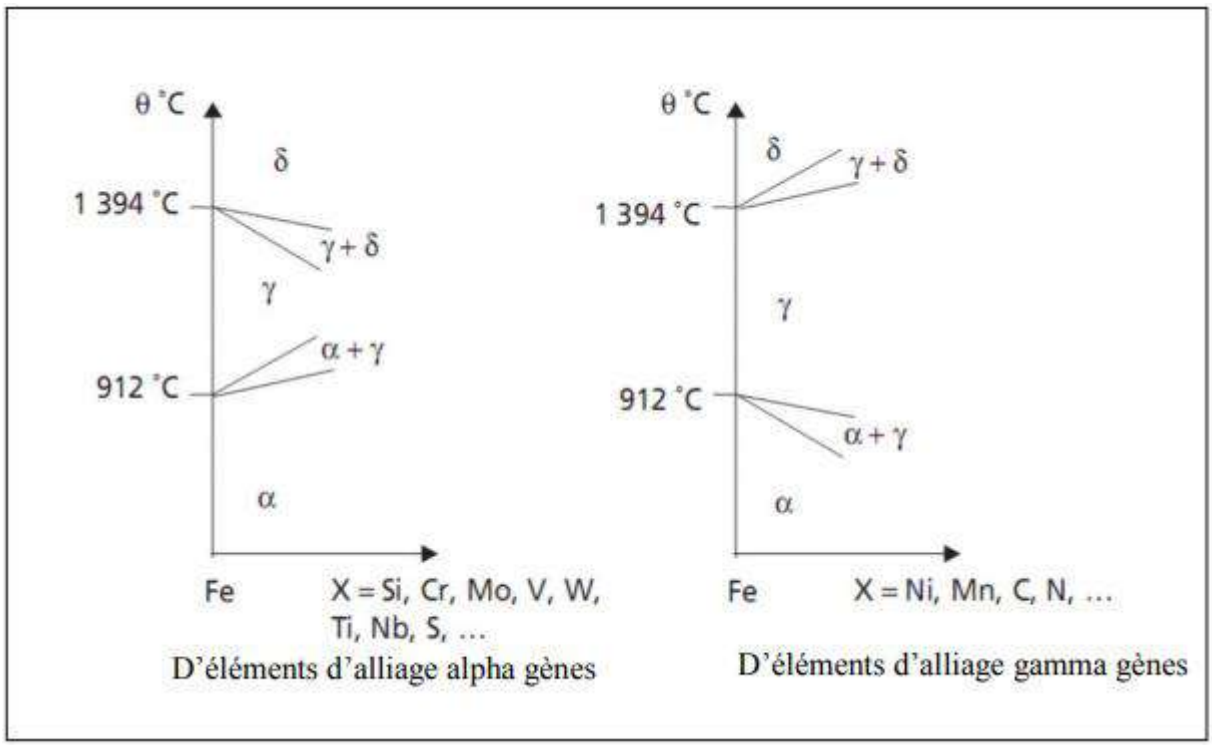


Figure 2: Évolution des domaines d'existence des variétés allotropiques du fer par addition [13].

I.5 diagramme Fer-Carbone:

Le diagramme d'équilibre est fabriqué à partir des courbes de refroidissement des différents alliages de fer et de carbone. Dans la courbe de refroidissement, chaque changement d'état des structures cristallines ou des solubilités apparaissent comme une discontinuité. La (Figure 3) Présente les températures importantes pour l'acier et la fonte. Ce diagramme est très important pour les opérations de production, formage, soudage, et traitement thermique des aciers et des fontes. Avant de l'utiliser, il est nécessaire de comprendre parfaitement chaque région [12].

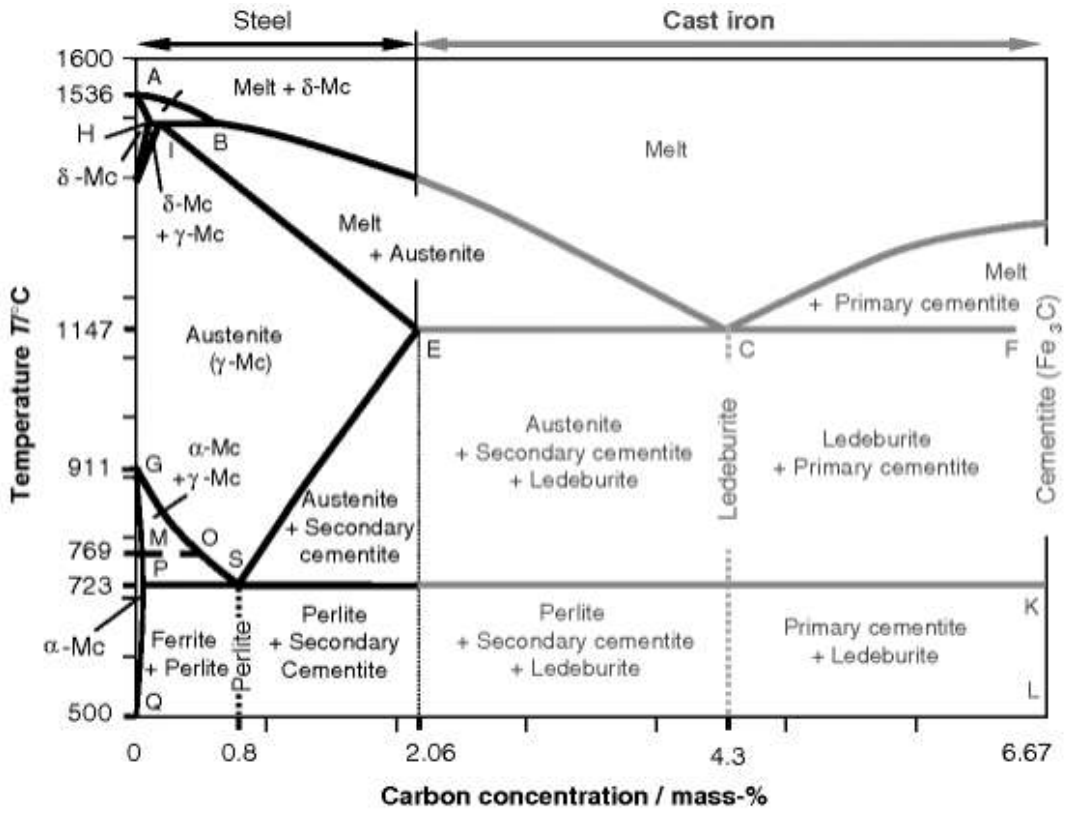


Figure 3 : Diagramme d'équilibre Fer-Carbone [14].

I.5.1 Les différentes phases du système Fer-Carbone :

1) La ferrite :

Région marquée A, contient une très petite quantité de carbone. La ferrite est aussi connue sous le ternie de ferrite alpha ou fer alpha. Cette phase contient un maximum de 0.02% de carbone à 727°C (1341°F). Lorsque la température augmente jusqu'à 912°C (1674°F). La teneur en carbone dans la ferrite tend vers zéro. Aussi, lorsque la ferrite est refroidie à température ambiante, la quantité de carbone diminue. Tous les aciers et fontes contiennent de la ferrite. Cette phase comporte la même quantité de carbone, quelle que soit la teneur en carbone de l'acier ou de la fonte. La ferrite se forme seule dans les régions A et E. elle se forme conjointement à de la cémentite E. F et G. La formation de la ferrite commence dès qu'un acier ou une fonte est refroidie en dessous de 727°C (1341°F). La structure ferritique est cubique centrée et est à la fois ductile et tenace.

2) L'austénite :

Région austénite c'est la dernière zone importante sur le diagramme fer-carbone. Cette phase est stable au-dessus de 727 °C < 1341 °F et en dessous de 1538 °C (2800 °F). L'austénite

peut contenir 1.86% de carbone. Même si elle ne se forme pas à température ambiante, c'est une région importante pour le traitement thermique des aciers. C'est une structure cubique faces centrées, qui est différente de la structure cubique centrée de la ferrite. L'austénite est également appelée fer gamma.

3) La cémentite :

La cémentite est un composé chimiquement défini CCD. Sa décomposition égale à 6,67% en masse de carbone. Quel que soit l'endroit ou la cémentite est présente dans le diagramme fer-carbone, elle contient toujours 6.69% de carbone. Dans la région K. entre les températures 1152°C (2106°F) et 727°C (1341°F), la cémentite est mélangée à de l'austénite. En dessous de 727°C (1341°F) on peut trouver de la cémentite seule (dans les régions F et G), ou combinée à de la ferrite sous forme de perlite (régions E, F, et G). Par conséquent, la cémentite se forme dans tous les aciers et fontes.

4) La perlite :

La perlite est une combinaison de ferrite et de cémentite. Ces deux phases se trouvent en couches alternées dans la microstructure.

Phase comporte toujours 0.77% de carbone, on trouve de perlite et de la ferrite, comme dans la région E. pour un acier ou de la fonte contenant plus de 0.77% de carbone, la perlite se forme avec de la cémentite (régions F et G).

5) Le point eutectoïde :

Le point eutectoïde D, est un point important sur le diagramme fer-carbone. Il se situe à 0.77% de carbone et 727°C (1341°F). Lorsque le refroidissement d'un acier passe par ce point, de la perlite se forme.

Très peu d'aciers ont une composition eutectoïde exacte. La plupart d'entre eux contiennent moins de carbone que le mélange eutectoïde et sont désignés par aciers hypoeutectoïdes (région E). La microstructure de ces aciers est une combinaison de ferrite et de perlite. Ceux Ayant une teneur en carbone supérieure à celle de l'eutectoïde sont appelés aciers hypoeutectoïdes (région F). La microstructure d'un acier hypoeutectoïdes est une combinaison de cémentite et de perlite [15].

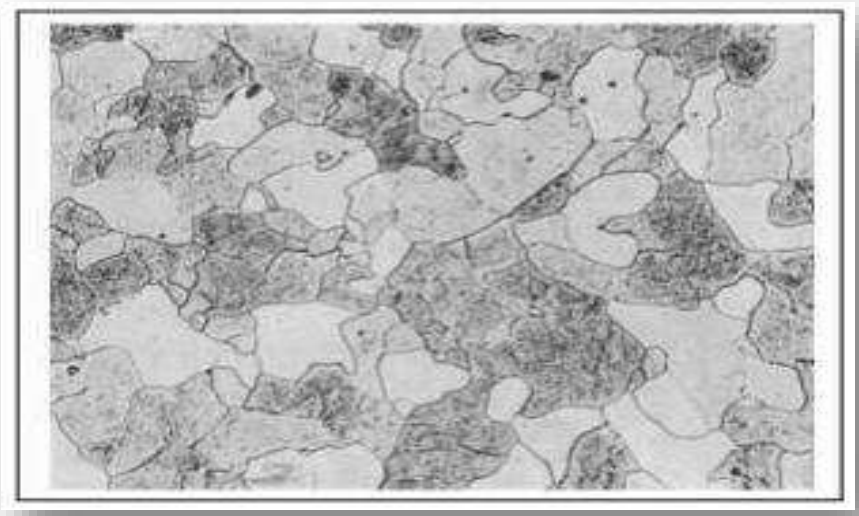


Figure 4 : Structure ferritique

(Fer Armco. Traitement : 950 °C (30 min) - four. Attaque Nital (3 %).

Grossissement : 180) [15].

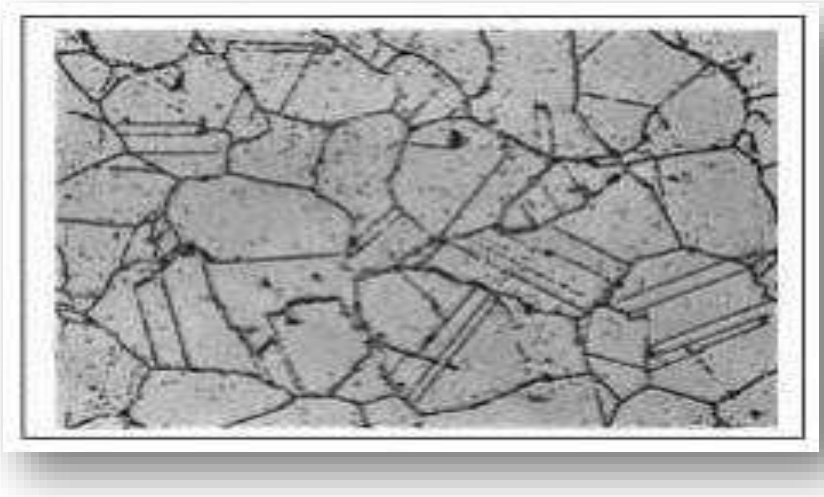


Figure 5 : Structure austénitique (avec précipités de carbures)

Acier à 0.12 %C- 25 %Cr -20% Ni- 1.5%Mn- 1. %Si Traitement: 1125 °C (1 h) -eau - 800 K (30 min) Attaque électrolytique (acide oxalique 10 %) Grossissement : 900 [15].

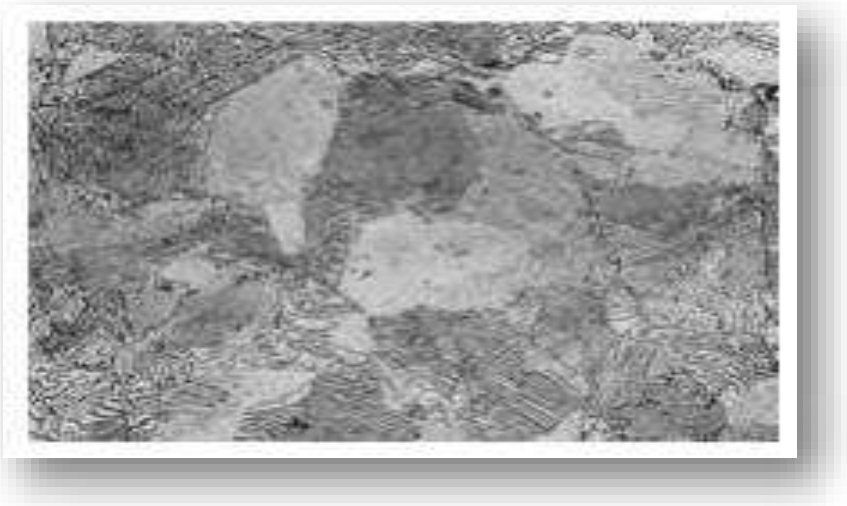


Figure 6 : Structure perlitique

Acier à 0,8 % C - 0,21 % Mn - 0,22 % Si Traitement : 800 °C (30 min) -four -Attaque Nital (3 %) Grossissement : 900 [15].

I.6 Les essais mécaniques :

I.6.1 Intérêt des essais :

Pendant plus longtemps, l'empirisme et l'habitude suffisaient pour mener à bien les opérations de mise en œuvre des matériaux tels que : le laminage, le filage, l'extrusion, le forgeage, l'usinage, etc. Or, l'augmentation de la dimension des demi-produits, les exigences accrues de qualité et de précision, les économies d'énergie et même la fiabilité du produit fini à réaliser concourent à rendre nécessaires les calculs détaillés de ces diverses opérations.

La fabrication des diverses structures mécaniques et le rôle fonctionnel que joue chaque pièces dans son assemblage exige en premier lieu de connaitre le comportement mécanique du matériau vis-à-vis les sollicitations qui sont imposées par le milieu extérieur. En fait connaitre les propriétés mécaniques d'un matériau, c'est un indice technique indispensable pour les ingénieurs qui s'occupent des calculs des structures à chaque étape de mise en œuvre des matériaux. Il est évident que ces calculs ne peuvent être menés à bien sans une connaissance précise des lois de comportement mécanique des matériaux souvent influencées par d'autres phénomènes extérieurs telles que : la vitesse de sollicitation, la température, ou même les interactions entre les propriétés mécaniques et les évolutions de la structure microscopique.

Quoique plusieurs modèles et des lois de comportement mécanique ont vu le jour ces derniers temps [16, 17,18] ; la validation de ces modèles ne peut être signée qu'une fois les résultats

trouvées seront en bonne corrélation avec les valeurs expérimentales. C'est à dire que les essais mécaniques qui fournissent directement la réponse des matériaux face à une sollicitation donnée, sont d'un grand intérêt pour la caractérisation de ceux-ci. Nous définissons dans le cadre de ce travail, trois essais fondamentaux (dureté, résilience, traction) qui intéressent d'une voie directe ou indirecte la résistance à la rupture du matériau et caractérisent sa consolidation.

I.6.2 Les essais par indentation:

Il s'agit des essais les plus couramment pratiqués. Le principe est toujours le même:

Un pénétrateur indéformable de forme géométrique précise, pénètre dans le métal sous l'action d'une charge constante et laisse une empreinte dans le matériau à tester. On mesure les dimensions de l'empreinte et en déduit la dureté.

Dans une première approche, On peut relier de manière assez simple la limite d'élasticité R_e avec la surface de l'empreinte : plus l'objet pénétrant s'enfonce, plus la surface S de pression s'agrandit, donc la force F étant constante, plus la contrainte diminue. Lorsque la contrainte n'est pas suffisante pour déformer plastiquement le solide à tester, l'objet pénétrant s'arrête et la dureté est calculée à partir du rapport de la force appliquée sur la surface indentée (relation1) [19].

$$R_e = \frac{F}{S} \qquad (1)$$

1) Essais de dureté Brinell:

L'essai a été édité dès 1924. Il consiste à faire pénétrer dans le métal à tester, une bille polie de forme sphérique en acier trempé ou en carbure de tungstène (Figure I.7). Le diamètre D utilisé peut valoir 1 mm, 2,5 mm, ,5mm et 10mm. La charge appliquée sur le métal est maintenue pendant 15 à 30 s selon le solide Après l'annulation de la charge, la bille laisse dans le métal une empreinte circulaire permanente dont on mesure le diamètre d.

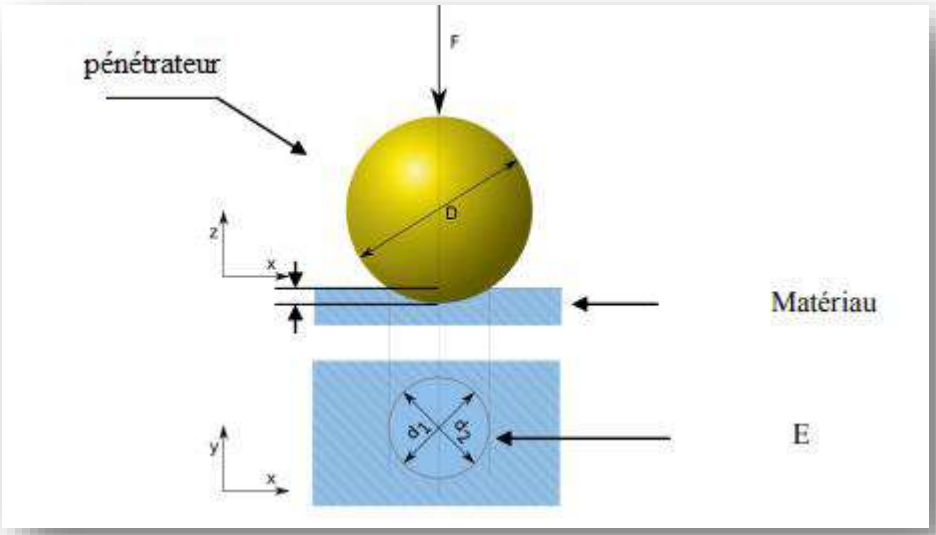


Figure 7: Schéma exprime le Principe de dureté Brinell.

La force F étant exprimée en kgf, le diamètre de l'empreinte d en mm et la dureté Brinell HB est exprimée en kgf /mm2 selon la relation suivante (2).

$$HB = \frac{2.F}{g.\pi.D(D-\sqrt{D^2-d^2})} \qquad (2)$$

Avec : $\frac{d_1+d_2}{2}$

F= 3000 kgf= 29430

g= 9.806m/s^2 : accélération terrestre

D= diamètre de pénétrateur

d= diamètre de l'empreinte

2) Essais de Rockwell :

L'essai consiste à mesurer la profondeur rémanente de l'empreinte indentée. Le pénétrateur de forme géométrique conique pour le critère HRC (figure I.8a), ou bien sphérique pour le critère HRB (figure I.8b) est appuyé sous faible charge, sur la surface à essayer et dans des conditions bien précises. Le pénétrateur conique est en diamant de section circulaire et d'angle au sommet 120° à pointe arrondie sphérique de rayon de 0,2mm. Le pénétrateur sphérique est une bille d'acier trempée polie de diamètre 1,588 mm ou 3,175mm [20].

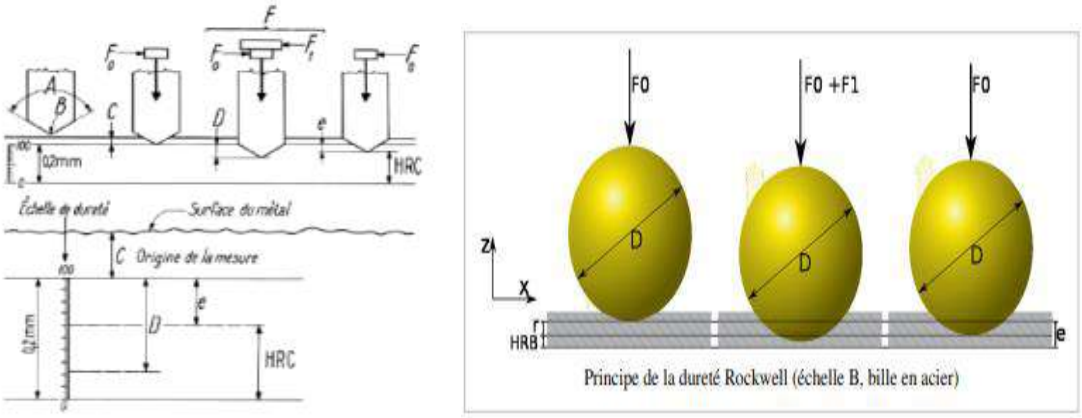


Figure 8: Principe de la dureté Rockwell.

L'essai se déroule en trois phases :

- Application sur le pénétrateur d'une charge initiale F0 = 98 N (soit 10 kgf). Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur initiale I. Cette profondeur étant l'origine qui sera utilisée pour mesure la dureté Rockwell ;
- application d'une force supplémentaire F1. Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur de P
- relâchement de la force F1 et lecture de l'indicateur d'enfoncement.

La valeur de r étant l'enfoncement rémanent obtenu en appliquant puis en relâchant la force F1.

La valeur de dureté est alors donnée par la formule suivante :

- Échelle B, E et F :

$$HRB = 130 - r \quad (3)$$

- Échelle C :

$$HRC = 100 - r \quad (4)$$

3) Essais de dureté Vickers :

Il consiste à imprimer dans le métal testé une empreinte avec un pénétrateur en diamant de forme géométrique pyramidale à base carrée et d'angle au sommet entre deux faces opposées de 136°, sous l'action d'une force connue. On mesure la diagonale de l'empreinte carrée laissée par le pénétrateur (figure I.9).

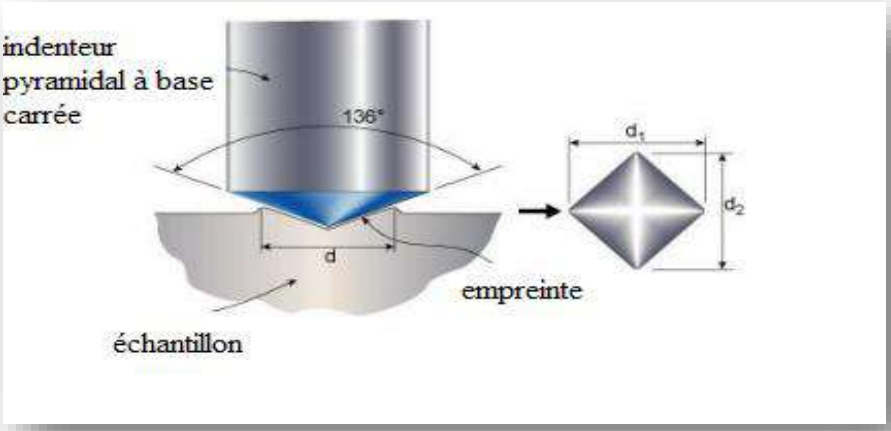


Figure 9: Schéma exprime le principe de dureté Vickers [20].

Généralement la gamme des forces utilisables (5 à 100 kgf) permet d'appliquer cette méthode avec toutes les dimensions d'échantillons. Pour des raisons de fiabilité de l'essai, la force est choisie de telle manière à donner une empreinte ayant la diagonale moyenne inférieure aux deux tiers de l'épaisseur. D'autre sources préconisent que la profondeur de pénétration ne dépasse pas le huitième de l'épaisseur de la pièce à tester [20].

La force F étant exprimée en kgf, le diamètre de l'empreinte d'en mm et la dureté Vickers est exprimée en kgf /mm^2 selon la relation suivante (5).

$$HV = \frac{1.8454.p}{d^2} \qquad (5)$$

Avec : $d = \frac{d_1+d_2}{2}$

L'essai de Vickers celui qui fournit la plus grande diversité de renseignement. Il possède deux avantages principaux : être souvent non destructifs et pouvoir être répété un grand nombre de fois; c'est-à-dire se prêter à une interprétation statistique (dislocation des diagonales d'empreinte suivant une loi gaussienne).

Les différentes essais par pénétrateurs ont permis d'établir des relations empirique [21,22] à partir de corrélation entre la dureté Vickers HV, la dureté Brinell HB et la résistance de la rupture R_m pour déférents aciers (relations 6 et 7):

$$R_m = 77.14 + 2.6396HV + 0.001HV^2 \qquad (6)$$

$$R_m = 164.71 + 2.222HB + 0.002HV^2 \qquad (7)$$

A partir de ces deux relations, il est possible de relier directement les duretés Vickers et Brinell.

I.6.3 L'essai de traction :

1) Intérêt et déroulement de l'essai :

L'essai de traction est l'essai mécanique le plus fréquemment utilisé. Il consiste à soumettre une éprouvette du matériau à étudier à deux efforts F de tension de sens opposés et de même valeurs absolues. La ligne d'action étant confondue avec l'axe de symétrie ou de rotation de l'éprouvette. On mesure instantanément l'allongement Δl, correspondant [23].

Afin de pouvoir utiliser les courbes brutes de traction, on doit les modifier pour que les résultats obtenus ne soient fonction que du matériau étudié et non de la géométrie de l'éprouvette. Pour ce faire, on rapporte la charge F à la section initiale S_0 de l'éprouvette en vue d'obtenir la contrainte nominale σ:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \qquad (8)$$

Et on apporte l'allongement Δl à la longueur initiale entre repères l_0, pour obtenir la déformation nominale ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \qquad (9)$$

L'essai est le plus souvent normalisé. La forme de l'éprouvette est soit cylindrique, soit prismatique (figure I.10).

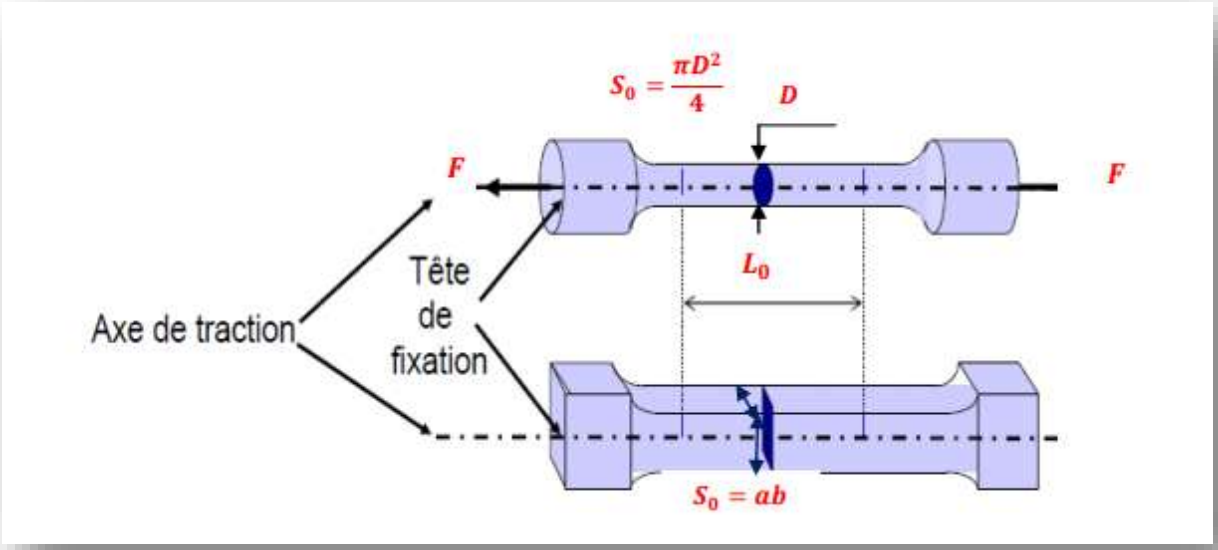


Figure 10: Schéma représente éprouvettes normalisée de traction.

Les extrémités, ou têtes, de l'éprouvette ont une section supérieure à S_0, ce qui permet de les fixer sur la machine d'essai. La géométrie des têtes dépend du mode de fixation utilisé (serrage sur têtes lisses, filetage ou épaulement). Le raccordement entre la partie centrale et les têtes doit toujours être progressif afin de minimiser l'effet de concentration des contraintes. L'éprouvette comprend toujours, entre deux repères séparés par une distance l_0, une section constante S_0. Comme la charge de traction est appliquée selon l'axe de l'éprouvette, on comprend que dans la zone centrale, entre les repères, la contrainte soit uniforme tant que la section demeure constante. L'éprouvette cylindrique dans la figure…. donne l'état des contraintes dans la partie de l'éprouvette située entre les repères. Sur les plans perpendiculaires à l'axe de traction, la contrainte nominale de tension, σ est donnée par la relation 10:

$$\sigma = \frac{dF}{dS} \qquad (10)$$

Et les cissions sont nulles. Par contre, sur un plan dont la normale forme un angle ($\pi/2$- α) avec l'axe de traction, la force dF se décompose en une force dN normale au plan de coupe et en une force dT parallèle à celui-ci (figure10 éprouvette prismatique).

$$dT = dF \cos\alpha \qquad (11)$$

2) Propriétés de traction :

D'une façon générale, on peut estimer les principales propriétés mécaniques à partir d'une courbe conventionnelle de traction σ = f (ε_n) d'un matériau à comportement ductile en traction. (Figure I.11) [23, 24].

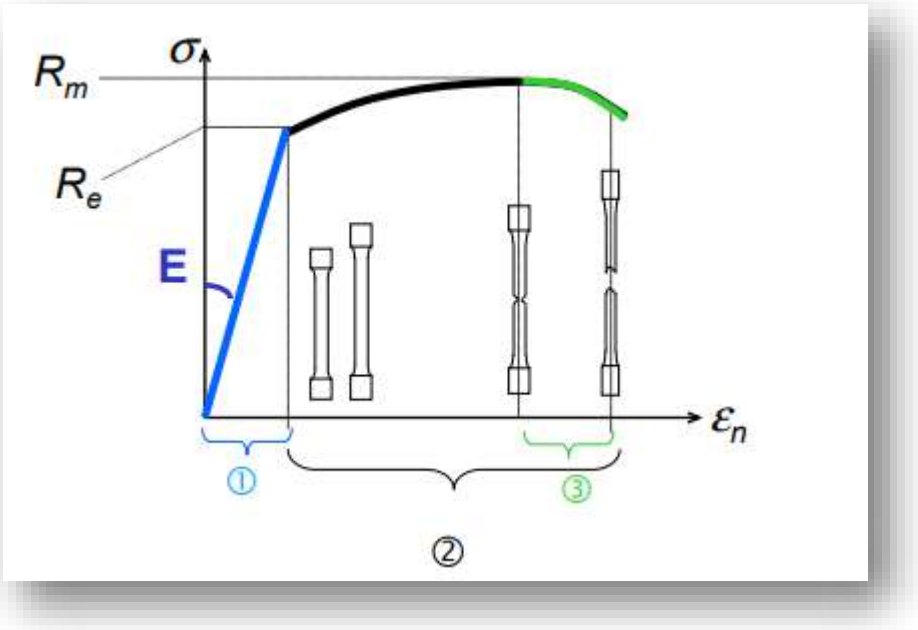


Figure 11: Représentation d'une courbe de traction (matériau ductile).

Domaine élastique (déformation réversible)

Domaine plastique (déformation irréversible)

Striction puis rupture (déformation irrémédiable)

Contrainte nominale : $\sigma_n = \frac{F}{S_0}$ (12)

Déformation nominale : $\varepsilon_n = \frac{\Delta l}{l_0}$ (13)

- **Domaine élastique :**

Pendant la première partie de l'essai, l'éprouvette a un comportement élastique linéaire et obéit la loi de Hooke. Théoriquement la pente de la droite est égale au module d'Young E; en pratique, le module d'élasticité est très rarement mesure de cette façon, car, dans le domaine élastique, les déformations sont très faibles, et la précision des mesures laisse alors à désirer. La limite de ce domaine est marquée par une propriété importante. C'est la limite élastique R_e.

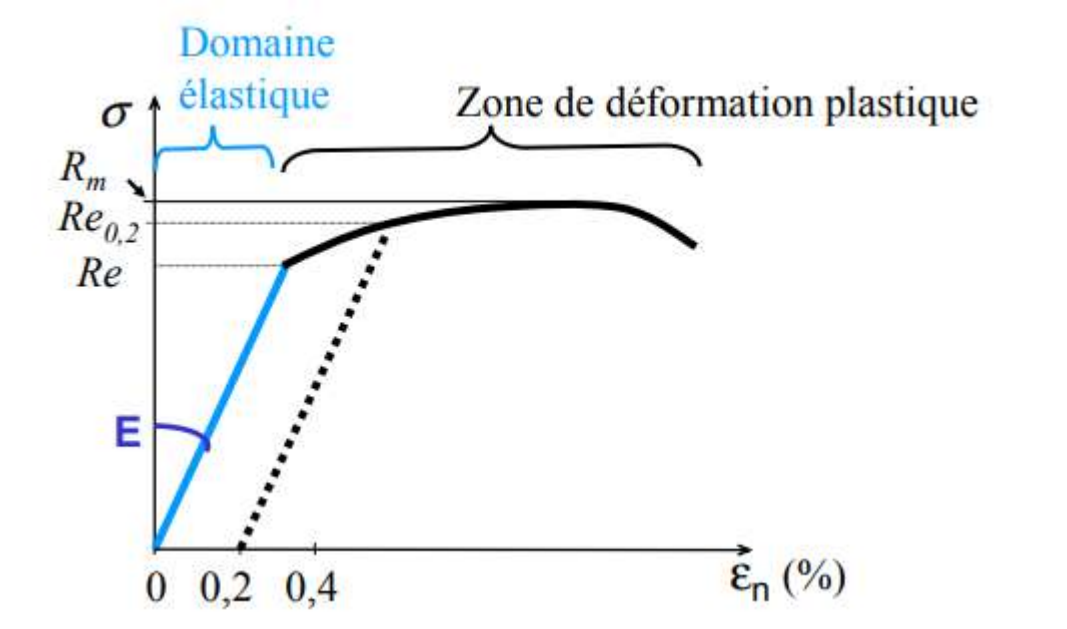


Figure 12: Détermination de la limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % (Re0,2) d'un matériau ductile.

En toute rigueur, la limite d'élasticité Re correspond a la contrainte à partir de laquelle le comportement du matériau s'écarte de la loi de Hooke, c'est-à-dire au moment où apparait la première déformation plastique irréversible. En d'autres termes, La limite d'élasticité devrait donc correspondre à la contrainte à partir de laquelle il n'y a plus proportionnalité entre contrainte et déformation. En pratique, même si sa définition est simple, une telle limite de proportionnalité est très difficile à apprécier, car le passage du domaine élastique au domaine plastique se fait de façon progressive ; la limite de proportionnalité ou limite d'élasticité vraie Re, dépend donc de la précision que l'on a sur la mesure de l'allongement. On lève toute ambiguïté en définissant une limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 %, notée $Re_{0,2}$: Elle définit la contrainte à laquelle correspond une déformation plastique permanente égale à 0,2 %.

E : Module de Young: $\sigma_n = E\ \varepsilon_n$ (14)

Re: limite d'élasticité : limite entre zones élastique et plastique

Rm : contrainte maximale atteinte durant l'essai de traction

Certains alliages (c'est le cas en particulier des aciers doux) ont un comportement en traction telle que la transition entre les domaines élastique et plastique est discontinue (figureI.13).

Dans ces cas, la limite d'élasticité Re ou $Re_{0.2}$ est définie comme la valeur inferieure de la discontinuité.

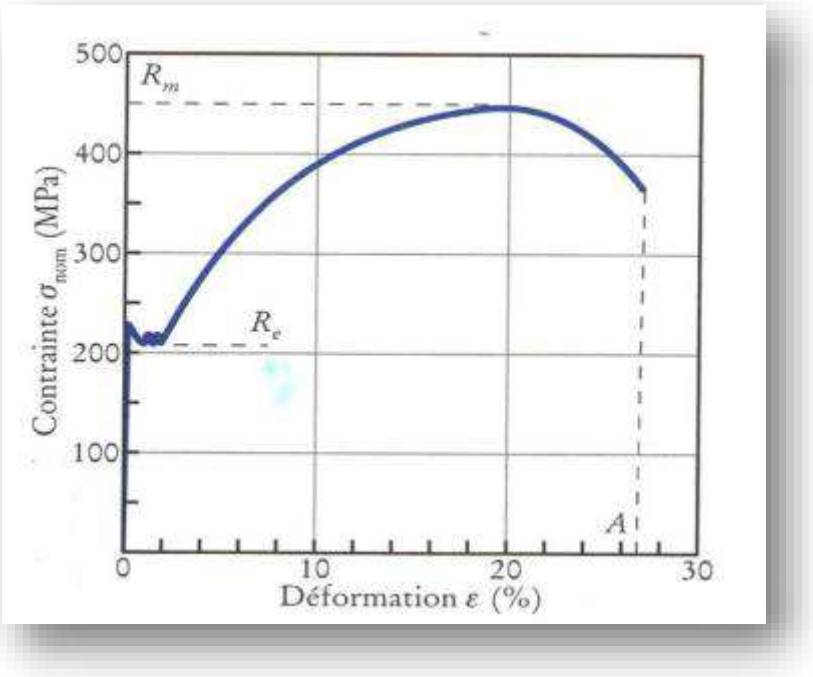


Figure 13 : Courbe de traction d'un acier doux (Fe-0,15 % C) présentant une discontinuité à la limite d'élasticité.

- **Domaine plastique :**

Dans la seconde phase de l'essai, le comportement du matériau n'est plus linéaire puisque la déformation élastique est suivie de la déformation plastique qui se manifeste de deux façons

- **Déformation plastique homogène:**

Dans ce sous-domaine qui est compris entre la limite élastique et se poursuit jusqu'à la valeur maximale de la contrainte, le matériau se consolide par phénomène d'écrouissage. Le taux de consolidation$\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$, pente de la courbe $\sigma = f(\varepsilon)$, diminue quand la contrainte augmente et devient nul à la valeur maximale de la contrainte nominale appliquée. Cette dernière caractérise La résistance à la traction Rm qui se définit comme la contrainte maximale atteinte durant l'essai de traction (figureI.13). Les matériaux fragiles n'ont pas de domaine de déformation plastique, dans ce cas, la limite d'élasticité et la résistance à la traction sont confondues.

- **Déformation plastique hétérogène (localisée):**

Une fois que la courbe de traction ait atteint un maximum Rm, la contrainte nominale diminue bien que l'allongement continue de croitre. Quand l'allongement augmente au-delà de celui qui correspond à la charge maximale atteinte, un nouveau phénomène apparait (figure I.13): localement, la consolidation du matériau ne peut plus compenser l'augmentation de la contrainte. La déformation n'est plus homogène, mais elle est localisée dans la zone de striction. Ce phénomène se traduit par une réduction localisée des dimensions transversales de l'éprouvette se produisant au cours de l'essai. Il est caractérisé par le coefficient de striction Z

$$Z=\frac{S_0-S_f}{S_0}*100 \quad (15)$$

Où :

S_0 est la section initiale de l'éprouvette.

S_f est la section finale de l'éprouvette.

Finalement, la rupture se produit dans la zone de striction, là où la section est la plus faible. Le comportement ductile du matériau peut mis en relief à partir de l'allongement à la rupture. Cette caractéristique peut être lue directement sur la courbe de traction ou mesurée sur l'éprouvette rompue (équation 16).

$$A=\frac{l_0-l_f}{l_0}*100 \quad (16)$$

L'allongement permanent après rupture est une mesure de la ductilité ; il est nul pour les matériaux fragiles.

I.6.4 Essai de résilience :

Les essais de la mécanique de la rupture et surtout pour les matériaux ductiles sont long à réaliser et surtout couteux. On cherche souvent pour simplifier le problème à trouver des corrélations entre les valeurs de KIC et les valeurs d'autres paramètres. C'est le cas en particulier de l'essai de résilience [20, 22].

L'essai est destiné à mesurer l'énergie nécessaire pour rompre en une seule fois une éprouvette préalablement entaillée. Les éprouvettes présentent des entailles en forme de V(K_{CV}) ou en U(K_{VU}) (figure I.14).

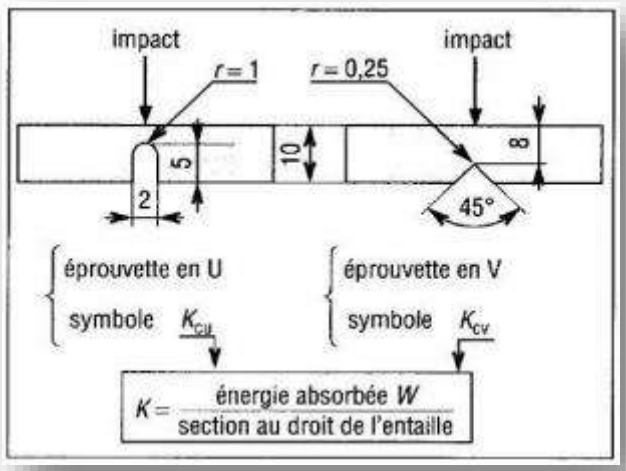


Figure 14 : Forme des éprouvettes de flexion.

On utilise un mouton-pendule munit à son extrémité d'un couteau qui permet de développer une énergie donnée au moment du choc (figure I.15).

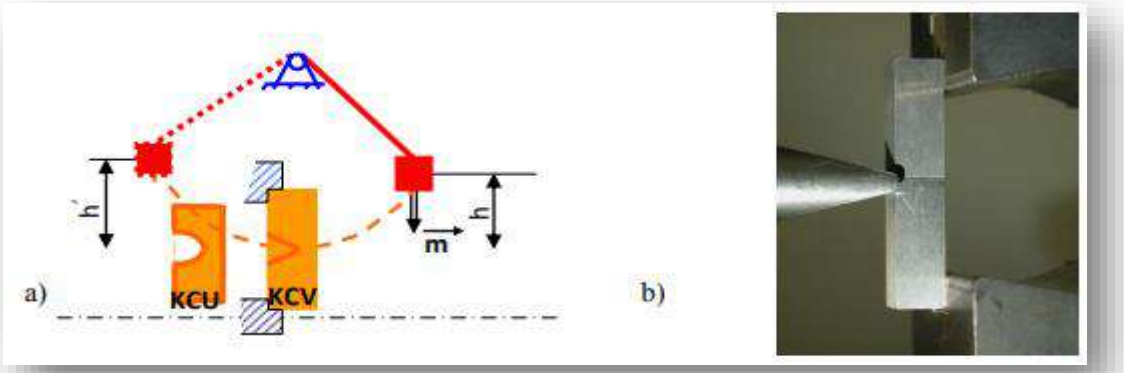


Figure 15 : Schéma représentatif d'un essai de résilience
(a) Schéma de principe, (b) montage de l'éprouvette.

La résilience est définie par :

$$K_{cu} = \frac{W_e}{S} \qquad (17)$$

I.7 Les Procédés du soudage :

La classification des procédés de soudage se fait en considérant certaines caractéristiques telles que [25] :

- Le type d'énergie mise en œuvre ;

- Les paramètres physiques (température, pression, milieu extérieur) ;
- Le mode d'élaboration de la continuité de la matière (solidification depuis le liquide ou diffusion depuis le solide) ;
- La morphologie de la liaison qu'ils permettent de réaliser.

Les Procédés de soudage des aciers des tubes [26] :

- SMAW (Shielded metal arc welding) ou (Soudage à arc avec l'électrode enrobée) ;
- FCAW (Flux-cored arc welding);
- GMAW(Gas metal arc welding);
- GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) ou TIG (Tungsten Inert Gas).
- MCAW (Metal Cored Arc Welding).

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés aux procédés GTAW+SMAW

I.7.1 Le procédé de soudage SMAW:

1) principe de procédé:

Le procédé de soudage à l'arc avec électrode enrobée est relativement simple. Une soudeuse, généralement à courant constant, est connectée à une électrode enrobée et à une pièce de métal à souder, ce qui provoque la création d'un arc électrique, libérant l'énergie nécessaire pour fondre le métal d'apport (contenu dans l'électrod35e) sur le métal à souder (figure I.16). Le flux recouvrant l'électrode sert à protéger le bain de fusion de la contamination atmosphérique.

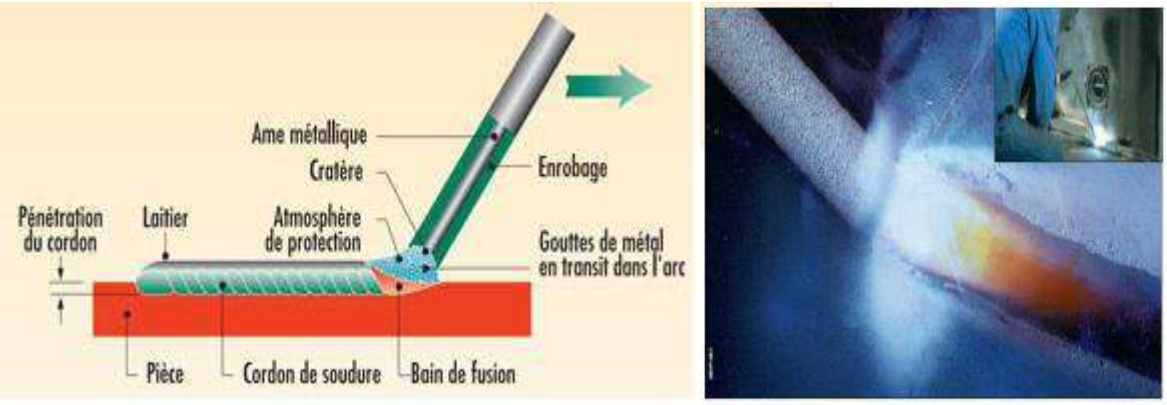


Figure 16: Schéma présentant le principe du procédé SMAW [27].

Ce type de soudage exige une vitesse et un angle de soudure constants, et la pointe de l'électrode doit demeurer à la même distance de la pièce. C'est la raison pour laquelle on rapproche le porte-électrode lorsque le métal fond [28].

2) Soudeuse et type de courant utilisés:

On emploie généralement une soudeuse à courant continu avec ce type de procédé. La polarité inversée permet une plus grande pénétration de la soudure parce que le métal en fusion de l'électrode, qui se dépose sur la pièce, atteint des températures plus élevées, ce qui procure une meilleure pénétration [29].

I.7.2 Le procédé GTAW :

1) principe de procédé :

Le procédé de soudage sous protection de gaz inerte avec électrode réfractaire de tungstène s'effectue avec une torche. Celle-ci comprend l'électrode de tungstène, maintenue sur un porte-électrode et placée à l'intérieur de la buse qui canalise le gaz de protection (figureI.17). L'arc électrique se forme entre l'électrode de tungstène et le métal de base. [30]

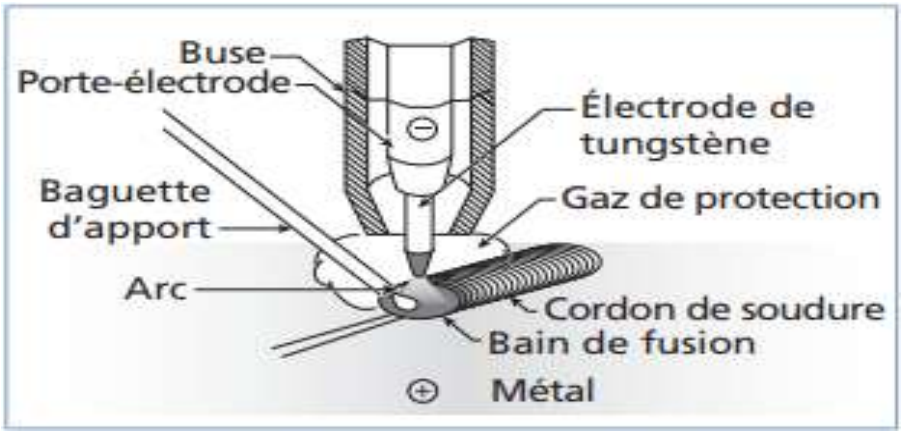


Figure 17: Schéma représentant le principe du procé

dé GTAW [31].

La torche permet de maintenir l'électrode en place, de canaliser le gaz de protection et d'assurer la continuité du courant pendant le soudage. Lorsqu'on travaille avec des courants élevés (150 A et plus), on utilise une torche refroidie par du liquide, et une torche refroidie au gaz pour des courants allant jusqu'à 150 A [31].

2) Soudeuse et type de courant utilisés :

Avec ce type de procédé, on utilise une soudeuse à courant constant, comme pour le SMAW. Le type de courant (CA ou CC) utilisé et la polarité du courant CC affectent les caractéristiques de la soudure. On utilise généralement le courant CC avec polarité normale, car il permet un plus grand transfert de chaleur vers la pièce (les électrons bombardent la pièce, ce qui protège l'électrode); donc, une plus grande pénétration et une soudure plus étroite.

Le courant CC avec polarité inversée peut parfois être utilisé sur certains métaux (ex. aluminium, magnésium, cuivre), car il a la propriété de nettoyer, en les brisant, les oxydes de surface; toutefois, la pénétration demeure plus faible et le cordon plus large [29].

I.8 La soudabilité:

En considère qu'un matériau métallique est soudable a un degré donné par un procède et pour un type d'application donné, lors qu'il se prête, moyennant les précaution correspondant a ce degré, à la réalisation d'une construction entre les éléments de la qu'elle il est possible d'assurer la continuité métallique par la constitution de joint soudé qui par leurs caractéristiques locales il est conséquences globales de leur présence , satisfont aux propriétés requises et choisies comme base de jugement. En voit apparaitre la notion fondamentale de "continuité de la nature de matériau assemblé" et plus particulièrement de "continuité métallique". Cette exigence implique la mise en jeu, entre les éléments à assembler, de forces de liaison interatomique de type métallique (pour les métaux). L'intervention de ces dernières exige l'absence de tout corps étranger susceptible de constitué une barrière a leur action. Ces considérations permettant déjà de noter que :

- l'identité chimique des métaux assemblés n'est pas fondamentalement nécessaire.
- les technique d'assemblage mécaniques (rivetage, boulonnage, agrafage ….) ou par adhésion (collage) ne répondent pas a la définition de soudage.

Dans les travaux de recherches en soudage on s'intéresse beaucoup plus par :

- les conditions d'installation de la liaison métallique.
- Les phénomènes métallurgiques mise en jeu et à leurs conséquences.
- les définitions de la soudabilité.
- les essais permettant d'apprécier la soudabilité métallurgique.

- les possibilités d'actions postérieures au soudage permettant d'améliorer les performances de l'assemblage, Pour finir par des considérations sur la soudabilité métallurgique des différents métaux [32].

I.9 Aspect thermo-métallurgique du soudage :

I.9.1 Parties constitutives d'un joint soudé :

On peut considérer quatre zones distinctes dans un joint soudé :

1) **Zone fondue :** C'est la région ou l'état liquide a régné pendant l'exécution de la soudure. Elle a été obtenue par la fusion du métal de base, avec la précipitation plus au moins importante d'un métal d'apport. Le métal qui constitue la soudure est appelé métal fondu. Le métal apporté à l'état liquide, c'est-à-dire avant dilution, est appelé métal déposé [33].
2) **Zone de liaison :** Zone marquant la frontière entre la zone fondu et la effectuée thermiquement (Z.A.T). En quelque sorte, c'est la limite entre le métal qui été fondu et s'est solidifié et le métal qui est resté à l'état solide au cours de l'opération de soudage.
3) **La zone affectée thermiquement :** Partie du métal de base qui n'a pas été fondue, mais dont les propriétés mécaniques ou la microstructure ont été modifiés à un degré quelconque par la chaleur du soudage. Dans cette zone, on distingue, dans le cas des soudures exécutées sur des métaux ayant un point de transformation, une zone de transformation contiguë à la soudure et dans laquelle la température a été suffisante pour entraîner une transformation dite allotropie de la structure et donc une modification des propriétés physiques du métal, sans qu'il y ait eu changement de sa composition chimique [34].

   Dans l'autre partie de la zone thermiquement affectée, il n'y a pas eu transformation allotropique, mais seulement modification, par exemple, de la grosseur de la forme des grains du métal. La zone thermiquement affectée comporte différentes parties, on distingue:

1- zone de surchauffe.
2- zone austénitique.
3- zone partiellement austénitisée.

4) **Le métal de base :** Il constitue le métal des pièces à assembler. Ces pièces peuvent être en métaux semblables ou de nature différente. Le métal de base est soumis à un

traitement thermique variable suivant le point considéré. De ce fait, il est le siège de transformations d'ordre physico-chimiques. L'importance des transformations est fonction d'une part du cycle thermique et d'autre part de la nature de l'alliage. Les aciers austénitiques par exemple sont sensible aux changements de phases par précipitions [33].

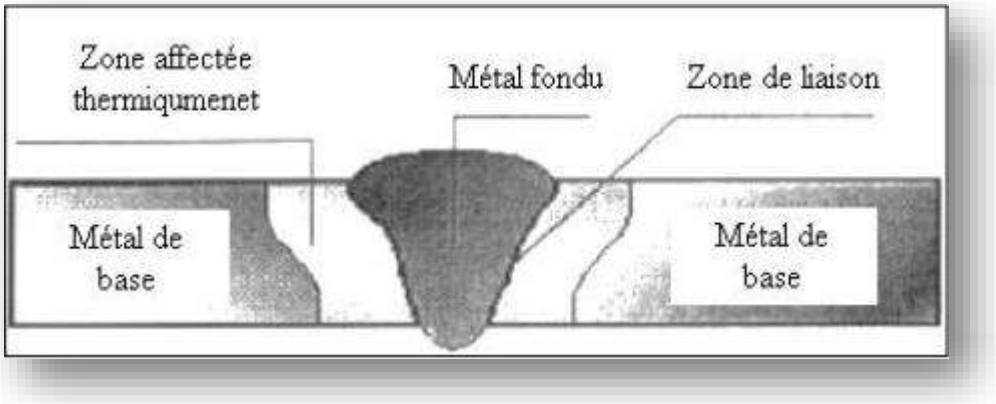


Figure 18: Schéma des différentes zones d'un assemblage soudé [33].

I.9.2 Aspect thermique de soudage :

1) Cycle thermique du soudage :

Pendant que la source de chaleur se déplace le long des bords à souder, le matériau environnant s'échauffe, atteint une température maximale puis se refroidit quand la source s'éloigne. La loi suivant laquelle la température varie, en un point de la pièce, en fonction du temps, porte le nom de cycle thermique de soudage [35].

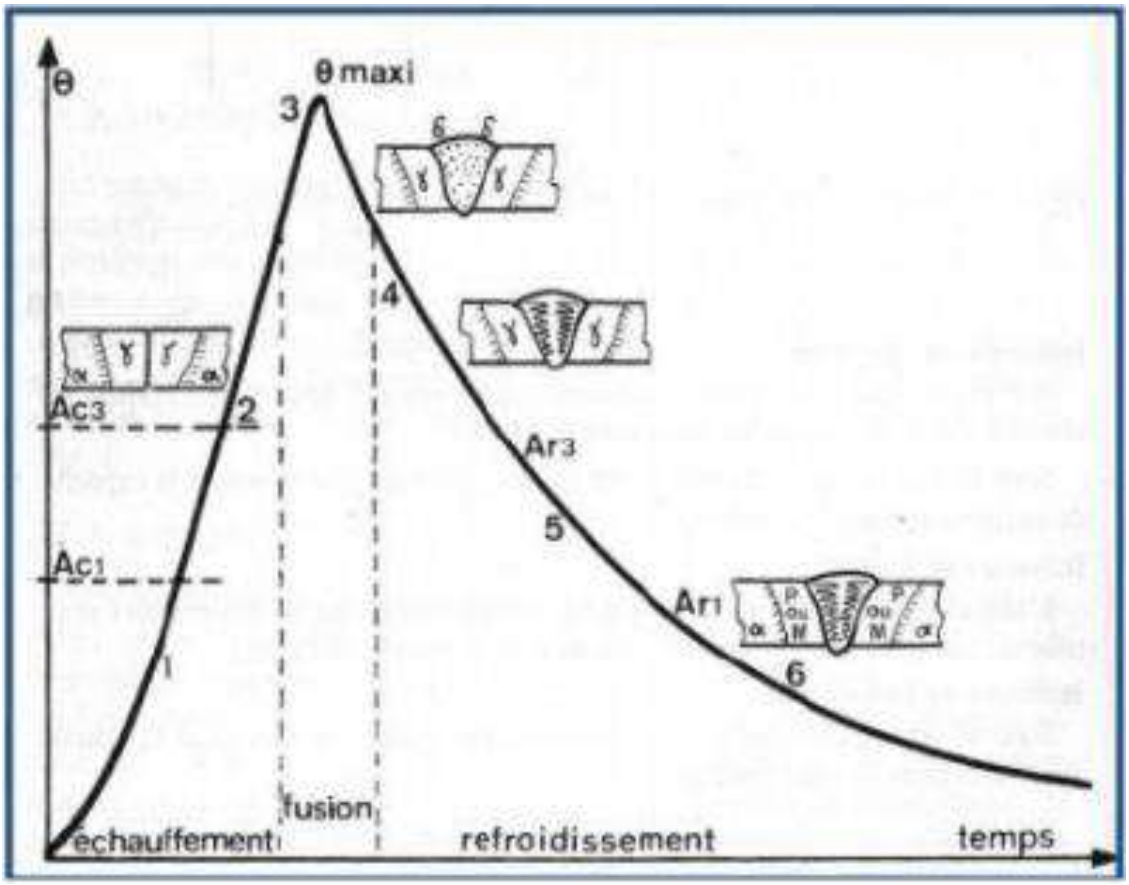


Figure 19: La courbe de cycle thermique du soudage [35].

1- Dilatation AC1 : détensionnement.
2- AC3 : austénisation (changement de maille).
3- Zone fondue : fusion et dilution du MA et MB.
4- Solidification Ar3 : formation de dendrites, retrait, contraintes.
5- Transformation allotropique Ar1 : trempe (martensite), recuit (perlite).
6- Fin de transformation : contraintes résiduelles, déformation, rupture.

2) Paramètre thermique du soudage :

La connaissance du cycle thermique de soudage permet de prévoir les évolutions du métal de base et du métal fondu.

Les paramètres les plus couramment utilisés pour caractériser le cycle thermique en condition de soudage sont :

- Le Δt 800/500 ; temps de refroidissement entre 800 et 500°c, utilisé par I.I.S [36] ;
- Le Δt 700/300 ; temps de refroidissement entre 700 et 300 °c utilisé par IRSID [37].

Les principaux facteurs qui ont une influence sur le cycle thermique sont [38] :

- l'énergie de soudage : E (J/cm)= $\frac{U(V)*I(A)}{Vs(\frac{cm}{min})}$ *60 (18)
- la forme du joint ;
- le procédé de soudage ;
- l'épaisseur du métal de base ;
- la température de préchauffage et la température entre passes.

Divers abaques prennent en compte ces différents facteurs et permettent de prévoir le Δt 800/500 pour une soudure donnée.

I.9.3 Aspect thermomécanique :

Le caractère localisé de l'opération de soudage et le passage par l'état fondu suivi d'une solidification font intervenir deux comportements physiques importants à savoir le retrait à la solidification et la dilatation thermique qui agissent simultanément pour engendrer déformations et contraints au niveau des joints soudés.

La prévention des déformations globales provoquées par le soudage et qui sont associées au retrait à la solidification et au refroidissement pose des problèmes technologiques, mais il faut noter que tout empêchement à la déformation se traduit par la naissance de contraintes résiduelles supplémentaires. Les remèdes à la déformation sont donc chaque fois que cela est possible à rechercher dans un mode opératoire qui en réduit l'amplitude, plutôt que dans un effet de bridage des pièces à assembler.

Quant aux contraintes résiduelles, qui naissent au niveau des zones localement déformées à chaud, c'est-à-dire plastiquement elles s'établissent au cours de refroidissement, affectent un métal redevenu élastique, ce qui leur assigne une valeur maximale égale à la limite d'élasticité de ce métal. Mais ceci ne concerne que certains aciers particulièrement trempant, il y a lieu de tenir compte des contraintes associées à la déformation martensitique [39].

I.10 Les produits de soudage :

I.10.1 Les métaux d'apport :

Le métal d'apport provient généralement d'une électrode enrobée (pour le procédé SMAW), d'un fil-électrode (dans le cas des procédés GMAW, FCAW et MCAW) (figure..) ou d'une baguette (procédé GTAW). La classification des métaux d'apport permet de connaître leur

résistance à la traction, leur composition chimique, la résilience du métal déposé et les positions de soudage possibles [40].

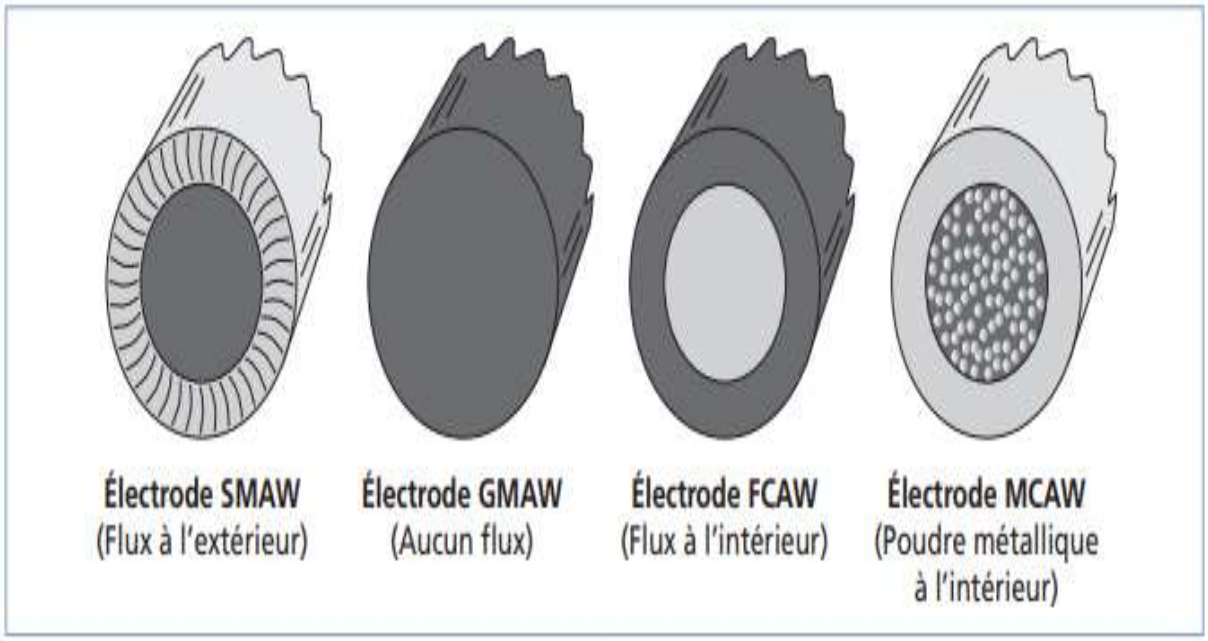


Figure 20: Comparaison des électrodes et des fils-électrodes pour les procédés SMAW, GMAW, FCAW et MCAW [40].

1) Principaux facteurs influant sur le choix d'un métal d'apport :

Le tableau I.2 présente certains des principaux facteurs à considérer lors du choix d'un métal d'apport.

Tableau 2: Principaux facteurs influant sur le choix d'un métal d'apport. [40]

Facteur	Impact sur le choix d'un métal d'apport
Composition du métal de base	Nous recherchons un métal d'apport de même nature
Dimensions de l'assemblage	Pour les très gros assemblages, les taux de dépôt doivent être élevés.
Genre de courant disponible	Plusieurs électrodes sont conçues pour le courant continu
Position du joint à souder	En fonction de la fluidité du métal d'apport
Propriétés requises pour le cordon de soudure	- Absence de fusion d'hydrogène (surtout pour l'acier) - Nous considérons aussi le nombre de passes, le diamètre de l'électrode et l'intensité de courant.

Nous avons choisi également une électrode en fonction de la charge de rupture du métal déposé.

I.10.2 Les Flux et les gaz protecteurs :

1) Rôle et caractéristiques des flux

Le flux et le laitier jouent quatre rôles distincts dans la réalisation d'une soudure (tableau I.3)

Tableau 3: Le rôle du flux et du laitier [40].

Rôle	Description
Rôle électrique	- Conduire le courant électrique lorsqu'il est chaud et isoler lorsqu'il est froid. - Stabiliser et influencer la force de l'arc
Rôle physique	- Protéger le bain de fusion de l'oxygène et de l'azote contenus dans l'air ambiant afin d'éviter que les propriétés mécaniques du métal déposé soient dégradées (désoxydation et dénitruration). - Protéger le soudeur du rayonnement UV en masquant l'arc électrode. - Produire un gaz de protection sous l'effet de la chaleur de l'arc.
Rôle métallurgique	- Désoxyder et purifier le bain de fusion afin d'empêcher la formation de soufflures dans celui-ci. - Ajouter des éléments d'alliage au bain de fusion. - Refroidir plus lentement le bain de fusion (cordon).
Rôle mécanique	- Soutenir et donner une forme au bain de fusion (influe sur la fluidité du bain de fusion).

Le flux forme le laitier qui, une fois déposé, protège la soudure contre l'oxydation pendant le processus de solidification et de refroidissement. Certains éléments contenus dans le flux facilitent aussi l'enlèvement du laitier, en affectant son adhérence au cordon.

La nature du flux a une influence sur la pénétration et le taux de dépôt. Selon le flux sélectionné, on peut accroître aussi les positions de soudage possibles, l'apparence et la composition du cordon, l'intensité du courant nécessaire et les propriétés mécaniques du cordon de soudure.

La composition exacte des flux est généralement connue des fabricants seulement. Cependant, certains éléments s'y retrouvent fréquemment et remplissent une fonction particulière (tableau I.4)

Tableau 4: Éléments entrant dans la composition des flux [41].

Eléments	Principaux rôles
Aluminium	Désoxydant
Calcium	Procure la protection gazeuse et forme le laitier
Carbone	Augmente la dureté et la résistance à la traction.
Chrome	Augmente la dureté et la résistance à la corrosion.
Fer	Est la base des alliages ferreux.
Manganèse	Désoxydant, empêche la fissuration à chaud
Molybdène	Augmente la résistance à la traction, y compris à chaud.
Nickel	Améliore la résilience, la résistance à la traction et à la corrosion.
Potassium	Stabilise l'arc et forme le laitier.
Silicium	Désoxydant, forme le laitier.
Sodium	Stabilise l'arc et forme le laitier
Titane	Désoxydant et dénitrurant, forme le laitier (diminue la tension superficielle).
Zirconium	Désoxydant
Vanadium	Augmente la résistance à la traction.

2) Rôle et caractéristiques des gaz protecteurs :

Les gaz servent généralement à protéger le bain de fusion de l'air ambiant, notamment afin d'éviter le phénomène d'oxydation.

On utilise différents types de gaz dont les gaz neutres (comme l'argon ou l'hélium) et les gaz actifs (comme le gaz carbonique (CO_2), l'hydrogène (H) ou l'azote (N)), chaque gaz ayant des propriétés spécifiques (tableau….). Les gaz neutres sont inertes (ne réagissent pas chimiquement avec d'autres éléments) et ont notamment l'avantage de neutraliser les émissions de vapeurs toxiques causées par certains procédés (comme le GTAW) [42].

Tableau 5 : Propriétés de différents gaz de protection [42].

Types de gaz	Propriétés
Argon (Ar)	- Potentiel d'ionisation bas - Permet de souder avec une forte intensité (à 80 % et plus). - Beaucoup de soufflage de l'arc - Peu de projections - Pénétration étroite - Bonne stabilité de l'arc
Hélium (He)	- Potentiel d'ionisation élevé (haute tension) - Stabilité de l'arc moins grande qu'avec l'argon - Cordon de soudure large - Bon mouillage avec des plaques épaisses d'aluminium
Gaz carbonique (CO2)	- Se mélange à l'argon (à un maximum de 25 %). - Bonne densité de soudure - Peu de soufflage de l'arc - Beaucoup de projections - Grande surépaisseur du cordon - Bon mouillage du cordon - Soluble dans les métaux en fusion - Oxydant et carburant (Il forme de l'oxygène (O2) et du monoxyde de carbone (CO) ; ces deux gaz réagissent avec les métaux libérés dans la fumée.) - Diminue la stabilité de l'arc. - S'utilise seulement avec l'acier au carbone et faiblement allié. - Ne s'utilise qu'avec les procédés GMAW, FCAW ou MCAW

Hydrogène (H)	- Soluble dans les métaux en fusion - S'emploie avec l'argon et le CO2 pour souder l'acier inoxydable. - Réducteur
Oxygène (O)	- on mouillage pour le soudage de l'acier - Très soluble dans les métaux en fusion - Peut diminuer les éléments d'alliage dans l'acier. - Se combine à l'argon (à un maximum de 5 %).

Les gaz de protection influent, notamment, sur les propriétés suivantes d'une soudure :

- la composition chimique;
- les propriétés mécaniques;
- le profil du cordon de soudure (pénétration et surépaisseur);
- la compacité;
- le mouillage;
- la présence ou l'absence d'oxydation de surface.

I.11 Traitement thermique des soudures :

L'opération de soudage se traduit par des modifications métallurgiques locales de métal de base selon les procédés et les modes opératoires par la création d'une zone fondue dont la structure et les propriétés sont plus ou moins différente de celles de métal de base.

D'autre part, l'opération de soudage établit un état de contraintes résiduelles dont la répartition et l'amplitude elles sont aussi, fonctions de procédés et des modes opératoires. Qu'elles soient à caractère métallurgique et thermomécanique, ces modifications sont souvent tolérables vis-à-vis du comportement de service et les ensembles soudés sont utilisés à l'état brut de soudage. Dans certains cas, cependant, il est jugé préférable ou nécessaire, ou bien encore il est obligatoire d'intervenir par un traitement thermique après soudage, dont l'objet principal peut être d'améliorer ou d'obtenir les propriétés jugées importantes vis –à-vis des conditions de service, ou d'élimines ou simplement de réduire les contraintes résiduelles [43].

I.11.1 Cycle d'un traitement thermique :

Effectuer un traitement thermique sur une pièce, c'est faire subir à celle-ci une variation de la température en fonction du temps. Le procédé de traitement thermique s'exprime par (la figure I.21) [44].

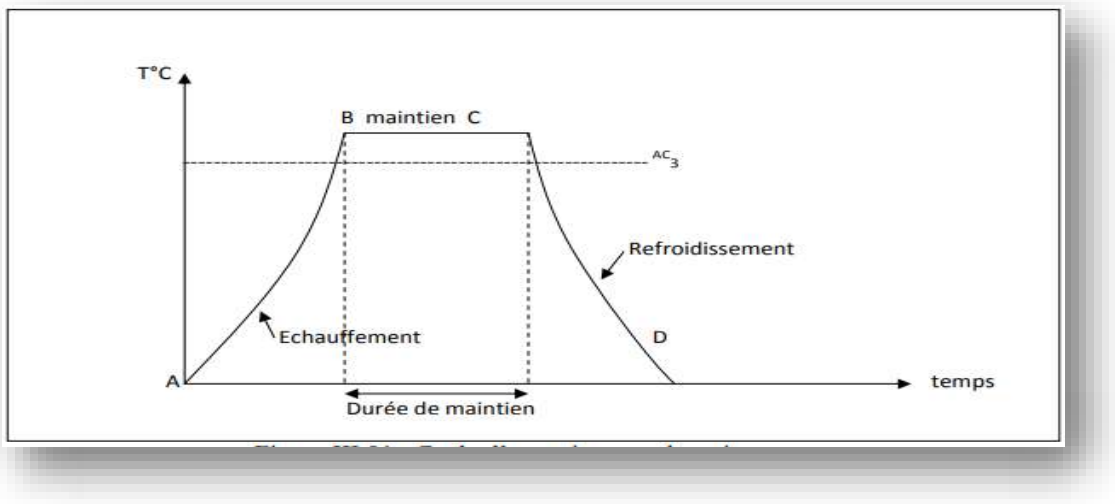


Figure 21: Cycle d'un traitement thermique [44].

AB : L'échauffement à des températures supérieures aux températures de transformation (par exemple : AC3).

BC : Maintient à une température définie.

CD : Refroidissement avec une vitesse donnée :

- lente (dans le four, à l'air).
- Assez rapide (dans l'huile).
- Très rapide (dans l'eau) [44].

I.11.2 Chauffage des pièces :

La première étape de chaque traitement thermique est le chauffage de la pièce à la température exigée. Le chauffage doit s'effectuer très rapidement pour avoir une faible consommation d'énergie et une grande productivité. La figure I.22 .représente la courbe de chauffage pour le contour de la pièce et le cœur de la pièce, la courbe est simplifiée comme une droite.

Durant le chauffage, on distingue 3 étapes :

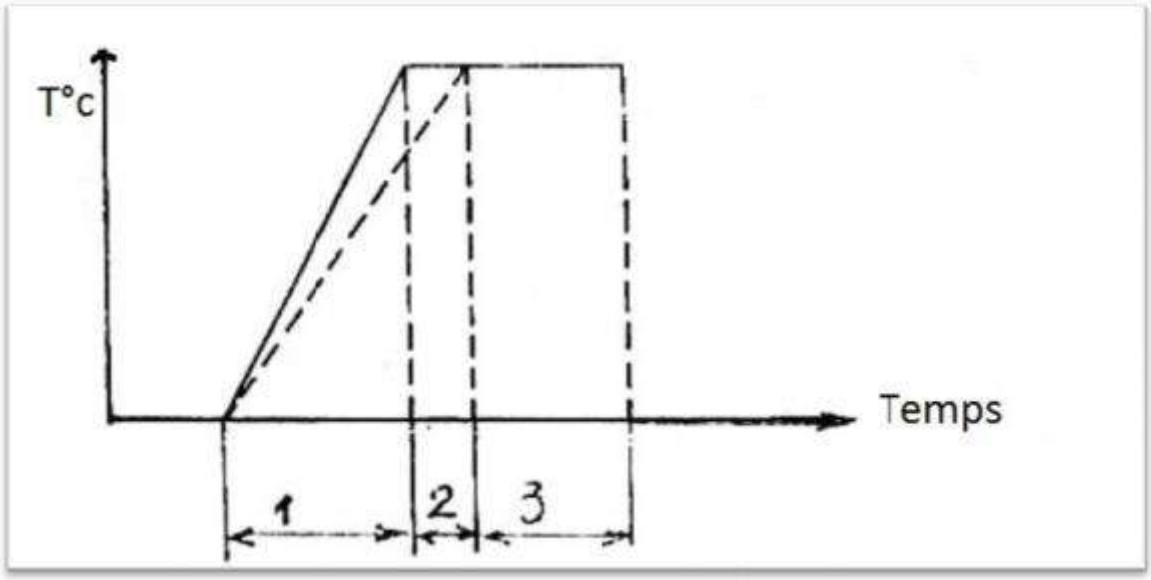


Figure 22: Courbe de chauffage des pièces [45].

1. Duré de préchauffage : c'est le temps de début de chauffage jusqu'à ce que la température nominale soit atteinte à la surface de la pièce.
2. Duré de chauffage de pénétration ou d'égalisation : c'est le temps nécessaire pour atteindre la température nominale à la surface et au cœur de la pièce.
3. Duré de maintien : c'est le temps nécessaire pour maintenir la pièce à une température à partir de la température atteinte dans le cœur.

I.11.3 Refroidissement des pièces :

Le point important pour la détermination du régime de refroidissement de la pièce est celui de l'état de structure souhaitée à obtenir. Bien sûr, on cherche toujours a refroidir rapidement pour avoir une productivité élevée, mais on doit prendre en considération les dangers de fissuration et d'étirage de la pièce.

I.12 Les principaux défauts de la soudure :

La classification des défauts de soudure conformément à la norme NF EN 26250 sont récapitulés dans le tableau qui suive et qui sont détaillés par la suite :

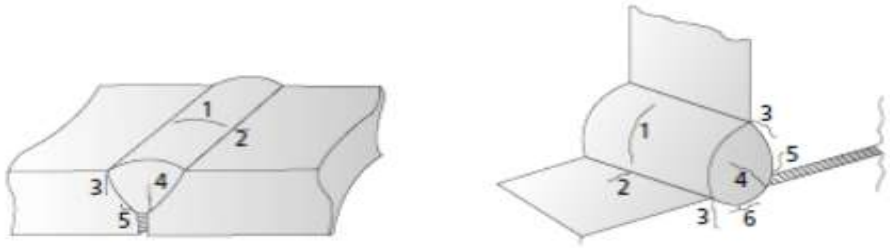
Tableau 6 : Classifications des défauts de soudure.

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Fissures	Cavités	Inclusion solide	Manque de fusion / Manque de pénétration	Défauts de forme

I.12.1 Les fissurations :

1) Les fissurations à froid :

La fissuration à froid peut apparaître des heures, voire des jours après le soudage. Elle survient dans la zone de soudage ou dans la ZAT (figure I.23) et est causée par l'hydrogène coincé dans la soudure ou par des tensions internes résiduelles importantes [46].



1) fissures transversales dans la zone fondue
2) fissures transversales dans la ZAT
3) fissures dans la zone de liaison
4) fissures dans la zone fondue
5) fissures à la racine
6) fissure sous le cordon

Figure 23: Schéma montrant les fissurations à froids [47].

Plusieurs facteurs influents sur la vulnérabilité d'une pièce à la fissuration à froid, dont les suivants [48] :

- la trempabilité reliée au carbone équivalent ;
- la présence d'hydrogène due à l'humidité sur l'enrobage ou sur la pièce ou à certains composés comme la rouille et la calamine ;
- l'humidité dans l'air ;
- le refroidissement rapide de la pièce ;
- la présence de défauts à la surface de la pièce (inclusions, soufflures, trop grande épaisseur de la soudure, caniveau, etc.).

2) La fissuration à chaud :

La fissuration à chaud est associée généralement à la présence ou à la formation d'une phase fusible favorisant la décohésion intergranulaire sous l'influence du soufre et du phosphore notamment.

La fissuration à chaud se forme généralement dans le métal fondu sous l'effet de contraintes importantes au moment où le métal est encore très chaud. (Rôle important de la composition chimique et de la capacité insuffisante d'allongement à chaud du métal fondu) [49].

Elle est due à la présence de ségrégations. Au moment de la solidification, les impuretés seront rejetées dans l'axe du cordon qui pourra fissurer sous l'effet des contraintes [50].

Si on doit souder un métal à risque, il est recommandé d'utiliser des électrodes à flux basique. Par ailleurs, le métal d'apport doit être compatible avec le métal de base et le cordon de soudure doit être suffisamment large.

Dans d'autres cas, si on relève trop brusquement l'électrode à la fin de la soudure, on peut provoquer l'apparition d'un cratère formant une cavité interne provoquant une fissure (figure I.24).

On peut prévenir ces fissures en effectuant un léger retour en arrière avec l'électrode, mais aussi en préchauffant le métal, en diminuant l'écartement entre les pièces ou en nourrissant le cratère par un apport plus important de métal.

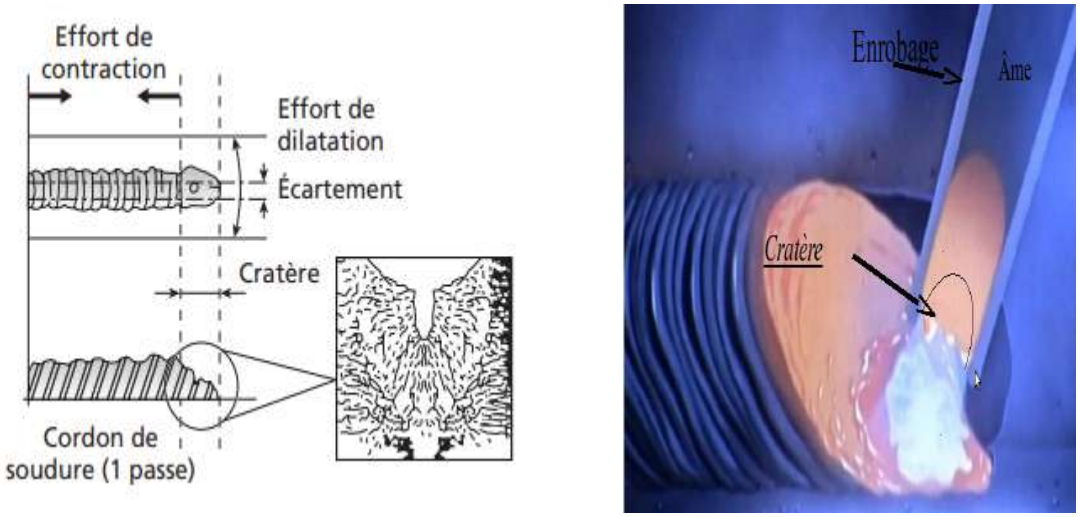


Figure 24: Prise de vue d'une fissure de cratère [51].

I.12.2 Les soufflures ou cavités :

Les soufflures (cavités) sont des défauts fréquents en soudage. Ce sont souvent des bulles de gaz enfermées dans le cordon de soudure. Les piqures sont des soufflures débouchantes, donc visibles en surface [52].

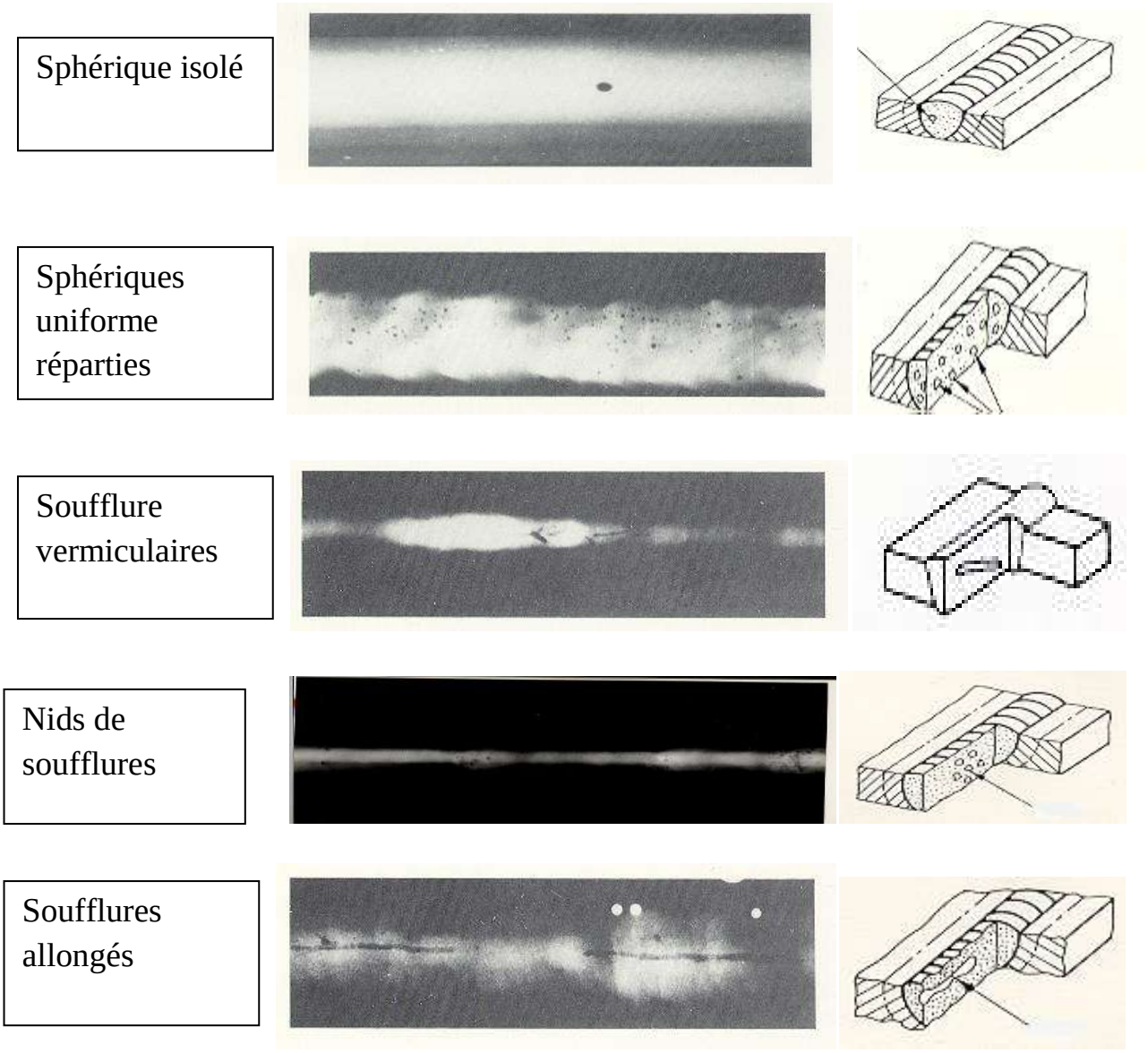


Figure 25: Schémas des différentes soufflures avec leurs interprétations [53].

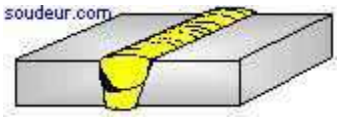
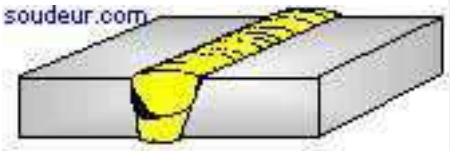
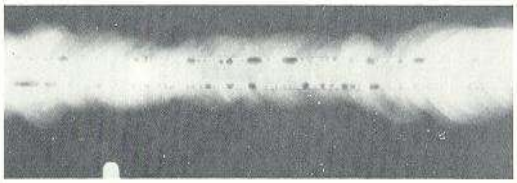
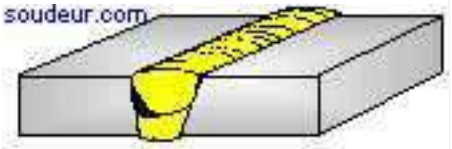
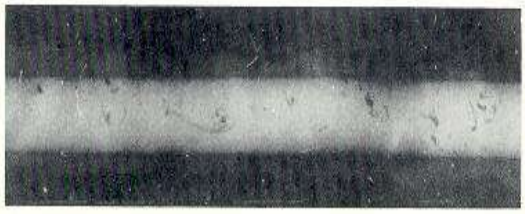
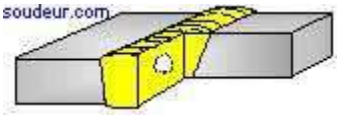
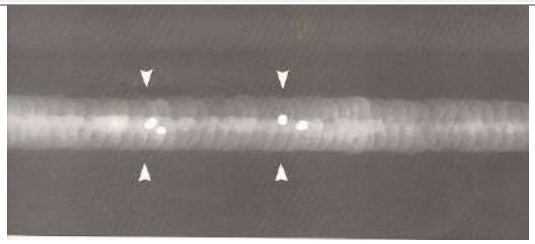
Les soufflures peuvent être dues :

- à des courants d'air ;
- un manque de gaz de protection ;
- un débit de gaz de protection trop faible ;
- la présence de graisse ou d'huile sur le métal de base ou le métal d'apport ;
- une buse encrassée ;
- un mauvais angle de soudage qui entraine une mauvaise protection gazeuse ;
- la présence des impuretés dans le joint à souder.

I.12.3 Les inclusions solides :

En soudage, les inclusions désignent des corps étrangers présents au cœur du cordon. On distingue différents types d'inclusions au tableau I.7.

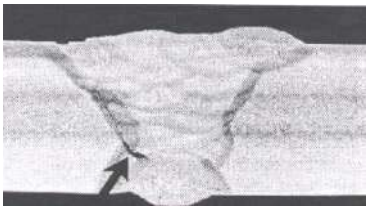
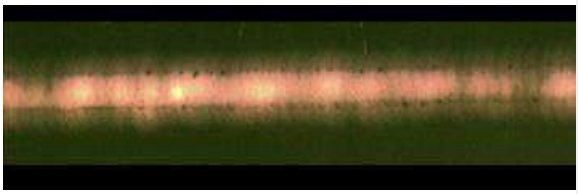
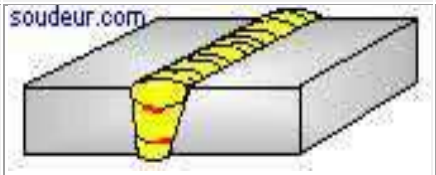
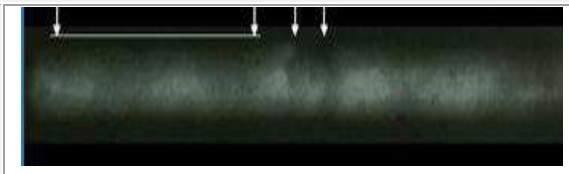
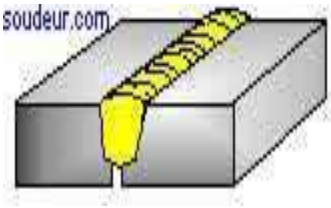
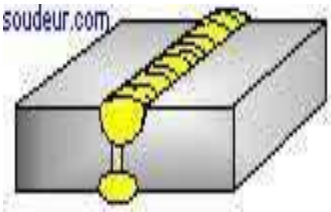
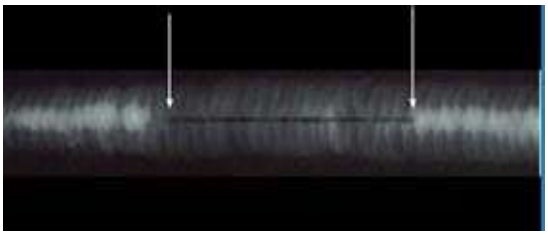
Tableau 7: Différents types d'inclusions solides observés par la technique de la radiographie [54].

Désignation	Illustration	Interprétations
Inclusions solides		
Inclusion de laitier		
Inclusion de flux		
Inclusion d'oxyde		
Inclusion métallique		

I.12.4 Manque de fusion :

En effet, il s'agit d'une mauvaise continuité métallurgique entre les métaux à assembler. Il peut aussi s'agir de manque de fusion des passes les unes avec les autres.

Tableau 8: Schéma des différents types de manque observés par la technique de la radiographie [56].

Désignation	Illustration	Interprétations
Manque de fusion		
Manque de fusion des bords ou collages		
Manque de fusion entre passes		
Manque de fusion a la racine	 	

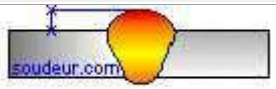
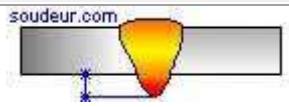
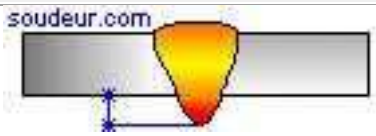
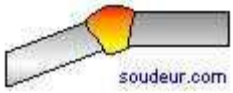
Ces défauts sont fréquents en soudage MAG et surviennent généralement quand [55] :

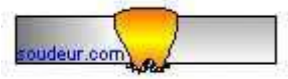
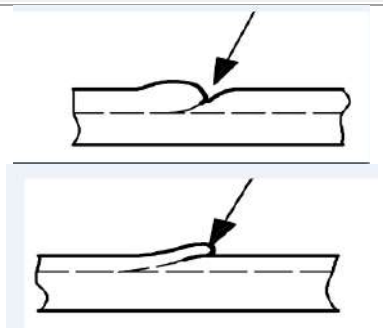
- Angle du chanfrein trop étroit
- Mauvaise orientation des électrodes
- Intensité trop faible
- Vitesse d'avance trop élevée
- Métal de base trop froid

I.12.5 Défauts de forme :

En résume les défauts de forme dans le tableau I.9.

Tableau 9: Les différents types des défauts de forme [54]

Désignation	Illustration	Termes en Anglais
DÉFAUTS DE FORME		
Caniveau		Undecut
Morsure		Undercut
Caniveau a la racine		Shrinkage Groove
Surépaisseur excessive		Exces Weld Metal
Excès de pénétration		Excessive Penetration
Goutte ou excès local de pénétration		Excessive Penetration
Débordement		Overlap
Défauts d'alignement		Linear Misalignment
Déformation angulaire		Angular Misalignment
Effondrement		Sagging
Manque d'épaisseur		Incomplete Fillid Groove
retassure a la racine		Root Convexity

Rochage		Porosity Due To Carbone Monoxide
Mauvaise reprise		Bad recovery

II.1 Oxycoupeuse :

L'oxycoupage consiste à produire, sous l'effet de la chaleur, l'apparition d'oxyde de fer sur un métal ferreux grâce à l'injection d'oxygène. L'oxyde de fer ainsi créé fond sous la pression des gaz et s'écoule ; la coupure du métal est alors réalisée.



Figure 26 : Une photo représente machine d'oxycoupeuse.

II.2 La tronçonneuse :

La tronçonneuse est un dispositif qui se compose d'une lame spécialement pour les métaux fixée sur un support animée par un moteur électrique à bas régime. Un robinet est relié avec le support pour le refroidissement des métaux depuis l'opération de découpage.



Figure 27: Prise de vue d'une tronçonneuse.

II.3 Magnétoscope :

Il consiste à créer un champ magnétique important (> 2400 A / m) qui traverse la pièce à contrôler jusqu'à saturation magnétique avec l'application simultanée en surface d'une liqueur magnétique colorée ou fluorescente constituée de traceurs comme produit indicateur.



Figure 28 : Une photo montre l'appareil de magnétoscope.

II.4 source radioactivité :

Un appareil de gammagraphie est généralement un appareil mobile pouvant être déplacé d'un chantier à l'autre. Il se compose principalement : d'une source radioactive insérée dans un porte-source ; d'un projecteur de source, servant à stocker la source quand elle n'est pas utilisée et permettant son transport ; d'une gaine d'éjection et d'une télécommande destinées à déplacer la source entre le projecteur et l'objet à radiographier, tout en assurant la protection de l'opérateur qui se tient à distance de la source.

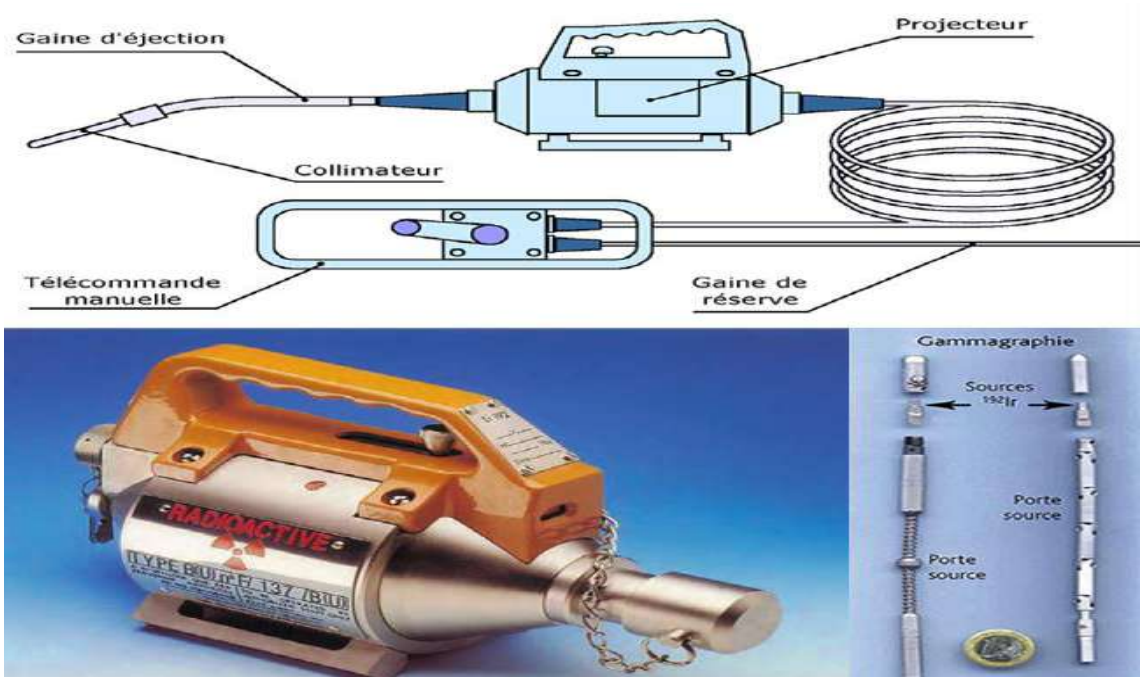


Figure 29: Photo montre une source radioactivité.

II.5 Négatoscope :

Il fonctionne grâce au principe de transparence, lors de l'utilisation, une lumière est propagée par les tubes lumineux à travers la vitre. Cette vitre est quant à elle conçue de sorte d'homogénéiser la lumière des tubes fluorescents, pour une interprétation facile.



Figure 30 : Image représentative de négatoscope.

II.6 Densitomètre :

C’est un instrument permettant de mesurer la densité (le noircissement) de matériaux photographiques transparents. Il consiste de transmission repose sur une mesure optique de deux plage lumineuses, dont l’une est fixe et l’autre est variable. On utilisant comme source fixe le faisceau de l’agrandisseur après passage au travers d’une zone de forte densité du négatif, et en connaissant l’intensité de la lampe d’agrandisseur, on arrive par lecture d’un abaque à déterminer la densité maximale du négatif



Figure 31: Image de densitomètre.

II.7 PMI (positif matériel identification) :

L'identification de matériau positif (PMI) a le principe d'analyser un alliage métallique pour établir la composition en lisant les quantités en pourcentage d'éléments constitutifs. Les méthodes typiques pour le PMI incluent la fluorescence X (XRF) et la spectrométrie d'émission optique (OES).



Figure 32 : Photo montre l’appareil **PMI**.

II.8 Microscope optique :

Le microscope optique ou microscope photonique est constitué d'un tube qui possède à ses deux extrémités des lentilles.

Le premier groupe de lentilles, dirigé vers l'objet à examiner, constitue l'objectif. Il donne une image réelle, inversée et agrandie de l'objet. Le deuxième groupe de lentilles, dirigé vers l'œil de l'observateur, est appelé l'oculaire **;** il fonctionne comme une simple loupe et grossit l'image précédente. On obtient alors l'image définitive virtuelle, plus ou moins fortement grossie et renversée de l'objet initial.



Figure 33: Représentation de microscope optique.

II.9 Appareil dureté (HB) :

L'échelle de Brinell mesure la dureté de matériaux, par la compression d'une bille, généralement en acier, sur le matériau que l'on désire tester.



Figure 34: Une photo représente l'appareil de dureté.

II.10 Appareil traction :

Une machine de traction classique est équipée d'un capteur de force interchangeable, fixé sur la traverse mobile, d'un capteur de déplacement, de deux attaches (mors) mobiles idéalement auto-serrantes pour réaliser un essai de traction et d'un enregistreur.



Figure 35 : Une photo représente l'appareil de traction.

II.11 Appareil de résilience :

Cet essai est destiné à mesurer l'énergie nécessaire pour rompre en une seule fois une éprouvette préalablement entaillée. On utilise un mouton-pendule muni à son extrémité d'un couteau qui permet de développer une énergie donnée au moment du choc.



Figure 36: Une photo représente l'appareil de résilience.

II.12 le spectromètre :

L'échantillon métallique soumis à une décharge électrique, émet un rayonnement lumineux. Un réseau diffracte la lumière en une certaine quantité de raies dont chacune est caractéristique d'un élément contenu dans le métal. La quantité de chaque composant est déterminée par de l'intensité lumineuse à l'endroit de la raie.



Figure 37 : Un spectromètre d'analyse chimique.

II.13 un duromètre Brinell :

L'essai consiste à faire pénétrer en appliquant une force F un pénétrateur ayant une forme de bille diamètre D, généralement du carbure poli ou céramique trempé, dans le métal à tester.



Figure 38: Un duromètre de Brinell.

II.14 un duromètre Vickers:

Elle se fait avec un indenter en forme pyramide normalisée en diamant de base carrée et l'angle au sommet entre face égal à 136°sur lequel on applique une force.

L'empreinte que laisse le pénétrateur peut être utilisée pour calculer la dureté de matériau. La force et la durée de l'appui sont normalisées **(10 kg \ 30 sec)**.



Figure 39 : Un duromètre Vickers.

III.1 Préparation des échantillons :

III.1.1 Découpage des pièces :

Les pièces sont coupées selon la nuance de chaque pipe :

- Tube en acier inoxydable : découpage a froid (découpage par tronçonneuse)
- Tube en acier au carbone : découpage a chaud (oxycoupage)



(A) (B)

Figure 40 : Photos de pièces obtenues par deux types de découpages.

(A) découpage à chaud d'un pipe au carbone, (B) découpage à froid d'un pipe inoxydable

III.1.2 Le soudage des pièces :

1) Formes des joints :

Avant de passer par la procédure de soudage, il faut passer par l'étape de chanfreinage selon le code ASME (Figure 41).

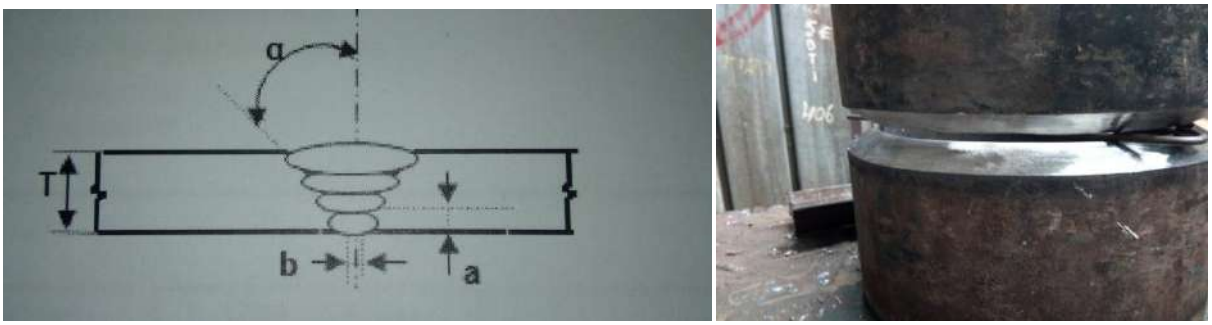


Figure 41 : Schéma présentant la forme des joints. [WPS.cf.annexe1]

$\alpha = 30^{o} +/- 2.5^{o}$, a= 1.6± 0.8mm , b= 3.2± 0.8mm , T=8.6

Les bords à souder sont préparés par chanfreinage et meulage. Ils sont débarrassés de tout excès d'oxyde, rouille, graisse ou peinture. Les passes sont seulement schématisées les dispositions exactes des passes dépendent des paramètres de soudage choisis. [WPS.cf.annexe1, 2]

2) Identification des métaux de base et métaux d'apport :

A. Les métaux de base :

- Un acier au carbone du type A106 grade B selon le code ASME :

La composition chimique de notre acier est résumée dans le tableau 10.

Tableau 10: La composition chimique d'un acier au carbone de type A106 grade B suivant le code ASME.

Type d'acier	C	Si	Mn	S	P	Cr	V	Mo	Ni	Cu	Ti	Nb
A106	0.16	0.25	1.09	0.015	0.009	0.13	0.003	0.06	0.04	0.07	0.005	0.002

- Un acier inoxydable du type A358 grade TP316/316L selon le code ASME :

La composition chimique de notre acier est résumée dans le tableau 11.

Tableau 11: La composition chimique d'un acier inoxydable de type A358 grade 316L

Type d'acier	Cr	Ni	Mo	Mn	Cu	Co
A358	19.04	9.65	2.26	1.13	0.33	0.14

B. Les métaux d'apport (les électrodes) :

- Pour l'acier au carbone : le tableau 12 rassemble la composition chimique des électrodes utilisées :

Tableau 12: La composition chimique de métal d'apport pour l'acier au carbone.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Mo
0.20	0.32	0.80	0.013	0.006	0.03	0.71	0.039	0.01	0.01

- Pour l'acier inoxydable : le tableau 13 rassemble la composition chimique des électrodes utilisées :

Tableau 13: La composition chimique de métal d'apport pour l'acier inoxydable.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N2	Cu
0.027	0.65	0.55	0.017	0.013	18.29	2.37	12.06	0.075	0.08

III.1.3 Les procédés de soudage des pièces :

Les opérations de soudage sont réalisées au niveau de l'atelier de soudage au GTP (grand travaux pétroliers) par des soudeurs qualifiés. Les procédés de soudage utilisés GTAW+SMAW manuel :

- **Le pipe au carbone :** est soudé sans faire une chambre à gaz avec trois passes de soudage par des paramètres résumés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Technique d'exécution du joint et caractéristiques électriques pour l'acier au carbone. [WPS.cf. annexe]

Passe	Pénétration	Bourrage	Finition
Procédé de soudage	GTAW	GTAW	SMAW
Position de soudage	6G	6G	6G
Courant polarité	DC (-)	DC (+)	DC (+)
Métal d'apport	ER 70S-6	E 7018-1	E 7018-1
Electrode (mm)	WT 2.4		
Fil (mm)	2.0-2.4	2.5-3.2	2.5-3.2
Gamme d'intensités (A)	100-120	80-140	80-140
Gamme de tension (V)	10-21	20-28	20-28
Vitesse d'avance (cm/mn)	4-9.5	5-12	5-12
Energie (kj/cm) Max	18.36	35	35
Gaz	99.99%		
Débit (l/min)	12-20		



(A) (B) (C)

Figure 42: Photos représentent le procédé de soudage d'un acier au carbone
(A) soudage de la 1ére passe, (B) bourrage, (C) finition

- La température entre passes :
  - Entre passe de pénétration et 2éme passe : T= 250 ◦c max
  - Autres passes : T= 250 ◦c max.

➢ **le pipe inoxydable:** est soudé sous atmosphère contrôlée avec les étapes suivantes :

- une chambre a gaz faite de pièce en éponge mise de chaque coté de la zone à souder ;
- une des extrémités est reliée à un flexible d'alimentation en gaz inerte (argon) et l'autre extrémité à un file galvanisé pour pouvoir extraire l'oxygène ;
- On laisse l'opération d'inertage avant le soudage pendant 10 min pour garantir l'élimination total de l'oxygène ;
- Ensuite on soude avec inertage en cours jusqu'à la fin de la 1ére passe
- Enlèvement de la protection par le gaz inerte.
- Finalement, le soudage se fait avec trois passes dont les conditions respectent les données citées dans le tableau 15.

Tableau 15: Technique d'exécution du joint et caractéristiques électriques pour l'acier inoxydable. [WPS.cf.annexe]

Passes	Pénétration	Bourrage	Finition
Procédé de soudage	GTAW	SMAW	SMAW
Position de soudage	6G	6G	6G
Courant et polarité	DC (-)	DC (+)	DC (+)
Métal d'apport	ER 316L	E 316L-16	E 316L-16
Electrode (mm)	WT 2.4	2.5-3.2	2.5-3.2
Fil (mm)	2.0-2.4		
Gamme d'intensité (A)	100-110	80-120	80-120
Gamme de tension (V)	10-12	21-29	21-29
Vitesse d'avance (cm/mn)	4-9	5-12	5-12
Energie (kj/cm) max	13.14	13.88	13.28
Gaz	Ar 99.995 °/°		
Débit (l/min)	12-20		

- La température entre passe :
  - entre passe de pénétration et 2éme passe : T= 175 °c Max.
  - autre passe : T= 175 °c.



(A)



(B)

Figure 43 : Photos expriment le procédé de soudage de pipe inoxydable. (A) la chambre à gaz ; (B) le soudage de pipe par position 6G

III.2 Les contrôles non destructifs :

Le Contrôle non destructif a pour objectif de mettre en évidence les défauts, tout en préservant l'état de la pièce, le (CND) a pour but de rechercher les défauts internes ou superficiels des structures, matériaux, pièce et assemblage.

III.2.1 Contrôle par ressuage :

1) Le principe de contrôle :

Le contrôle par ressuage permet de détecter des défauts de compacité, parfois très fins, débouchant en surface et non obstrués (fissures, porosités, replis, manque de liaison) sur des matériaux métalliques non poreux et non absorbants. Ce 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. Après élimination de l'excès de pénétrant sur la surface des pièces, l'apparition visuelle des défauts est réalisée par l'application d'un révélateur qui pompent le pénétrant retenu dans les discontinuités des défauts.

2) L'application des produits sur les échantillons:

Le ressuage peut être résumé en six étapes suivantes :

- Préparation de la surface par pulvérisation du solvant qui élimine les polluants;
- On enduit ensuite les pièces à contrôler de pénétrant rouge pendant 15 min;
- On lave les pièces pour éliminer l'excès de pénétrant sur la surface;
- On sèche les pièces à l'aide de chiffons propres et secs;
- On applique ensuite le révélateur;
- On examine enfin les pièces sous lumière naturelle et établir finalement un rapport de contrôle.



(A) (B) (C) (D)

Figure 44 : Photos représentent les étapes de ressuage

(A) L'application de pénétrant sur l'acier inoxydable ; (B) l'application de pénétrant sur l'acier au carbone ; (C) l'enduit de révélateur sur les deux pièces ; (D) les trois produits de ressuage.

III.2.2 Contrôle par magnétoscopie :

1) Principe de contrôle:

La magnétoscopie est une technique de contrôle non destructif qui consiste à créer un champ magnétique important (> 2400 A / m) qui traverse la pièce à contrôler jusqu'à saturation magnétique avec l'application simultanée en surface d'une liqueur magnétique colorée constituée de traceurs comme produit indicateur. En présence d'un défaut plan ou volumique, les lignes de force du champ sont déviées et accumulent la poudre magnétique au droit du défaut pour le rendre visible à l'œil nu. La perpendicularité du défaut par rapport aux lignes du champ magnétique accentue la sensibilité de détection du contrôle.

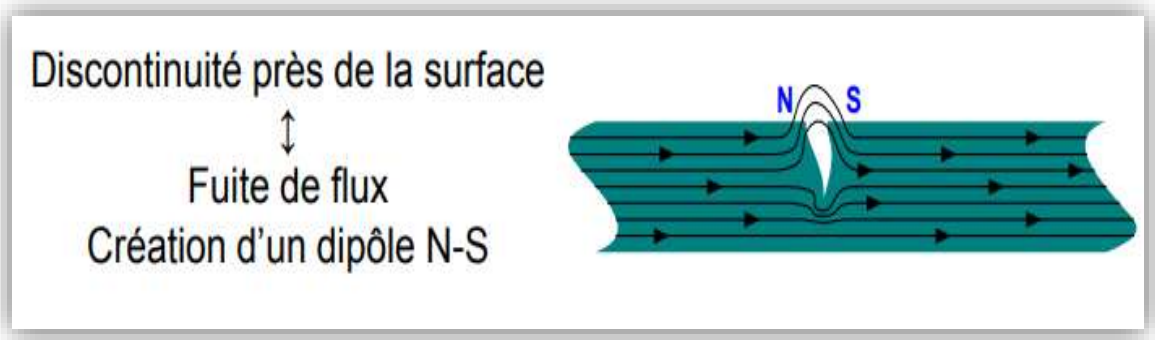


Figure 45: Schéma montre l'interaction entre le flux et la discontinuité.

2) **Méthodes d'aimantation :**

A. **Par circuit magnétique fermé :**

Un électro-aimant fixe ou portatif à pièces polaires fixes ou articulées est utilisé au contact de la pièce à contrôler. L'aimantation est longitudinale et l'induction B est parallèle à l'axe Nord-sud et à la direction de l'examen. Des défauts transversaux sont détectés.

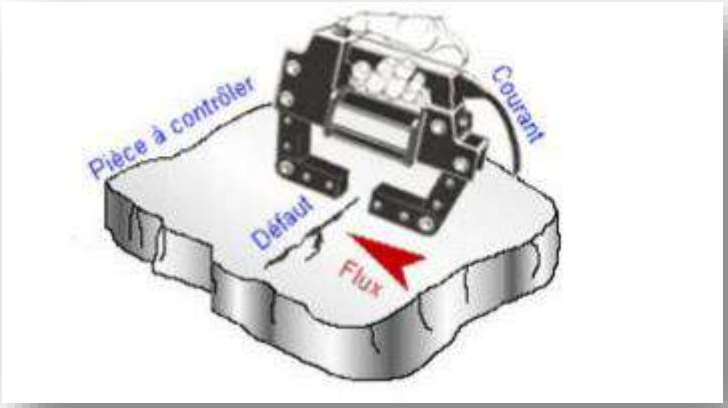


Figure 46: Contrôle par circuit magnétique fermé.

3) **Présentation de contrôle:**

Après le nettoyage de la surface de notre pièce, et l'application de révélateur par pulvérisation un indicateur composé des grains magnétiques très fins est appliqué sur la surface à examiner pendant l'aimantation le produit indicateur coloré est attiré a l'endroit des défauts par les forces magnétiques pour former des indications.

Les indications sont d'autant mieux détectées qu'elles se situent perpendiculairement aux lignes de force du champ magnétique.



Figure 47: Contrôle magnétoscopie par circuit fermé.

III.2.3 Contrôle par radiographie :

Dans les méthodes de contrôle non destructif, la radiographie est la méthode la plus utilisée par ce qu'elle permet de détecter les différents défauts internes et les plus profonds sans affecter le matériau avec des qualités d'images claire.

1) Principe du contrôle radiographique ou gammagraphie:

Le contrôle radiographique par rayonnements ionisants (X ou δ) permet de détecter des défauts de compacité internes 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 δ qui émettent des rayonnements ionisants, de films radiographiques ou d'une caméra pour l'acquisition numérique de l'image transmise placés sur la face inverse au rayonnement. Les rayons électromagnétiques de faible longueur d'onde sont partiellement absorbés par les hétérogénéités du milieu en 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 émis et donc à une variation de la densité optique du film au droit de l'image du défaut [57].

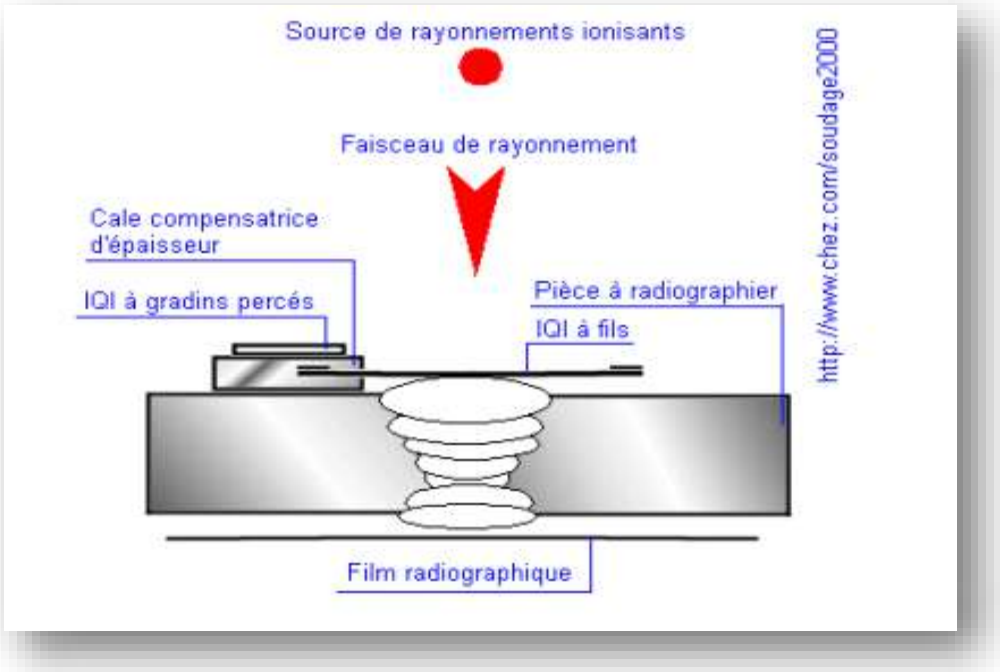


Figure 48: Représentation simplifiée de la technique radiographique.

2) Présentation de procédé :

La radiographie est réalisée selon les étapes suivantes :

- D'abord il faut entourer la pièce par une bande a chiffré ;
- Après La source des rayons placer au contacte par la pièce ;
- Ensuite les films posés au-dessous de la pièce ;
- Enfin la pièce tirer par des rayons X.

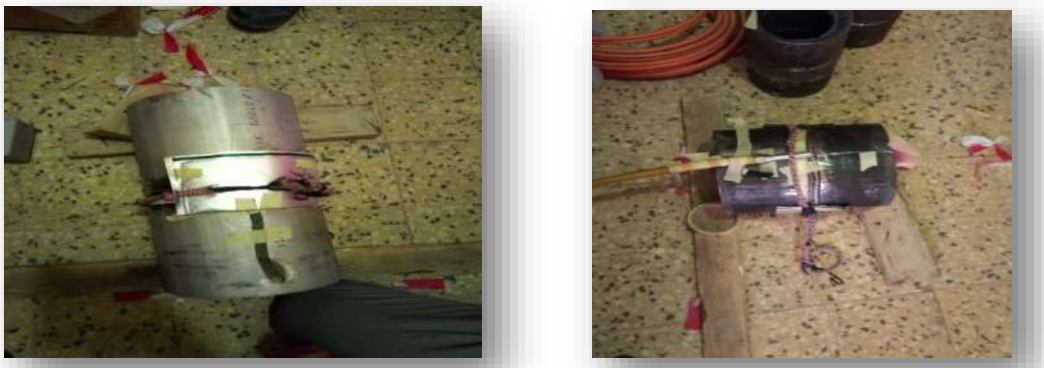


Figure 49: Photos exprime le procédé de contrôle radiographique.

3) Calcule du temps d'exposition :

Le temps d'exposition s'exprime par la relation suivante : [annexe]

$$t = \frac{Q.D^2.K.N}{A}$$

t: temps d'exposition en heure.

Q : facteur d'exposition en Ci.h à 1m (cf. annexe)

D : distance source –film en mètre

K : coefficient de rapidité des films

N : facteur correctif de densité

A : activité de la source en Ci

4) Le développement des films :

Après l'opération précédente nous développons les films dans le laboratoire par les étapes suivantes :

- Les films posés dans le révélateur pendant 5 min
- Après dans un bain d'arrêt
- Ensuite, passés dans le fixateur pour fixer l'image
- Enfin les rincer et sécher.



Figure 50 : Laboratoire de développement des films de la radiographie.

5) Calcul de la densité des films :

La radiographie peut être décrite comme étant un examen qui utilise un faisceau de radiations pénétrantes dirigé vers la pièce à inspecter. Suivant la nature et la géométrie de la pièce, une portion plus ou moins importante du faisceau est absorbée par cette pièce. En créant une image de l'intensité de la radiation ayant traversée la pièce, des nuances de gris sont observées. Ces nuances correspondent à l'ombrage produit par les différentes structures (internes et externes) de la pièce inspectée.



Figure 51: Description des nuances correspondent à l'ombrage produit par les différentes structures.

On calcule la densité des films soit par la relation suivante :

$$D=\log \frac{I_0}{I_t}$$ [58]

I_0 : l'intensité de la radiation incidente sur le film.

I_t : l'intensité de la radiation transmise à travers le film.

Ou par le densitomètre :



Figure 52: Photo d'un densitomètre LCD51.

III.3 Traitement thermique :

Le traitement thermique d'une soudure comporte trois possibilités. Soit un préchauffage avant l'opération de soudage, soit une opération de traitement thermique de la soudure (c'est-à-dire une montée graduelle de la température avec différents paliers) soit un dimensionnement qui consiste à baisser lentement la température.

Cette succession d'opération permet de garantir une parfaite sécurité et fiabilité au niveau de la soudure en fonction des épaisseurs des tubes et de qualité des aciers.

III.3.1 Traitement thermique d'acier au carbone :

Le traitement thermique effectué est un recuit de détente ou de relaxation réalisé par ces étapes :

- Chauffage de joint de soudure jusqu'à 379.5 °c pendant 1h 30min avec une vitesse d'échauffement 25°C/h.
- Maintien pendant 1h à 379.5
- Refroidissement pendant 1h 30min avec une vitesse de refroidissement 25°C/h.

Notre méthode utilise un chauffage localisé par résistance électrique, cette opération est appliquée comme suit :

Un poste chauffage (STORCK) relié avec le pipe par des résistances électriques entourées par la laine de verre (figure 53)



Figure 53: Photos montre le procédé de traitement thermique.

III.4 L'analyse chimique :

Les analyses sont réalisées par analyse spectrale avec un spectromètre de type PV8050 (figure 54) disponible au niveau de laboratoire des essais mécanique de POVAL.



Figure 54: Photo d'un spectromètre de type PV8050.

III.4.1 Principe du procédé :

L'échantillon métallique soumis à une décharge électrique, émet un rayonnement lumineux. Un réseau diffracte la lumière en une certaine quantité de raies dont chacune est

caractéristique d'un élément contenu dans le métal. La quantité de chaque composant est déterminée par mesure de l'intensité lumineuse à l'endroit de la raie.

III.5 Etude métallographique:

III.5.1 Examen macrographique:

L'examen macrographique est un examen d'ensemble ; il met en évidence les hétérogénéités qui existent dans le métal ; il est donc particulièrement bien appliqué en soudage car cette opération entraîne dans l'espace métallique de nombreuses modifications structurales. Cet examen rend compte de la répartition thermique, c'est-à-dire qu'il localise et délimite les différentes zones ou se sont produits des phénomènes particuliers : la fusion, les évolutions des zones du cordon portées à des températures plus ou moins élevées.

1) **Préparation des échantillons:**

La préparation d'un échantillon pour un examen macrographique comprend les étapes suivantes:

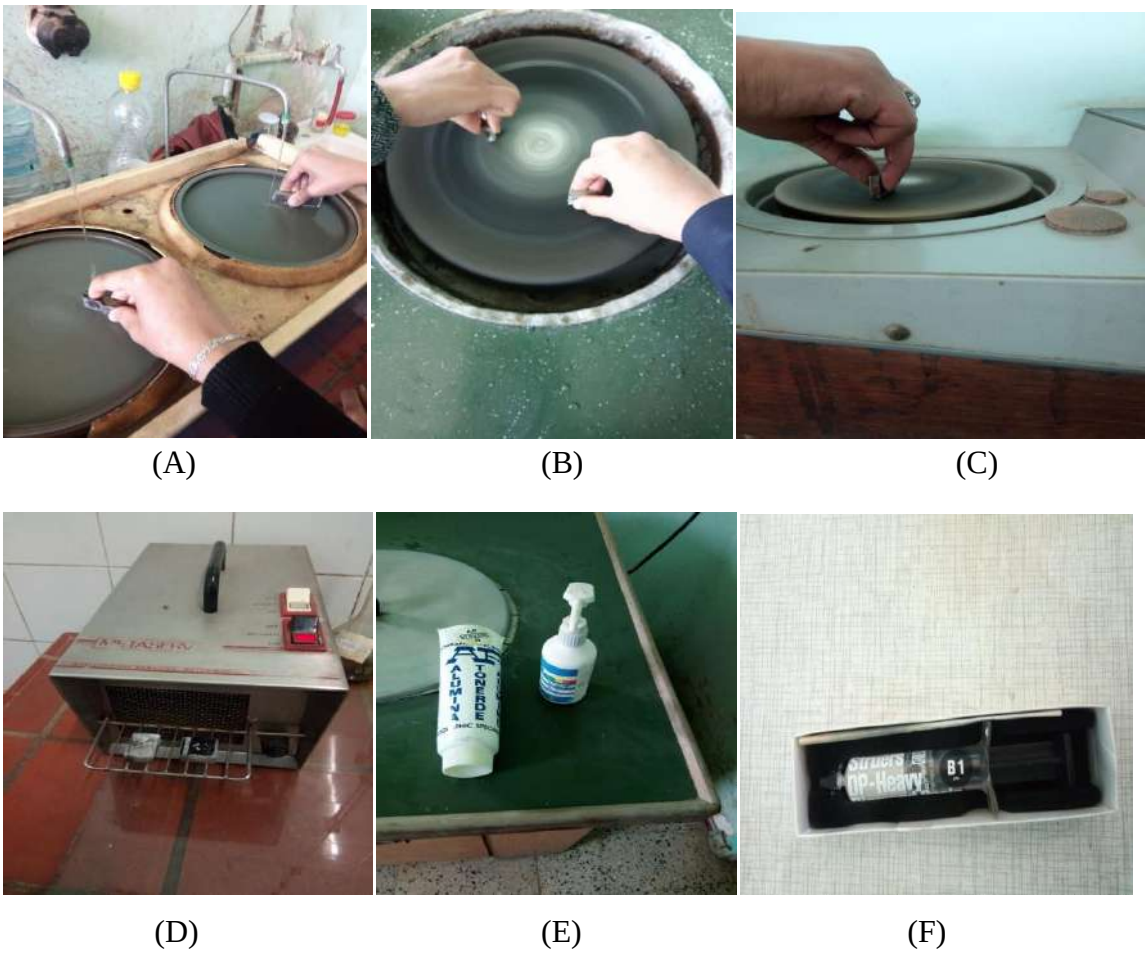
A. **Un dégrossissement à la meule :**



Figure 55: Photo montre l'étape de dégrossissement à la meule au niveau de POVAL.

B. Un Polissage:

L'opération de polissage consiste à faire passer l'échantillon à examiner sur différents papiers abrasifs dans un ordre croissant des grains, Puis au papier feutre couvert d'une pate d'alumine. Le polissage final se fait à l'aide de la pate diamantée.



(A) (B) (C)

(D) (E) (F)

Figure 56: Des photos expriment l'opération de polissage.

(A) Polissage par des différents papiers abrasifs, (B) le polissage pré-final, (C) la finition par la pâte diamanté, (D) séchage des échantillons, (E) l'alumine, (F) la pâte diamanté.

2) Une attaque chimique:

A. Préparation des solutions:[ASME.IX]

- **Pour l'acier inoxydable :**

La solution contient 50ml de HCL concentré + 20 ml eau avec une duré d'attaque = 5 min.

- **Pour l'acier au carbone :**

La solution contient 25% HNO_3 + 75% eau distillée avec une duré d'attaque = 3 min.



Figure 57: Photo représentant l'attaque chimique des deux échantillons (acier au carbone et acier inoxydable).

III.5.2 Examen micrographique :

Une telle étude micrographique s'impose afin de déceler une éventuelle influence des cycles thermiques sur les propriétés micro structurales du métal de base, de la ZAT et de la zone fondue.

1) **Préparations des échantillons :**

De la même manière que la macrographie les échantillons à examiner doivent être bien polis avant d'être attaqués par le réactif convenant.

2) **L'attaque chimique :** [AFNOR]

A. Préparation de réactif :

- **Pour l'acier au carbone :**

L'attaque se fait par le nital (2-5 ml d'acide HNO_3 dans 100 ml d'éthanol).

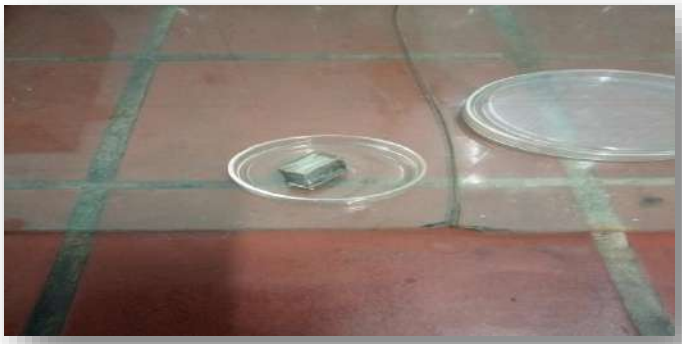


Figure 58: L'attaque chimique d'un acier au carbone.

- **Pour l'acier inoxydable :**

Le réactif se compose de : 10g chlorure ferrique + 30ml HCL +120ml d'eau.



Figure 59: Photo montre l'opération de l'attaque d'un acier inoxydable.

III.5.3 Observation par microscope optique :

L'examen métallographie à été effectué au niveau de laboratoire de POVAL. Cette technique nous permet de suivre l'évolution microstructural de l'échantillon. Le microscope utilisé peut agrandir l'image en 4 objectifs x4, x16, x40, x100 ; et équipé d'un appareil photo numérique qui peut aussi de zoomer l'image de x4 jusqu'à x16. Cette méthode nous permet d'observer les différentes phases présentes et commenter leurs morphologies respectives.



Figure 60: Représentation d'un microscope optique (Neophot 2).

III.6 Les essais mécaniques :

III.6.1 Essais de traction :

L'essai de traction est le moyen le plus couramment employé pour caractériser le comportement mécanique d'un matériau sous une sollicitation progressive à vitesse de chargement faible ou modérée. L'essai permet, en outre, l'étude et l'identification des mécanismes physiques de déformation plastique. Cette dernière, gouverne le processus majeur de mise en forme, par ou sans enlèvement de matière, des matériaux dans la plus part des procédés de fabrication utilisés dans l'industrie mécanique [59].

1) **La forme des éprouvettes :**

La forme et les dimensions des éprouvettes dépendent de la forme et des dimensions des produits métalliques dont on veut déterminer les caractéristiques mécaniques. L'essai de traction réalisée selon la norme API Standard 1104.



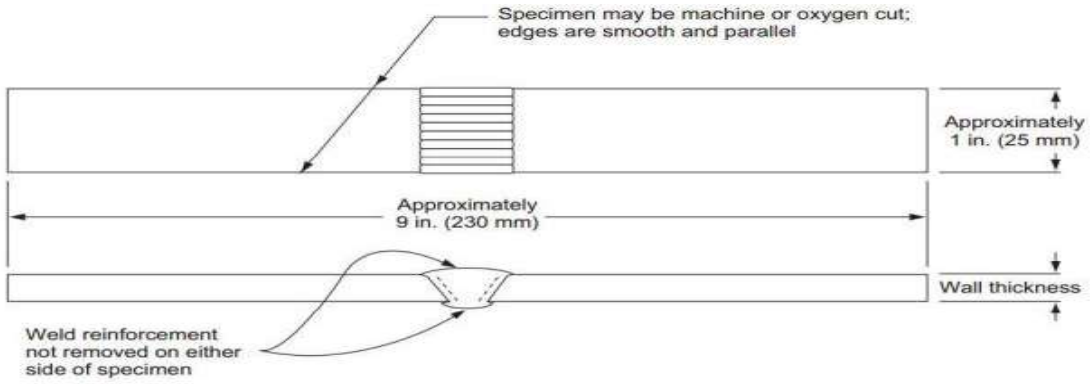


Figure 61: Schéma d'une éprouvette normalisée pour l'essai de traction.

2) Exécution de l'essai :

Les essais de traction ont été effectués au sein du laboratoire des essais mécaniques de POVAL. La machine d'essai utilisée est une machine universelle ZD 40 et qui est constituée d'un bâti rigide qui comprend une traverse fixe sur laquelle est montée l'une des têtes de l'éprouvette. L'autre extrémité de l'éprouvette est fixée à une traverse mobile dont le mouvement est assuré par commande hydraulique (figure 62).

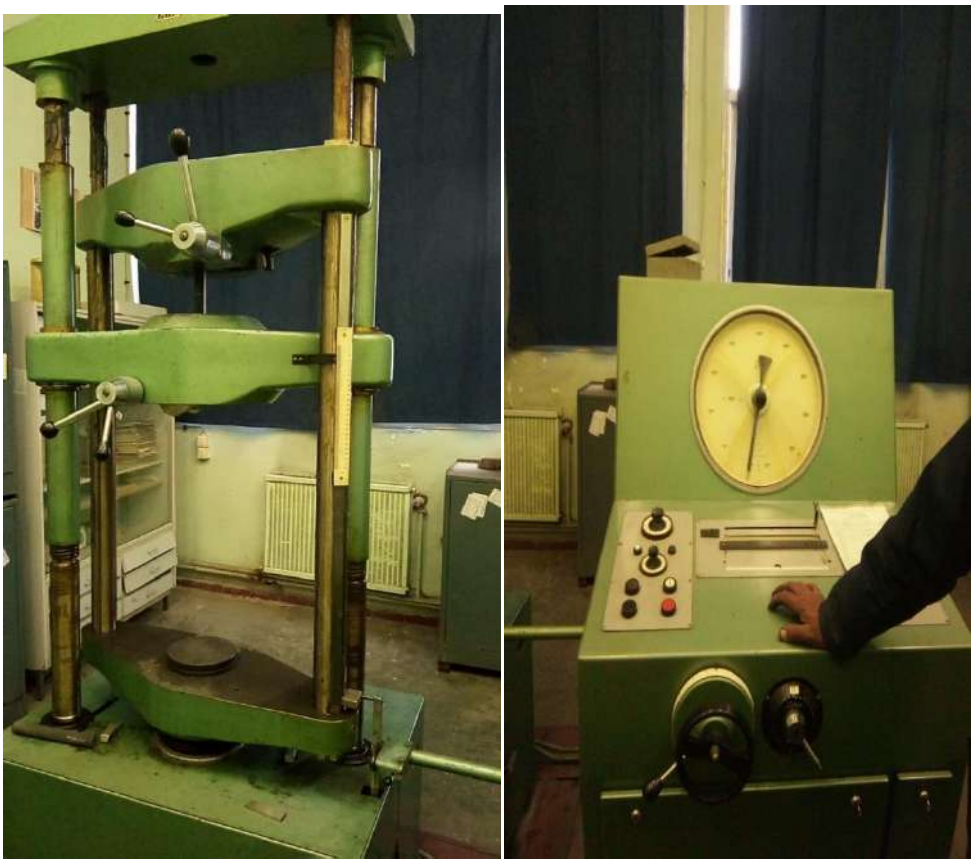


Figure 62: Machine de traction universelle.

III.6.2 L'essai de résilience :

Les caractérisations mécaniques déduites de l'essai de traction peuvent être insuffisante car des ruptures peuvent être obtenues en dessous de la limite d'élasticité dans des conditions particulières rendant le matériau à l'état fragile. L'essai de résilience est un complément essentiel de l'essai de traction. L'essai de flexion par choc, nommé aussi de résilience, sur éprouvette entaillée Charpy a pour but de mesurer la résistance d'un matériau à la rupture brutale.

1) La forme des éprouvettes :

Les éprouvettes que nous avons utilisées pour effectuer l'essai sont des éprouvettes normalisées. C'est à dire que leurs caractéristiques sont indiquées par une norme. Pour réaliser l'essai, il est nécessaire de faire une entaille normalisée [60].

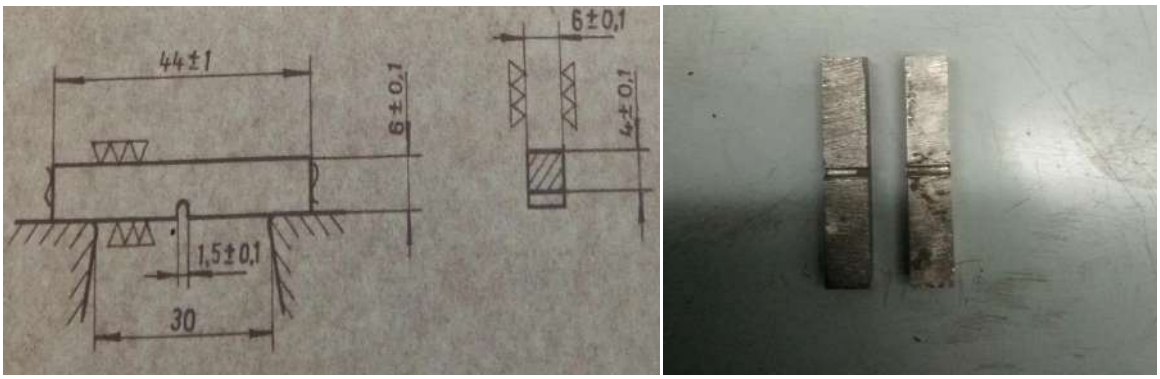


Figure 63: Schéma représentative d'une éprouvette entaillée pour l'essai de flexion au choc suivant AFNOR.

2) Exécution de l'essai :

Un marteau de masse m est fixé à l'extrémité d'un pendule (Figure 64). Ce pendule peut tourner dans le plan vertical autour d'un axe horizontal. L'éprouvette repose sur un support et se trouve au point le plus bas sur la trajectoire du marteau. Pour effectuer un essai, on écarte le bras jusqu'à ce que le marteau atteigne sa position initiale P et on le lâche. Quand le pendule vient frapper l'éprouvette, il a une énergie cinétique qui est égale à l'énergie potentielle qu'il avait à sa position de départ mgh0, h étant la hauteur du marteau par rapport à sa position d'équilibre. Après la rupture, le marteau remonte [61].



Figure 64: Machine d'essai de résilience VEB

III.6.3 Essai de dureté :

1) Les éprouvettes :

La surface de l'éprouvette doit être propre, plane et lisse soigneusement préparée. Plus des dimensions du pénétrateur sont petites, plus l'état de la surface doit être lisse. Une application du polissage en mode automatique est parfois obligatoire. La préparation de l'éprouvette doit être faite sans provoquer des altérations des propriétés du matériau dues, par exemple, au chauffage ou à, l'écrouissage. L'épaisseur de l'éprouvette doit être suffisante pour qu'aucune trace d'une déformation ne soit visible sur la surface opposée à celle de l'application de la – è charge. D'après une règle générale, l'épaisseur minimale est au moins dix fois supérieure à la profondeur de l'empreinte [59]

2) Essais de Brinell :

A. Execution de l'essai :

Nous employons pour l'execution de l'essai un duromètre qui est suffisamment rigide et stable. L'essai doit être fait sans choc et sans vibrations, autrement les résultats sont erronés. L'éprouvette doit être installée sur un support rigide du dispositif pendant l'action de la charge. L'essai appliqué est la dureté Brinell.



Figure 65: Un duromètre Brinell.

3) Essai de Vickers :

A. Exécution de l'essai :

Le teste de dureté Vickers est réalisé par un durométre de marque Rathenow (figure 66) à cône Vickers.



Figure 66: Durométre Vickers marque Rathenow.

IV.1 Les contrôles non destructifs :

IV.1.1 Contrôle par ressuage :

Les résultats obtenus de ressuage sont représentés dans la figure 67.



(A) **(B)**

Figure 67: Résultats de ressuage pour les joints de soudures
(A) joint d'acier au carbone, (B) joint d'acier inoxydable.

D'après les images de la figure 5 nous remarquons :

- Dans l'image (A) Apparaissions des petits points rouge foncé ce qui implique il ya des simples piqures au niveau de notre joint a cause des impuretés et selon la norme ASME B31.3 ces piqures sont acceptables.
- Dans l'image (B) n'existe pas des défauts.

IV.1.2 Contrôle par magnétoscopie :

Le contrôle par magnétoscopie est appliqué juste sur les aciers au carbone par ce qu'ils sont des matériaux ferromagnétiques par contre que les aciers inoxydables qu'ils sont des matériaux paramagnétiques.



Figure 68: Photo montre les résultats de contrôle par magnétoscopie**.**

D'après ce contrôle nous remarquons qu'il n'ya aucune trace ça veux dire n'y a pas de défauts.

IV.1.3 Le contrôle par la technique radiographique :

Les figures 69, 70 représentent des filmes développés pour les joints de soudure d'un acier au carbone et acier inoxydable observés par un négatoscope (LED FILM VIEWER 1040).



(A) (B) (C)

Figure 69: Les films développés de pipe inoxydable.



(A) (B) (C)

Figure 70: Les films développés de pipe au carbone.

Interprétation de la figure 69:

(A): [00-25] → accepté

(B) : [25-50] → accepté

(C) : [50-00] → accepté

Interprétation de la figure 70:

(A) : [00-25] → accepté

(B) : [25-50] → accepté

(C) : [50-00] → accepté

Dans nos échantillons ya pas des défauts et selon le code ASME les joints sont acceptés. Ce qui confirme les résultats des contrôles précédents et la bonne qualité des joints.

IV.2 Traitement thermique :

Le traitement thermique de l'acier A106 se fait après le soudage pour but de réduire les contraintes internes créées durant celle-ci et d'affiner les grains. Ce procédé permet d'améliorer la résistance mécanique des pièces traitées, de rétablir les valeurs de résilience et de rendre l'acier moins fragile, plus ductile. La dureté diminue également quelque peut.

Nous le réalisons aussi pour diminuer les dislocations, et donc relaxer l'énergie élastique stockée pendant la déformation : en augmentant la température, on augmente aussi la diffusion et donc les dislocations vont disparaître. On fait un adoucissement du métal ; ce phénomène porte le nom de restauration. Si le taux de déformation est important et la température suffisamment élevée, on peut même avoir une recristallisation.

Nous obtenons de cette opération sur la courbe suivante :

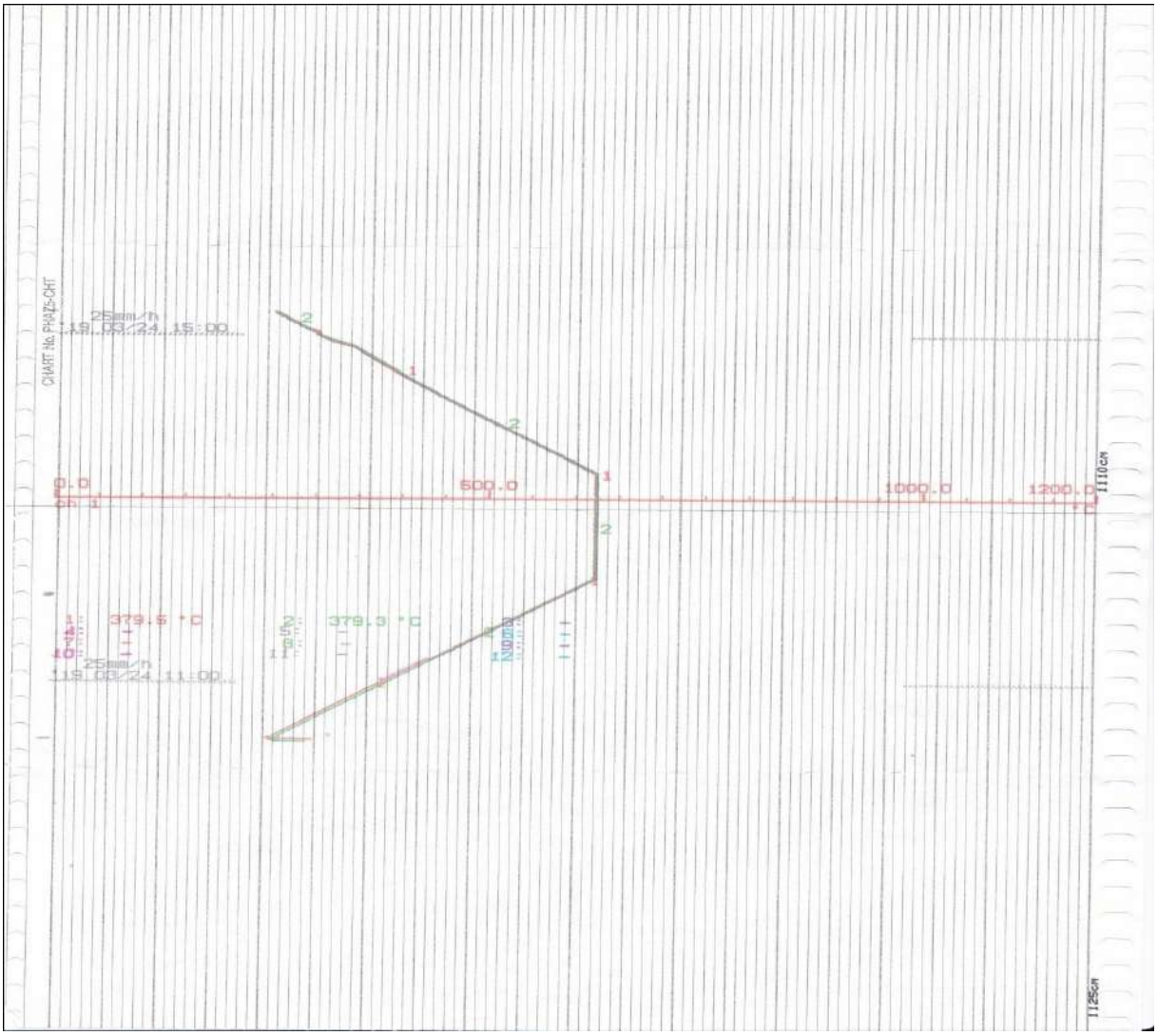


Figure 71 : courbe obtenue après un traitement thermique de l'acier A106.

Cette courbe se répartie en trois parties :

- Partie 1 : Le chauffage de joint de soudure jusqu'à 379.5 permet de réduire la taille des grains pour homogénéisé l'état de phase et supprimer les micros et macro hétérogénéités de la composition chimique.
- Partie 2 : Le maintien pendant 1h 30min permet de supprimer et relaxer les contraintes internes dues au cycle thermique de soudage.
- Partie 3 : Le refroidissement afin de stabiliser la phase.

IV.3 L'analyse chimique :

A l'aide de spectromètre les compositions chimiques de nos aciers ont été déterminées. Le tableau 16 représente les compositions chimiques des aciers utilisées.

Tableau 16: Les compositions chimiques des deux échantillons.

Type d'acier	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni
Acier inoxydable A358	0.06	0.90	0.98	_	0.013	18.13	_	11.33
Joint de soudure relatif au A358	0.22	0.87	1.20	_	0.040	17.98	_	13.39
Acier au carbone A106	0.26	0.20	0.48	_	0.011	0.066	_	0.10
Joint de soudure relatif au A106	0.22	0.23	0.70	_	_	0.054	_	0.10

Pour confirmer la validité des résultats d'analyse chimique d'acier inoxydable et son joint de soudure nous avons utilisé l'appareil de PMI de type X-MET 8000 figure72. Les résultats sont regroupés dans le tableau 17.

Tableau 17: Les résultats obtenus par l'appareil PMI pour l'acier A 358.

Le point analysé	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Cu	Co	Ti
Métal de base d'acier A358	67.45	19.04	9.65	2.26	1.13	0.33	0.14	_
Joint de soudure	67.50	18.88	10.01	2.42	1.87	0.18	_	0.14



Figure 72: Photographie de l'appareil de PMI de type X-MET 8000.

- D'après les tableaux 16, 17 nous constatons que l'acier A106 et l'acier A 358 ont une faible teneur en carbone.
- La teneur en carbone dans l'acier A358 est inférieur au teneur en carbone dans l'acier A106, cela explique que l'acier A106 plus dure que l'acier A358 [4].
- La faible teneur en carbone est nécessaire pour améliorer la soudabilité et la résilience de l'acier.
- La teneur des éléments d'alliage dans l'acier A106 ne dépasse pas 5%, donc cet acier est faiblement allié [6].
- La teneur des éléments d'alliage dans l'acier A358 dépasse 5%, donc cet acier est fortement allié [8].
- Les compositions de métaux de bases sont compatibles avec les compositions de leurs joints de soudure.
- les résultats d'analyse chimique et de PMI sur le métal de base et le métal déposé de nos aciers et sont concorde très bien avec l'exigence du code ASME.

IV.4 Etude métallographique :

Le microscope métallographique permet d'examiner par réflexion les surfaces métalliques, et de nombreux procédés d'illumination sont utilisés pour interpréter les structures non seulement de façon qualitative, mais aussi, et de plus en plus, de manière quantitative. Avant de passer en revue les différentes techniques, il faut distinguer la macrographie, ou examen des surfaces avec des grossissements très faibles technique souvent précieuse pour mettre en

évidence des hétérogénéités de structure à l'échelle de la pièce examinée, de la micrographie qui a pour but d'examiner les détails de la structure dans la limite du pouvoir séparateur du microscope optique

IV.4.1 Examen macrographique :

L'observation des macrographies permet de faire le point sur l'évolution de l'étendue de la ZAT et de la zone fondue.

Les différentes zones révélées par l'attaque chimique sont observées dans la figure73 :

- La zone de métal fondue MF
- La zone de liaison ZL
- La zone affectée thermiquement ZAT
- Le métal de base MB

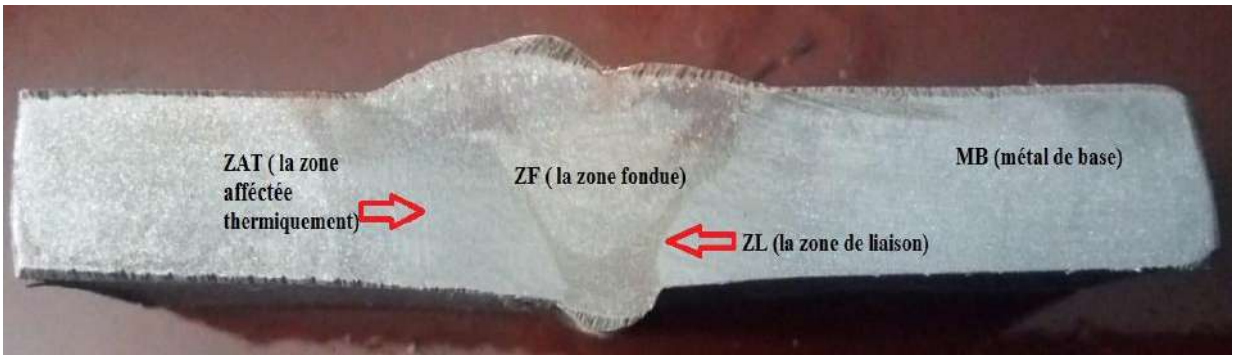


Figure 73: Photo représentatif de la macrographie d'acier A106.

Pour des géométries de joints soudés données, les structures de solidification sont à la fois dépendante de la vitesse de soudage et de l'énergie de soudage apportée (cf. chapitre II). Dans le cas de nos échantillons, la forte énergie spécifique mise en jeux et la vitesse de soudage rapide ne vont pas favoriser la croissance colonnaire des grains (figure74). Ces maquettes sont caractérisées par des passes pénétrés et bombées avec une structure en éventail. Le bas de passe se distingue par la présence des petits grains sans orientation préférentielle : nous pouvons supposer qu'une fois le gradient thermique est suffisamment élevé la croissance planaire sera favorisée. En haut du cordon, les grains sont de tailles plus importantes et plus allongés à cause d'un gradient thermique plus faible et du phénomène de croissance sélective.



Figure 74: Une maquette de macrographie d'un acier A358.

IV.4.2 La micrographie :

Des micrographies représentatives prises dans les cordons de soudure et les métaux de bases

1) **L'acier A106 :**

A. **Métal de base :**

D'après les observations métallographiques, nous avons constaté qu'il existe deux phases. Une phase riche en carbone montrée sombre dans la figure 74 ce qui signifiée l'existence d'une solution solide dont la teneur en carbone est majoritaire. Une deuxième phase claire est observée dans la microstructure qui représente la cémentite.



Figure 75: Microstructure de métal de base A106 avec un grossissement X10.

B. Joint de soudure :

La figure76 explique la division des grains en plusieurs grains après l'établissement d'un traitement thermique.



Figure 76: Microstructure de joint de soudure A106 avec un grossissement X10.

2) L'acier A358 :

A. Métal de base :

La figure 77 montre les résultats d'observation optique de la microstructure de l'acier A358 dont le grossissement atteint 10 fois. Cette micrographie montre une structure austénitique, avec des macles légendées sur la figure. Une distribution des grains est uniforme avec une géométrie polygonale dont des joints de grains sont apparentes. Aussi bien, la figure 78 montre la microstructure du métal déposé avec le métal de base qui sont illustrés par deux zônes.

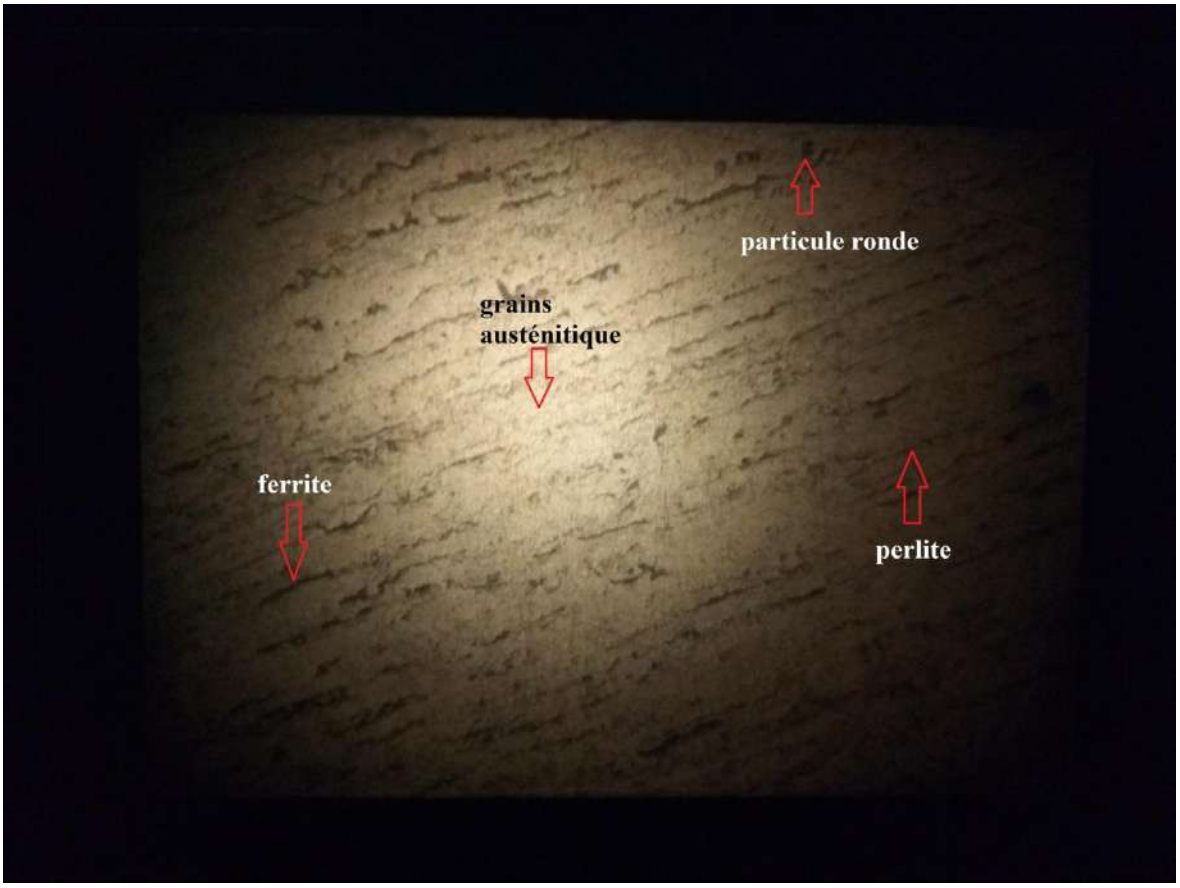


Figure 77: Microstructures de métal de base(MB) A358 avec un grossissement X10.

B. Joint de soudure :

Le joint de soudure de l'acier A358 présente une microstructure très fine par rapport à la structure de MB.



Figure 78: Microstructure de joint de soudure A358 avec un grossissement X10.

IV.5 Les essais mécaniques :

IV.5.1 Essai de traction :

Les propriétés mécaniques de traction pour les joints de soudures des aciers A358, A106 ont été mesurées dans le sens longitudinal à une température ambiante. Quatre courbes de traction correspondantes à des éprouvettes normalisées à base des aciers A358 et A106 ont été représentées respectivement dans les figures 78, 79, 80 et 81. Les résultats des essais en question ont été repostés dans les tableaux 18, 19, 20, 21. Le dépouillement des résultats obtenus lors de notre étude nous a permis d'évaluer les limites d'élasticités, plasticité, la contrainte de la rupture ainsi que le module de Young E.

Tableau 18: Les valeurs des essais de traction uniaxiale de l'acier A358.

	La contrainte σ(MPa)	ε %	F (N)	ΔL (mm)
Acier inoxydable A358	18.2	0	3922.66	0
	237.18	6	50994.6	5
	392.2	1.2	84337.2	10
	447	1.8	96105.2	15
	469.8	2.4	101008.5	20
	497.1	3	106892.5	25
	515.4	3.6	110815.1	30

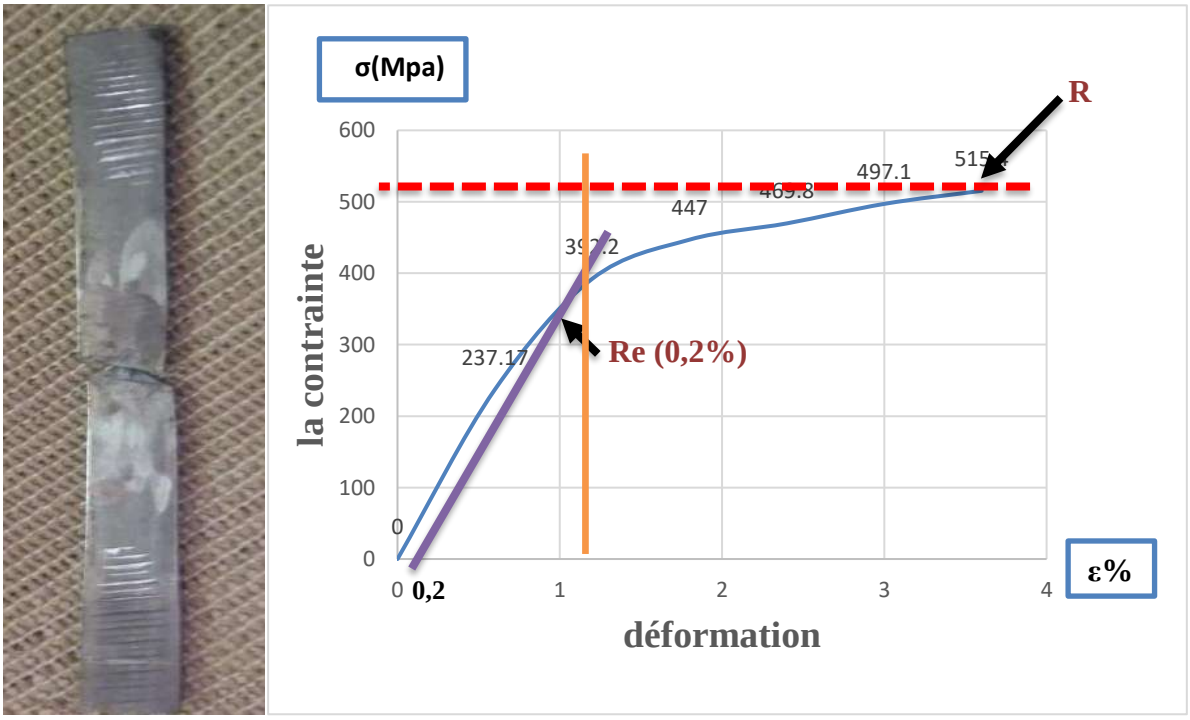


Figure 79: Courbe représente la contrainte versus la déformation de l'acier A358.

D'après cette courbe, nous avons remarqué qu'il y a deux parties notés I et II. La première partie est relative au domaine élastique dont l'acier est susceptible de revenir à son état initial. En revanche, la seconde partie est relative au domaine plastique. Ce dernier est limité par une

contrainte de plasticité limite qui représente le seuil de la rupture de l'éprouvette qui a servi à l'essai de traction uniaxial.

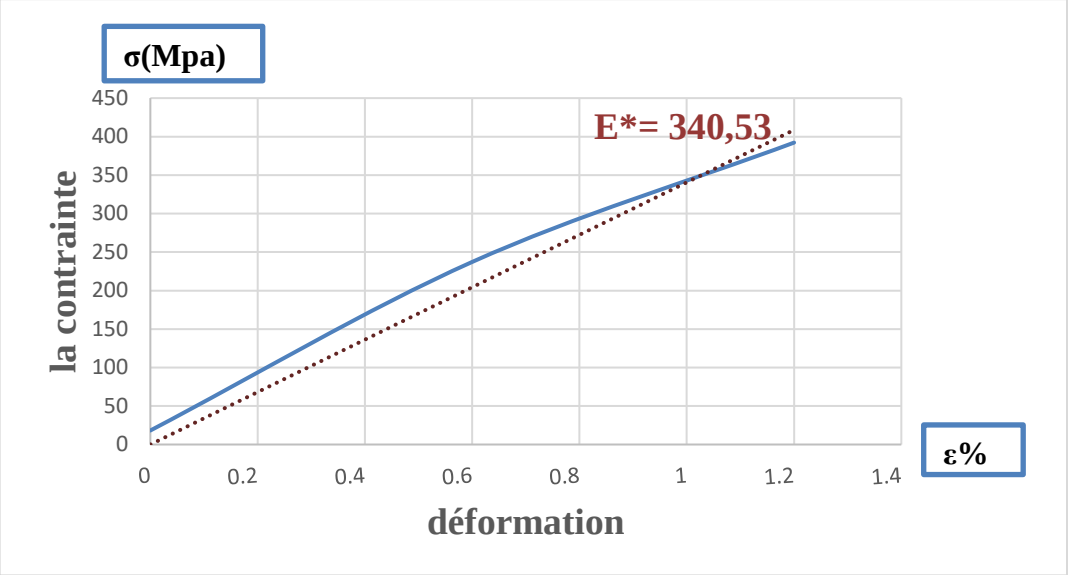


Figure 80: Courbe de traction pour obtenir le module de Youg relative de l'acier A358.

Tableau 19: Les résultats de tractions pour l'acier A358.

	Acier A358
La zone calibré initial L_0 (mm)	82
La zone calibré final L_f (mm)	103
Largeur initial l_0 (mm)	25
Largeur final l_f (mm)	21
La section initiale S_0	215
La section finale S_f	147
Epaisseur initial (mm)	8.6
Epaisseur final (mm)	7
L'allongement A %	25.60
Coefficient de striction Z %	31.62
La limite élastique Re (MPa) Déduite au cours de la présente étude	392.2
La limite à la rupture Rm (MPa) Déduite au cours de la présente étude	515
Module de Young E (MPa)	340.53

L'essai de traction uniaxial nous a conduit de déterminer expérimentalement la valeur de module d'Young E=0,58MPa.

Tableau 20: Les valeurs de traction pour l'acier A106.

	La contrainte σ(MPa)	ε %	F (N)	ΔL (mm)
Acier au carbone A 106	0	0	0	0
	145.59	0.6	31381.28	5
	282.79	1.2	60801.23	10
	337.53	1.8	72569.21	15
	360.33	2.4	77472.53	20
	369.45	3	79433.86	25

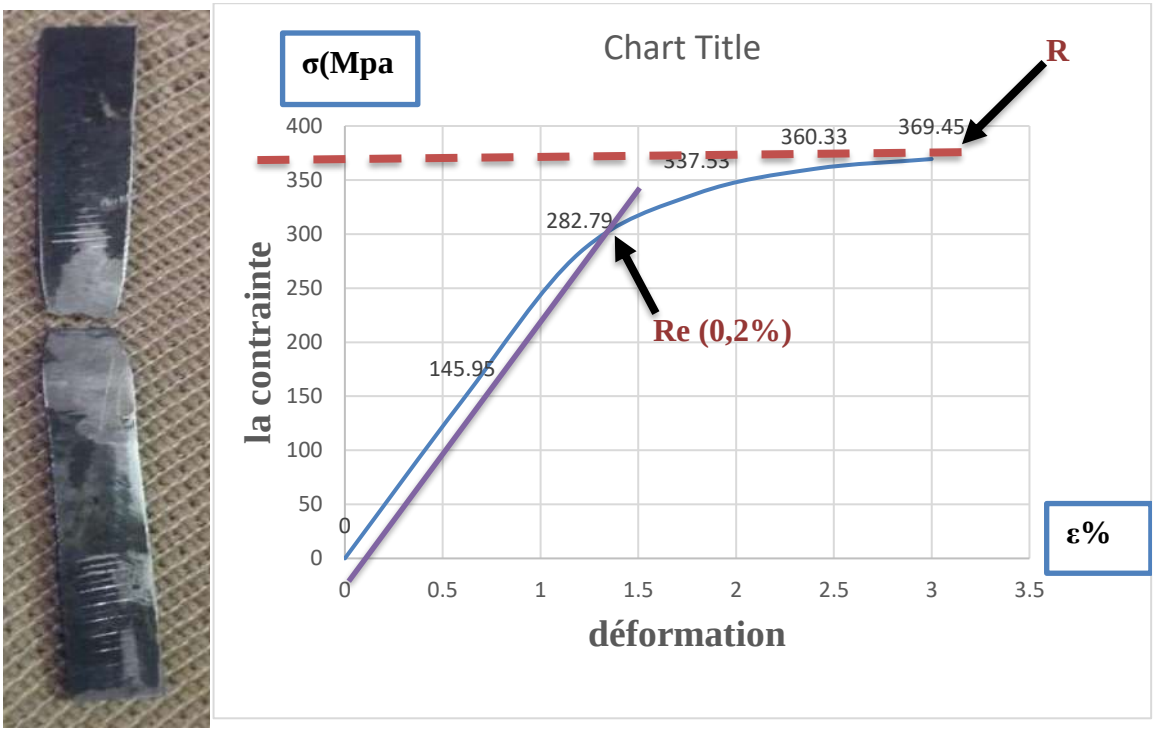


Figure 81: Courbe de contrainte-déformation pour l'acier A106

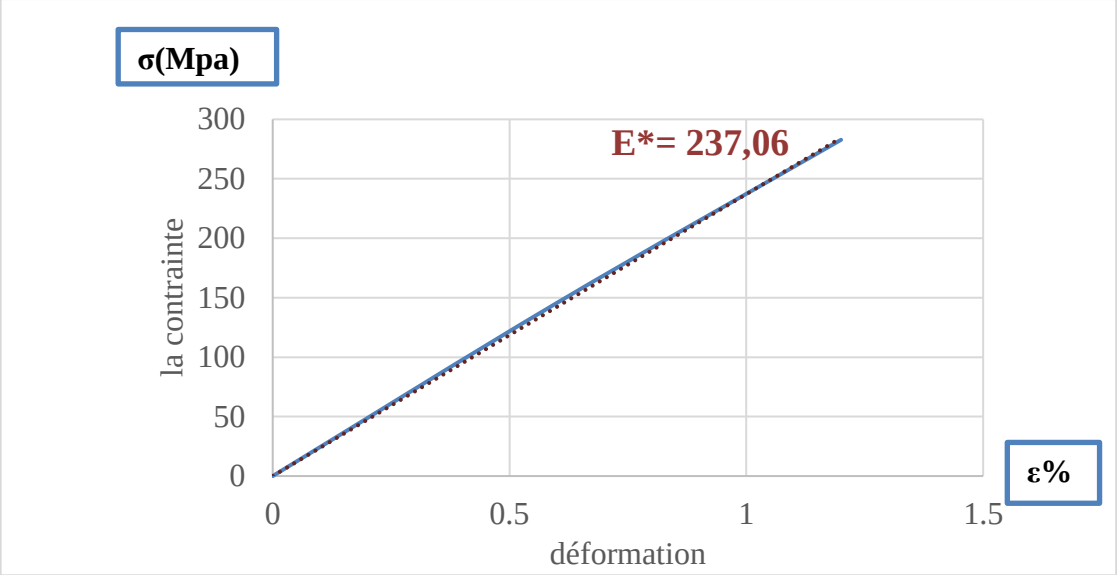


Figure 82: Courbe de traction pour obtenir le module de Youg relative de l'acier A106.

Tableau 21: Les résultats de traction pour l'acier A106.

	Acier A106
La zone calibré initial L_0 (mm)	82
La zone calibré final L_f (mm)	97
Largeur initial l_0 (mm)	25
Largeur final l_f (mm)	20
La section initiale S_0	215
La section finale S_f	120
Epaisseur initial (mm)	8.6
Epaisseur final (mm)	6
L'allongement A %	18.29
Coefficient de striction Z %	44.18
La limite élastique Re (MPa) Déduite au cours de la présente étude	282.79
La limite à la rupture Rm (MPa) Déduite au cours de la présente étude	369.45
Module de Young E (MPa)	237.06

IV.5.2 Essai de flexion :

Les caractérisations mécaniques déduites de l'essai de traction peuvent être insuffisante car des ruptures peuvent être obtenues en dessous de la limite d'élasticité dans des conditions particulières rendant le matériau à l'état fragile. L'essai de résilience est un complément essentiel de l'essai de traction. L'essai de flexion par choc, nommé aussi de résilience, sur des éprouvettes entaillées Charpy a pour but de mesurer la résistance des aciers à la rupture brutale.

Les résultats obtenus de flexion pour chaque type d'éprouvette sont présentés dans les tableaux 22,23 pour les joints de soudures des aciers A358, A106.



Figure 83: Photographie de quelques éprouvettes qui ont servis aux essais de flexion des aciers A358 et A106.

Tableau 22: Les résultats de flexions pour l'acier A358.

	L'acier inoxydable A358
La section S (cm^2)	0.36
La charge m (kg)	30
La résilience (J)	4.2
L'énergie absorbée (J/cm^2)	1.512

Expérimentalement, nous avons trouvé une énergie absorbée par nos matériaux étudiés lors de l'essai de flexion qui vaut 1.512 J/cm^2. Cette valeur est considérable par rapport à la littérature.

Tableau 23: Les résultats de flexion pour l'acier A106.

	L'acier au carbone A106
La section S (cm^2)	0.36
La charge m (kg)	30
La résilience (J)	2
L'énergie absorbée (J/cm^2)	0.72

De vue des résultats de flexion nous remarquons que la résilience et l'énergie absorbée de l'acier A358 sont supérieures à la résilience et l'énergie absorbée de l'acier A106. Et de là nous concluons que l'acier A358 plus ductile que l'acier A106 et Ce qui confirme les conséquences de tractions.

IV.5.3 Essai de dureté :

Les unités des résultats d'essai sont en kg/mm^2

1) Dureté Brinell :

Les résultats obtenus en faisant des mesures sur différentes zones sont récapitulés dans les tableaux 24, 25, 26 et 27. Nous utilisons les notations suivantes pour différencier entre les différentes zones :

- **MB :** métal de base
- **MD :** métal déposé
- **ZAT :** zone affectée thermiquement

Tableau 24: Les valeurs de dureté Brinell pour l'acier A358.

Zone	**MB**			**MD**			**ZAT**		
Point	1	2	3	1	2	3	1	2	3
HB	147	163	156	187	188	200	199	213	212
moyenne	155.33			191.66			208		

3 essais sont appliqués dans chaque zone après nous calculons la moyenne pour obtenir la valeur de dureté exacte.

Tableau 25: Les valeurs de dureté Brinell pour l'acier A106.

Zone	MB			MD			ZAT		
Point	1	2	3	1	2	3	1	2	3
HB	197	219	210	221	222	187	224	255	230
moyenne	208.66			210			236.33		

2) Dureté Vickers :

Tableau 26: Les valeurs de dureté Vickers pour l'acier A358.

Zone	MB			MD			ZAT		
Point	1	2	3	1	2	3	1	2	3
HV	146	200	178	210	189	196	212	199	190
moyenne	174.66			198.33			200.33		

Tableau 27: Les valeurs de dureté Vickers pour l'acier A106.

Zone	MB			MD			ZAT		
Point	1	2	3	1	2	3	1	2	3
HV	217	210	206	224	209	195	234	240	268
moyenne	211			209.33			247		

Les valeurs de dureté Brinell et Vickers pour les deux aciers sont acceptables et ne présentent aucune anomalie. Elles sont conformes aux exigences de la norme AFNOR.

Les filiations des macros duretés ont montré une bonne fluctuation tout au long de l'assemblage soudé (métal de base, cordon et zone affectée thermiquement) pour les tubes étudiés.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire, traite essentiellement et sous déférents aspects, le comportement métallurgique d'un acier fortement allié et acier faiblement allié. Cette étude se faite après un soudage multi-passe manuel avec l'usage d'un métal d'apport de composition chimique relativement proche à celle du métal de base.

La qualité d'une soudure dépend certainement du bon déroulement de l'opération de soudage, mais on n'aura aucune certitude sur l'état de la soudure si celle-ci n'est pas certifié par un contrôle fiable et sur. Ce contrôle faut être conforme aux exigences des normes tels que la norme ASME, API et AFNOR.

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

Dans ce travail nous avons étudié l'effet de variation des paramètres de soudage sur l'état mécanique et structural de la pièce soudée. Les diagnostics utilisés, sont les contrôles non destructifs et les contrôles destructifs.

Les conclusions que nous pouvons y tirer sont :

- Le découpage se fait à froid pour éviter l'échouement de métal qui peut influencer sur la microstructure et les propriétés mécaniques.
- L'observation métallographique montre qu'il y a des changements structuraux après le soudage qui peuvent influent sur les propriétés mécanique.
- Il faut un traitement thermique de relaxation après le soudage pour supprimer les contraintes intérieures et régénérer la zone affecté thermiquement. Ce traitement se fait juste pour les aciers au carbone.
- La fiabilité d'une structure soudée dépend de plusieurs facteurs :

  - Le choix d'un métal de base avec des caractéristiques répondant aux exigences d'une telle construction, une limite élastique élevé et une bonne résistance à la rupture fragile.
  - Un choix convenable de tous les paramètres de soudage.
  - Une préparation judicieuse des pièces a assemblées.
  - Le choix d'un métal d'apport qui permet de donnée au cordon la composition désirée, avec excellentes qualités mécaniques de résistance au choc et aux déformations.

Conclusion générale

- L’acier A358 présentant une structure austénitique, et l’acier A106 présentant une structure micro allié. Les résultats de micrographie et essais mécaniques ont montré que les deux aciers sont conforment et présentent des bonnes caractéristiques mécaniques.
- L’acier inoxydable reste le meilleur que l’acier au carbone du point de vue des propriétés mécaniques et chimiques. Mais il est trop chers et même ces procédés de protection sa coûte c’est pour sa l’acier au carbone est le plus utilisable.

[1] G.BERANGER, «Génialité Dès L'acier», Epp 22. Sollac. (1996).

[2] A. ROOS, «Précis De Métallurgie Appliquée». Edition Technique Et Documentation Lavoisier (1982).

[3] R.STEINER, «Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys Volume De 10^{Em} Edition Metals Handbook International American Society of Materials, (1990).

[4] Centre de formation professionnelle de La Baie, Cahier de notes de cours du DEP Fonderie – Module 18 section 2 – Application de traitements thermiques, 2012.

[5] Y.BARKAT, « Etude comparative entre deux procédés de soudage des pipelines », Mémoire Master En Génie Chimique, Université Mohamed Khider Biskra, 2016.

[6] A. BOUMARAF, « Effet De Soudage Sur La Structure D'un Acier Faiblement Allié (Bs2) Utilise Dans La Fabrication Des Bouteilles A Gaz », Mémoire De Master En Génie Mécanique, Université Mohamed Khider Biskra, 2015.

[7] R.VILLEGAS, «Genèse De La Ferrite Aciculaire Dans Les Aciers A Moyen Carbone Microalliés Au Vanadium. Morphologie Fractale En Relation Avec Les Propriétés Mécaniques. », Thèse De Doctorat De Ltnpl (Institut National Polytechnique De Lorraine), (2007).

[8] C.E .DERFOUFE, « Cour De Technologie», 1 er Année Duea, (2005-2006).

[9] H. Hamadache ; Concepts Fondamentaux de la Mécanique Des Matériaux, éditions dde l'université de Badji Mokhtar, 2007.

[10] J.P. Bailon, JU-M-Dorlot, Des Matériaux, presses internationales polytechniques ,2007

[11] M .ABDERRAHIM, «Etude Du Comportement En Fatigue Des Aciers Pour Pipelines », Mémoire De Master En Génie Mécanique, Université De Abou Bekr Belkaid- Tlemcen, (2013).

[12] Arfaoui Ali, Chaker Med Amir, « cours de matériaux métalliques »,2009/2010.

[13] F. BOUNABE «Evolutions Microstructurales Lors Des Traitements Thermiques Imposés A Un Acier Faiblement Allié (53mnsi4) », Mémoire D'ingénieur En Métallurgie, Université De Mouhamed Kheider, Biskra, (2013).

[14] G.MURRY, «Généralités Sur Aciers», Techniques De L'ingénieur, Centre Français D'exploitation, (2002).

[15] G.MURRY, « Transformations Dans Les Aciers », Techniques De L'ingénieur, Ml 115, Centre Français D'exploitation (2002).

[16] H. Hamadache ; Concepts Fondamentaux de la Mécanique Des Matériaux, éditions dde l'université de Badji Mokhtar, 2007.

[17] J.P. Bailon, JU-M-Dorlot, Des Matériaux, presses internationales polytechniques ,2007.

[18] Dominique FRANÇOIS, Essais de rupture, technique de l'ingénieur, 2012.

[19] A. Iost, R. Bigot, L. Boudreau, matériaux et techniques, l'essai de dureté Vickers : applications et influence de la charge.77-79, 1995.

[20] Mécanique de la rupture les essais et leurs significations, Ecole des mines, Nancy, Éditons 1988.

[21] M. GRUMBACH et al, Mitaux, Corrosion, Industrie, 58, 690, 69-74,1983.

[22] M. GRUMBACH, "Les essais de dureté" dans Propriétés d'emploi des aciers. Etudes de bases. C. I. OTUA., 1977.

[23] J.P. Bailon, JU-M-Dorlot, Des Matériaux, presses internationales polytechniques ,2007.

[24] J. Mandel, propriétés mécanique des matériaux, Editions Eyrolles, 1978.

[25] R.BAUS.W, CHAPRAU, « application de soudage aux constructions »,1979.

[26] B. POLIZZI, « Fumees De Soudage : Efficacité Des Différents Systèmes De Protection Du Soudeur Et De Son Environnement En Soudage Smaw», Centre Technique Des Industries Mécaniques, France, (2004).

[27] Brigitte REMACLE, « soudage avec électrode enrobée MIG-MAG-TIG », 2014.

[28] guide de soudage, « soudage à l'arc sous gaz de protection TIG-MIG-MAG, T ou V », publications de la soudure autogène 1996.

[29]"partical guide to ASME B31.3" ISBN: 1-894038-05-3, 1997.

[30] K. KHELIL, « Soudage Des Pipelines », Mémoire D'ingénieur En Métallurgie, Université De Mouhamed Kheider ; Biskra, (2010).

[31] R.Gazes, soudage à l'arc, technique de l'ingénieur B7730, aout 1995.

[32] DEBABI ADIL, FETITA MOHAMMED NADIR, « Etude des caractéristiques mécaniques d'un joint de soudure après application d'un traitement thermique », mémoire master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2017.

[33] H.GRANJON. «Bases métallurgiques de soudage» 2ème édition. Publications de soudage et de ses applications Paris .1995.

[34] GRANJON.H, "Bases métallurgiques en soudage", Eyrolls-1989.

[35] Christian Bonnet, " le soudage métallurgie et produit", Air liquide/CTAS2001.

[36] Institue Internationale de la Soudure.

[37] Institue de Recherche la Sidérurgie Française 1977.

[38] N .TRINH, «Modélisation Du Comportement Thermomécanique Et Métallurgique Des Aciers», Thèse De Doctorat En Mécanique Et Matériaux, Ecole Polytechnique, (2008).

[39] H.Granjon, "Bases métallurgiques de soudage", publications de soudage et de ses applications 1995.

[40] Camille Routhier, "soudage et assemblage-soudage", guide d'auto apprentissage, ISBN : 978-2-89620-269-0, P9-11, 2010.

[41] Burkhardt J., Lau T., North T.H., L'Espérance C., « Effect of Aluminium on the Ti-O-B-N Balance in Submerged Arc Welding », Welding Journal, Aug. 1988, P 25

[42] Tuliani S., Boniszewski T., Eaton N.F., « Notch Toughness of Commercial Submerged-Arc Weld Metal », Welding and Metal Fabrication, August 1969, P327

[43] A.SAMIR, « Evaluation Des Paramètres Mécaniques Après Le Procédé De Soudage » Mémoire De Master, Université De Mouhamed Kheider, Biskra, (2012).

[44] BENSAADA Said "traitements thermiques, classification et désignation des aciers et fontes", Université de Biskra, 2003.

[45] M. Hakem , «Elaboration Et Etude De L'évolution Microstructurale D'un Acier A Haute Limite Elastique Au Molybdène Après Traitements Thermomécaniques Et Thermiques», Mémoire De Magister En Science Des Matériaux» ,Universite Saad Dahleb Blida ,(2002).

[46] GRANJON.H, MURRY.G, "Bases métallurgiques des modes opératoires de soudage", soudage et technique connexes, septembre 1984.

[47] BARTHELEMY.B, "notions pratiques de mécanique de la rupture", Eyrolles, 1980

[48] BOUZID.R, « analyse des propriétés et caractéristiques des aciers des tubes et leurs influences sur la fiabilité des gazoducs », Doctorat en génie mécanique, université M'Hamed Bougara-Boumerdes, 2010.

[49] Mr.DARDEVET, "soudage et controle", 1996.

[50] Devillers L., Kaplan D., Marandet B., Ribes A., Riboud P.V., « The effect of low level of some elements on the toughness of submerged-arc welded CMn steel welds », Proceedings, The Effects of Residual, Impurity and Micro-Alloying Elements on Weldability and Weld Properties, The Welding Institute, London, 15- 17 November 1983.

[51] BOUMELLITA.Y, «dégradation des propriétés mécaniques du cordon de soudure d'un acier API X70 en fonction de la succession des réparations application dureté », mémoire master, université BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2017.

[52] M. Marc BENTI, " métallurgie de soudage", Centre National de Ressources Structures Métalliques, Site web: http://cnrsm.creteil.iufm.fr.

[53] centre de soudure et d'expertise-ARZEW, "séminaire interprétation des radiogrammes", 22-23 et 24 juillet 2001.

[54] structural welding code-steel AWS D1.1/D1.M ,2010.

[55] B. Zouidja, "Caractérisation mécanique et microstructurale d'un cordon soudure pour un acier X60 destiné à l'installation des hydrocarbures", Université Laghouat ,2012

[56] M.Kais Bouaziz, «les défauts de soudage et leurs interprétation sur les films radio »

[57] Document Control .CNV CSIDER BISKRA 2012.

[58] A. Gonzalez-Lopez, useful optical density range in film dosimetry: limitation due to noise and saturation, phys.Medboil, 52, N321-N327 (2007).

[59]https://www.technologuepro.com/cours-proprietes-des-materiaux/chapitre-1-caracterisation-mecanique-des-materiaux.pdf

[60] http://www.cours-et-exercices.com/2016/04/essai-de-resilience-les-essais.html

[61] DAHMOUNE Boukhalfa Sami, " Etude du comportement mécanique et métallurgique des soudures des aciers à hautes limites élastiques HSLA ", Université de Blida 2014.

Annexes

Annexe1 :

Carbone

	D.M.I Welding Service Service Soudage	Welding Procedure Specification Spécification de soudage			Sheet: 1/4 Feuille :
		Nbr: HRM3-PPAG-02 N°:	Rév: 01	Date: 6-mars-18 Date :	
Supporting	Affaire Job	Project: Projet:	REALISATION DES INSTALLATIONS DE SEPARATION ET DE COMPRESSION ENTREE BOOSTING PHASE 3 - HASSI R'MEL -		
SCOPE: Objet:	WELDING OF CS / LTCS DE TUYAUTERIE EN ACIER (CS/LTCS)				SOUDAGE

Welding Process(es)
Procédé(s) de soudage

GTAW + SMAW Manual

Base Metal
Métal de base

Type Nuance	Grade Grade	Carb. équiv.	Φ (") Min.	Φ (") Max.	Th / Ep.(mm) Min.	Th / Ep.(mm) Max.	P/Gr N°
A333	6		1/2	18	4,76	15,09	1.1
A671	CC60		18	40	9,53	14,27	1.1
A106	B		1/2	20	4,73	14,27	1.1
API 5L	B		18	26	9,53	12,7	1.1
A672-C	60		18	20	9,53	9,53	1.1
ACCESSOIRES							
A234	WPB						
A105	N						
A350	LF2 Cl.1						
A420	WPL6						

Other : N/A
Autres:

Thickness Range Qualified :
Groove :4.635 mm To **15.27** mm
Fillet : Unlimited Minimum 3 weld passes

Filler metal:
Métal d'apport: (AWS - ASTM / Class)

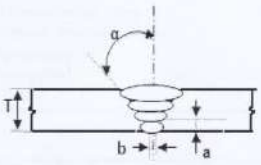
Layer/Passe.	Root & Hot	**Fill** / Bour.	**Cap** / Fin.	
Class/Type	ER 70S-6	E 7018-1	E 7018-1	
AWS-SFA	5.18	5.1	5.1	
F N°	6	4	4	
A N°	1	1	1	
Φ(mm)	2.0 - 2.4	2,5 - 3,2	2,5 - 3,2	

Flux: AWS Class N /A
Flux: AWS Class

Other : Drying and holding of low hydrogen electrodes according to manufacturer recommendations.
Autres:

The brand used by GTP of filler rod is:
BOHLER , ESAB Or LINCOLN.

Joint preparation:
Conception du joint:



α = 30°+/- 2,5°

Strink: Talon: **a** = 1.6± 0.8 mm **Gap:** Ecartement **b** = 3.2 ± 0.8 mm
Backing material: Nature supp. Envers N/A For but weld / Base métal for fillet weld
Form: Forme: **Dimensions** Dimensions:

Preparation: Ends to be welded are prepared from origin or by cutting or beveling and grinding . They are cleaned from all excess of oxide, rust, greasse or paint.Passes are only schematized . Exact pass dispositions depend on welding parameters chosen.

Préparation: Les bords à souder sont préparés d'origine ou par découpage ou chanfreinage et meulage. Ils sont débarrassés de tout excés d'oxyde, rouille, graisse ou peinture. Les passes sont seulement schématisées. Les dispositions exactes des passes dépendent des paramètres de soudage choisis.

Other : N/A
Autres:

Shelding Gas :
Gas de protection:

Comp. Comp. Ar 99,99 % (All pass) **Flow Rate:** Débit: (l/min) 12 to/à 20
Backing gas Comp. Protection envers comp. N /A
Backing Flow Rate: Débit envers: (l/min)
Other : N/A
Autres:

Adjustement :
Fixation:
Method Mode: by tack weld or external clamp / par points de soudure ou par clamp exterieur
Duration Durée: Until welding of the root pass. / Jusqu'à realisation de la passe de pénétration

Welding Procedure Specification
Spécification de soudage

Sheet: 2/4
Feuille :

Nbr: HRM3-PPAG-02 Rév: 01
N°

Welding Position:
Position de Soudage:

Layers/Passes	Root/Pén.	Fill/Bour.	Cap/Fini.
ASME Position	5G	5G	5G
Rot. Or/ou fix.	Fixe	Fixe	Fixe
Prog./Progrestion	Up hill/Mont.	Up hill/Mont.	Up hill/Mont

Rotation direction:
Sens de rotation: N/A

Other :
Autres: **All position Boosting site**

PreHeat:
Préchauffage:

Base metal / Métal de base	Wall Thickness /Epaisseur Parois
All / Tous	10°C Min

Method: Propane Torche
Méthode: Torche propane
Inspection Thermochrome Pens
Contrôle : Crayons thermochromes
Other : Pyrometre
Autres: Pyrométre

Electrical characteristics & Welding Technique:
Technique d'exécution du joint et caractéristiques électriques

Layers / Passes	Root & Hot	Fill / Bourrage	Cap / Finition	
Welding Process /Procédé de soudage	GTAW	SMAW	SMAW	
Welding Position /Position de Soudage	All positions for Site			
Current & polarity /Courant & Polarite	DC (-)	DC (+)	DC (+)	
Filler métaL / Métal d'apport	ER 70S-6	E 7018-1	E 7018-1	
Φ **Electrode** / Electrode (mm)	WT 2.4			
Φ **Rod** / Fil (mm)	2.0 - 2.4	2,5 - 3,2	2,5 - 3,2	
Amp. Range / Gamme d'intensités (A)	100 - 120	80 - 140	80 - 140	
Volt. Range / Gamme de tension (V)	10 - 21	20 - 28	20 - 28	
Travel speed/Vitesse d'avance (cm/mn)	4 - 9,5	5 - 12	5 - 12	
Heat input / Energie (kj/cm) Max	18,36	35	35	
Gas / Gaz	99.99% Ar			
Flow Rate / Débit (l / min)	12 - 20			

The number of passes in filling and capping depends on the thickness to be welded.
Le nombre de passes en bourrage et finition dépend de l'épaisseur à souder.
In filling and capping, passes can be done by juxtaposed beads.
En bourrage et finition, les passes peuvent être faites par cordons juxtaposés.

Other : **t > 5 mm Multiple layer welds shall be applied.**
Autres: **Maximum weave width Shall be 3 times the Core/rod Diameter**

Interpasses Cooling
Refroidissement entre passes

Between the root and the second passes:
Entre passe de pénétration et 2ème passe:
Temperature / Température : **250°C Max.**
Time / Temps **/**
Between other passes: Entre autres passes:
Temperature / Température : **250°C Max.**
Time / Temps **/**
Welding interruption permited at :
Interruption soudage autorisée à partir:

Other :
Autres: N/A

Postweld Heat Treatment:
Traitement thermique après soudage: **N / A**

Heating rate: Régime de mise en T° **N / A**
Cooling rate : Régime de refroidissement: **N / A**
Holding Temperature/Time: Température/Temp de maintien: **N / A** **N / A**
Cooling Controlled until: Refroidissement contrôlé jusqu'à: **N /A**
Materials: Appareillages:

Other :
Autres: *** In case 5 mm < t <=25 mm, Multiple layer welds shall be applied.**

ASME B31.3 Table 331.1.3

Welding Procedure Specification
Spécification de soudage

Sheet: 3/4
Feuille :

Nbr: N°: HRM3-PPAG-02 Rév: 01

Beads Aspect:
Aspect des cordons:
The current of welding and the manner to deposit the metal will insure a complete fusion, without lack of fusion on the bevel faces and the adjacent zone of parent metal.
Le courant de soudage et la manière de déposer le métal assureront une fusion complète, sans manque de liaison sur les faces du chanfrein et la zone voisine du métal de base.
It will have to satisfy to a visual examination in accordance with codes and standard requirements.
Il devra satisfaire à un examen visuel conforme aux exigences des codes et standards en vigueur.
Other : N/A
Autres:

Cleaning:
Nettoyage:
After each pass and after slag removal, all apparent defect will be removed by brushing and/or grinding before carrying out the next pass.
Après chaque passe et après enlèvement du laitier, tout défaut apparent est enlevé par brossage et/ou meulage avant l'exécution de la passe suivante.
Other : N/A
Autres:

Tests & results interpretation:
Essais et interprétation des résultats:
The procedure approval tests and welders qualification shall be carried out according to:
Les essais d'homologation de la procédure et de qualification des soudeurs seront réalisés conformément à:
ASME IX + B31.3 + SPEC.CLIENT.S-3000-1520-201
Other :
Autres:

Test coupon
Coupon de test

Base metal Métal de base	Dimensions Dimensions	Thickness Epaisseur (mm)
A333 Gr 6	10"	9.27 mm
with / avec		
A350 LF2	10"	9.27 mm

Other : N/A
Autres:

Remarks:
Observations Générales:
To be qualified
A qualifier

Prepared by/ Y.HIMEUR
Etablie par:

Inspection:
Contrôle:
Visual / Visuel: yes/oui
Radiographic / Radiographique: yes/oui
Ultrasonic / Ultrason: N/A
Penetrant / Ressuage: N/A
Magnetic particles/ Magnetoscopie: N/A
Other : Refer to Inspection specification
Autres: Voir spécification de contrôle

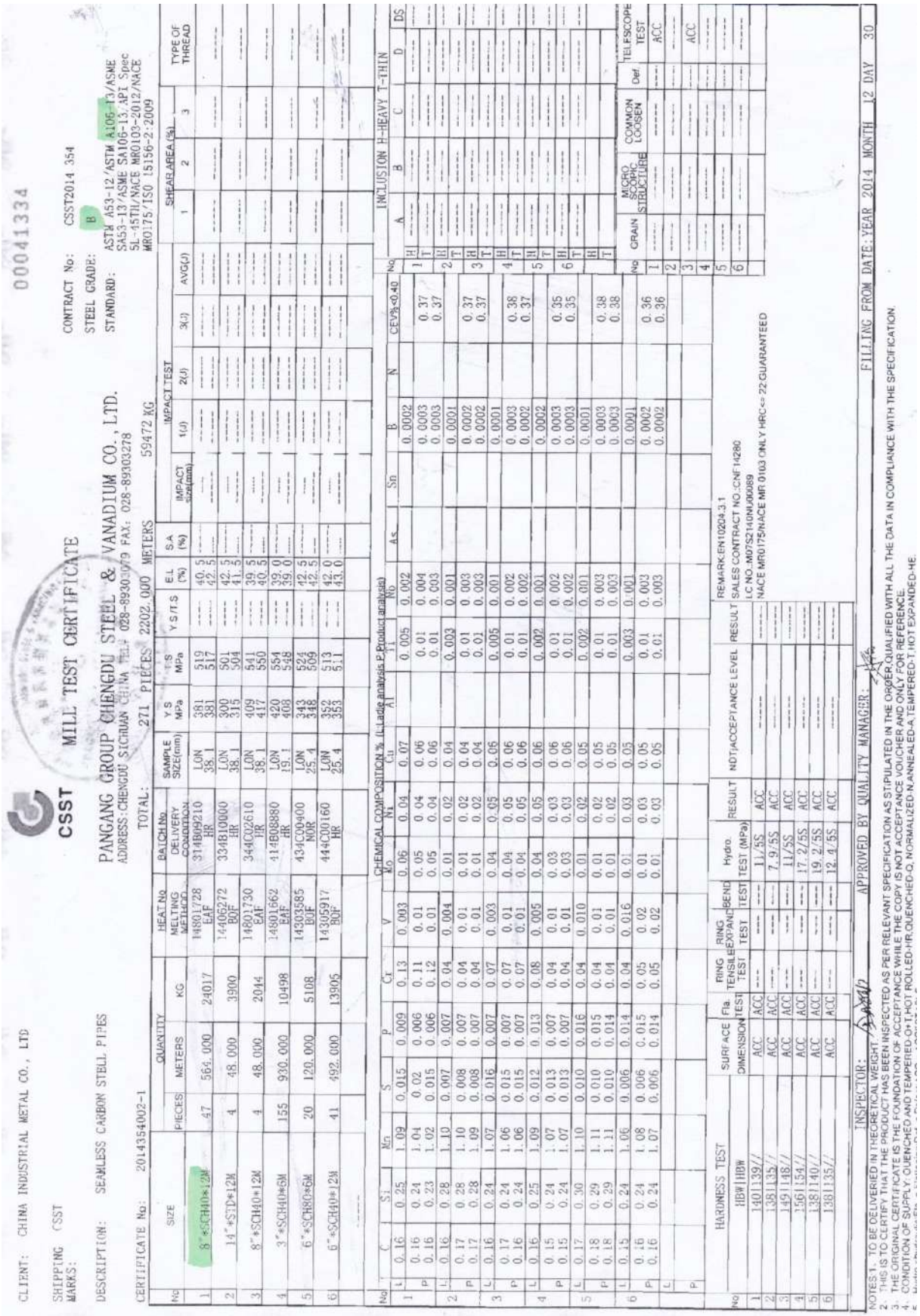
Specification approuved on (Date):
Spécification approuvée le:
By (Name):
Par (nom):
Signature: **Stamp:**
Signature: Cachet:

Remarks
Observations
Impact test at (- 46 ° C)

Certification Organism:
Organisme de réception:

Annexes

Annexe2 :



CLIENT: CHINA INDUSTRIAL METAL CO., LTD

00041334

CSST MILL TEST CERTIFICATE

CONTRACT No: CSST2014 354

SHIPPING MARKS: CSST

STEEL GRADE: B

DESCRIPTION: SEAMLESS CARBON STELL PIPES

PANGANG GROUP CHENGDU STEEL & VANADIUM CO., LTD.
ADDRESS:CHENGDU SICHUAN CHINA TEL: 028-89303079 FAX: 028-89303278

STANDARD: ASTM A53-12/ASTM A106-13/ASME SA53-13/ASME SA106-13,API Spec 5L-45TH/NACE MR0103-2012/NACE MR0175/ISO 15156-2:2009

CERTIFICATE No: 20143540021

TOTAL: 271 PIECES 2202.000 METERS 59472 KG

No	SIZE	QUANTITY			HEAT No / BATCH No	SAMPLE SIZE(mm)	Y S MPa	T S MPa	Y S / T S	EL (%)	S.A (%)	IMPACT TEST				SHEAR AREA (%)			TYPE OF THREAD
		PIECES	METERS	KG	MELTING METHOD / DELIVERY CONDITION							IMPACT Size(mm)	1(J)	2(J)	3(J) AVG(J)	1	2	3	
1	8"*SCH40*12M	47	564.000	24017	14801728 EAF HR	LON 38.1	381 517	519	----- -----	40.5 42.5	----- -----	-----	-----	-----	----- -----	-----	-----	-----	-----
2	14"*STD*12M	4	48.000	3900	14406272 BOF	334B10000 HR	LON 38.1	300 315	501 504	----- -----	42.5 41.5	-----	-----	-----	----- -----	-----	-----	-----	-----
3	8"*SCH40*12M	4	48.000	2044	14801730 EAF HR	344C02610 HR	LON 38.1	409 417	541 550	----- -----	39.5 40.5	-----	-----	-----	----- -----	-----	-----	-----	-----
4	3"*SCH40*6M	155	930.000	10498	14801662 EAF HR	414B08880 HR	LON 19.1	420 406	554 548	----- -----	39.0 39.0	-----	-----	-----	----- -----	-----	-----	-----	-----
5	6"*SCH80*6M	20	120.000	5108	14303585 BOF NOR	434C00400 NOR	LON 25.4	343 348	524 569	----- -----	42.5 42.5	-----	-----	-----	----- -----	-----	-----	-----	-----
6	6"*SCH40*12M	41	492.000	13905	14305917 BOF HR	444C00160 HR	LOW 25.4	352 353	513 511	----- -----	42.0 43.0	-----	-----	-----	----- -----	-----	-----	-----	-----

CHEMICAL COMPOSITION % (Ladle analysis P Product analysis)

No		C	Si	Mn	S	P	Cr	V	Mo	Ni	Cu	Al	Ti	Nb	As	Sn	B	N	CEVs<0.40
1	L	0.16	0.25	1.09	0.015	0.009	0.13	0.003	0.06	0.04	0.07		0.005	0.002			0.0002		
	P	0.16	0.24	1.04	0.02	0.006	0.11	0.01	0.05	0.04	0.06		0.01	0.004			0.0003		0.37
		0.16	0.23	1.02	0.015	0.006	0.12	0.01	0.05	0.04	0.06		0.01	0.003			0.0003		0.37
2	L	0.16	0.28	1.10	0.007	0.007	0.04	0.004	0.01	0.02	0.04		0.003	0.001			0.0001		
	P	0.17	0.28	1.10	0.008	0.007	0.04	0.01	0.01	0.02	0.04		0.01	0.003			0.0002		0.37
		0.17	0.28	1.09	0.008	0.007	0.04	0.01	0.01	0.02	0.04		0.01	0.003			0.0002		0.37
3	L	0.16	0.24	1.07	0.016	0.007	0.07	0.003	0.04	0.05	0.06		0.005	0.001			0.0001		
	P	0.17	0.24	1.06	0.015	0.007	0.07	0.01	0.04	0.05	0.06		0.01	0.002			0.0003		0.38
		0.16	0.24	1.06	0.015	0.007	0.07	0.01	0.04	0.05	0.06		0.01	0.002			0.0002		0.37
4	L	0.16	0.25	1.09	0.012	0.013	0.08	0.005	0.04	0.05	0.06		0.002	0.001			0.0002		
	P	0.15	0.24	1.07	0.013	0.007	0.04	0.01	0.03	0.03	0.06		0.01	0.002			0.0003		0.35
		0.15	0.24	1.07	0.013	0.007	0.04	0.01	0.03	0.03	0.06		0.01	0.002			0.0003		0.35
5	L	0.17	0.30	1.10	0.010	0.016	0.04	0.010	0.01	0.02	0.05		0.002	0.001			0.0001		
	P	0.18	0.29	1.11	0.010	0.015	0.04	0.01	0.01	0.02	0.05		0.01	0.003			0.0003		0.38
		0.18	0.29	1.11	0.010	0.014	0.04	0.01	0.01	0.02	0.05		0.01	0.003			0.0003		0.38
6	L	0.15	0.24	1.06	0.006	0.014	0.04	0.016	0.01	0.03	0.05		0.003	0.001			0.0001		
	P	0.16	0.24	1.08	0.006	0.015	0.05	0.02	0.01	0.03	0.05		0.01	0.003			0.0002		0.36
		0.16	0.24	1.07	0.006	0.014	0.05	0.02	0.01	0.03	0.05		0.01	0.003			0.0002		0.36
	L																		
	P																		

No	HARDNESS TEST HBW/HBW	SURFACE DIMENSION	SURFACE TEST	Fla. TEST	RING TENSILE TEST	RING EXPAND TEST	BEND TEST	Hydro. TEST (MPa)	RESULT
1	140/139//	ACC	ACC	----	----	----	----	11.5S	ACC
2	138/135//	ACC	ACC	----	----	----	----	7.9/5S	ACC
3	149/148//	ACC	ACC	----	----	----	----	11/5S	ACC
4	156/154//	ACC	ACC	----	----	----	----	17.2/5S	ACC
5	138/140//	ACC	ACC	----	----	----	----	19.2/5S	ACC
6	138/135//	ACC	ACC	----	----	----	----	12.4/5S	ACC

NDT/ACCEPTANCE LEVEL RESULT

No	GRAIN	MICRO SCOPIC STRUCTURE	COMMON LOOSEN	Def.	TELESCOPE TEST
1	-----	-----	-----	----	ACC
2	-----	-----	-----	----	-----
3	-----	-----	-----	----	ACC
4	-----	-----	-----	----	-----
5	-----	-----	-----	----	-----
6	-----	-----	-----	----	-----

IMPACT TEST

No		A	B	C	D	DS
1	H	-----	-----	-----	-----	----
	T	-----	-----	-----	-----	----
2	H	-----	-----	-----	-----	----
	T	-----	-----	-----	-----	----
3	H	-----	-----	-----	-----	----
	T	-----	-----	-----	-----	----
4	H	-----	-----	-----	-----	----
	T	-----	-----	-----	-----	----
5	H	-----	-----	-----	-----	----
	T	-----	-----	-----	-----	----
6	H	-----	-----	-----	-----	----
	T	-----	-----	-----	-----	----

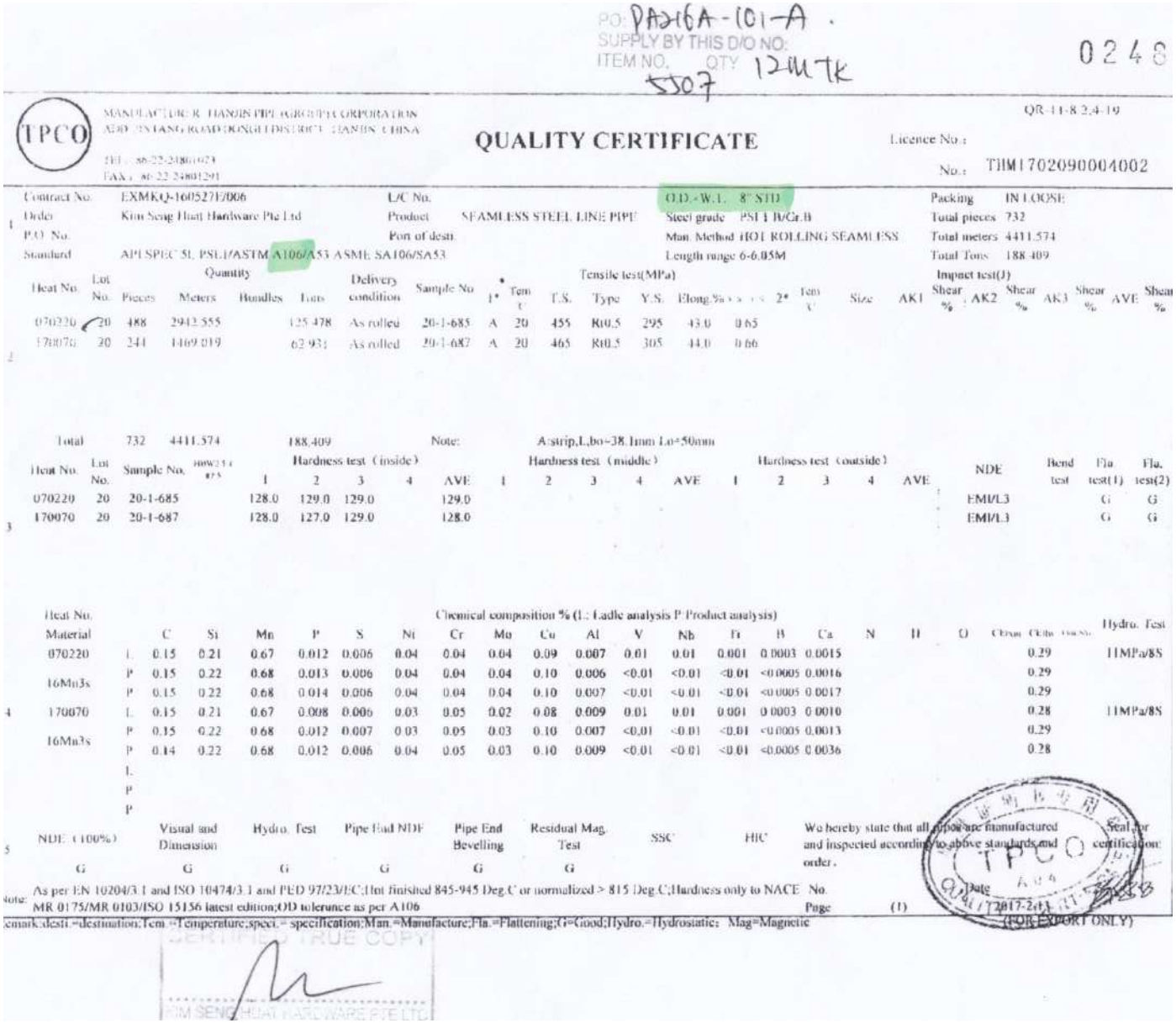
INCLUSION H-HEAVY T-THIN

REMARK:EN10204-3.1
SALES CONTRACT NO.:CNF14280
LC NO.:M07S2140NJ00089
NACE MR0175/NACE MR 0103 ONLY HRC<= 22 GUARANTEED

INSPECTOR: APPROVED BY QUALITY MANAGER:

FILLING FROM DATE: YEAR 2014 MONTH 12 DAY 30

NOTES:1. TO BE DELIVERIED IN THEORETICAL WEIGHT.
2. THIS IS TO CERTIFY THAT THE PRODUCT HAS BEEN INSPECTED AS PER RELEVANT SPECIFICATION AS STIPULATED IN THE ORDER.QUALIFIED WITH ALL THE DATA IN COMPLIANCE WITH THE SPECIFICATION.
3. THE ORIGINAL CERTIFICATE IS THE FOUNDATION OF ACCEPTANCE WHILE THE COPY IS NOT ACCEPTANCE VOUCHER AND ONLY FOR REFERENCE.
4. CONDITION OF SUPPLY: QUENCHED AND TEMPERED-Q+T;HOT ROLLED-HR,QUENCHED-Q, NORMALIZED-N,ANNEALED-A,TEMPERED-T,HOT EXPANDED-HE.



PO: PA216A-101-A .
SUPPLY BY THIS D/O NO:
ITEM NO. QTY 12M Tk
5507

0248

TPCO

MANUFACTURER: TIANJIN PIPE (GROUP) CORPORATION
ADD: 238 TANG ROAD DONGLI DISTRICT TIANJIN CHINA
TEL: 86-22-24801023
FAX: 86-22-24801291

QR-11-8.2.4-19

QUALITY CERTIFICATE

Licence No.:

No.: TJM1702090004002

Contract No. EXMKQ-160527E/006 — L/C No. — O.D.×W.T. 8" STD — Packing IN LOOSE
Order — Product SEAMLESS STEEL LINE PIPE — Steel grade PSL1 B/Gr.B — Total pieces 732
P.O. No. — Port of dest. — Man. Method HOT ROLLING SEAMLESS — Total meters 4411.574
Standard API SPEC 5L PSL1/ASTM A106/A53 ASME SA106/SA53 — Length range 6-6.05M — Total Tons 188.409

Heat No.	Lot No.	Quantity Pieces	Meters	Bundles	Tons	Delivery condition	Sample No.	Tensile test(MPa) 1*	Tem C	T.S.	Type	Y.S.	Elong.%	2*	Tem C	Size	AK1	Impact test(J) Shear %	AK2	Shear %	AK3	Shear %	AVE	Shear %
070220	20	488	2943.555		125.478	As rolled	20-1-685	A	20	455	R±0.5	295	43.0	0.65										
170070	20	244	1469.019		62.931	As rolled	20-1-687	A	20	465	R±0.5	305	44.0	0.66										
Total		732	4411.574		188.409																			

Note: A:strip,L,bo=38.1mm Lo=50mm

Heat No.	Lot No.	Sample No.	Hardness test (inside) 1	2	3	4	AVE	Hardness test (middle) 1	2	3	4	AVE	Hardness test (outside) 1	2	3	4	AVE	NDE	Bend test	Fla. test(1)	Fla. test(2)
070220	20	20-1-685	128.0	129.0	129.0		129.0											EMI/L3		G	G
170070	20	20-1-687	128.0	127.0	129.0		128.0											EMI/L3		G	G

Heat No. / Material		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	V	Nb	Ti	B	Ca	N	H	O	CEIIW	CEPcm	CEN	Hydro. Test
070220	L	0.15	0.21	0.67	0.012	0.006	0.04	0.04	0.04	0.09	0.007	0.01	0.01	0.001	0.0003	0.0015				0.29			11MPa/8S
16Mn3s	P	0.15	0.22	0.68	0.013	0.006	0.04	0.04	0.04	0.10	0.006	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	0.0016				0.29			
	P	0.15	0.22	0.68	0.014	0.006	0.04	0.04	0.04	0.10	0.007	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	0.0017				0.29			
170070	L	0.15	0.21	0.67	0.008	0.006	0.03	0.05	0.02	0.08	0.009	0.01	0.01	0.001	0.0003	0.0010				0.28			11MPa/8S
16Mn3s	P	0.15	0.22	0.68	0.012	0.007	0.03	0.05	0.03	0.10	0.007	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	0.0013				0.29			
	P	0.14	0.22	0.68	0.012	0.006	0.04	0.05	0.03	0.10	0.009	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	0.0036				0.28			
	L																						
	P																						

Chemical composition % (L: Ladle analysis P: Product analysis)

NDE (100%)	Visual and Dimension	Hydro. Test	Pipe End NDE	Pipe End Bevelling	Residual Mag. Test	SSC	HIC
G	G	G	G	G	G		

We hereby state that all supplies are manufactured and inspected according to above standards and order.

Seal for certification:

Note: As per EN 10204/3.1 and ISO 10474/3.1 and PED 97/23/EC;Hot finished 845-945 Deg.C or normalized > 815 Deg.C;Hardness only to NACE MR 0175/MR 0103/ISO 15156 latest edition;OD tolerance as per A106

No.

Page (1)

Date

(FOR EXPORT ONLY)

Remark:dest.=destination;Tem.=Temperature;speci.=specification;Man.=Manufacture;Fla.=Flattening;G=Good;Hydro.=Hydrostatic; Mag=Magnetic

CERTIFIED TRUE COPY

KIM SENG HUAT HARDWARE PTE LTD

Annexes

Annexe3 :

	PROCES VERBAL D'EXAMEN RADIOGRAPHIQUE Radiographic Examination Report INTERPRETATION OF RADIOGRAPHS	Date	19/03/2019
		Report No.	GTP-RT-002
		Rev.	1

Applicable code	☑ ASME IX A☐E B31.8	Procedure No:	☑ ASME Sec V		☐PI1104
Radio Isotope	☑ ^{192}Ir ☐ Others ( ) _48,81_Ci	Serial No	276	Density range	2-4
Source size	3,0X2,64mm	Film brand / type	AGFA 10X24 cm	IQI type	10 FE EN
IQI Location	☐ Source side ☑m side				
RT Technics	☐ Single Wall single view ☐☑ble Wall single view Double ☑ll Double view				

ISO Dwg No	Spool No	Joint No	Line Class	Size	Thick ness	Material Grade	Welder ID Root	Welder ID F/C	Film location	Kind of Imperfection	Results	Remarks
COUPON N°02 / A106-GrB / ER70S-6 - E7018-1			NA	8	8,18	A106 GrB	GTP-145	GTP-145	00-25		ACC	
GTAW-SMAW / WPS-PPAG-03		GTP-145							25-45		ACC	
									45-00		ACC	

Kind of Imperfection :

CR: Crack, EP: Excess Penetration, LF : Lack of Fusion, LP: Lack of Panetration, MA: Misalignment, PC: Poricities of Cluster,

PO: Porosities, SI: Slug Inclusion, SU: Concave Root Surface(Suck Up), TI : Tangsten Inclusion, UC : Undercut

Annexes

PROCES VERBAL D'EXAMEN RADIOGRAPHIQUE
RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT
CONDITIONS D'EXECUTION
OPERATING CONDITIONS
INTERPRETATIONS DE RADIOGRAMMES
INTERPRETATION OF RADIOGRAPHS

PCR-SMG-RE-70
Date: 24/12/2018
Page: 1 / 1

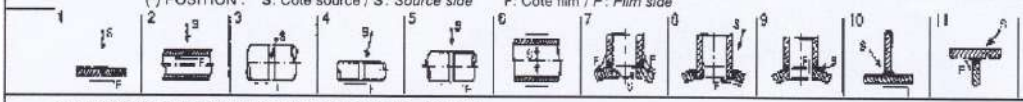
P.V N° : RT- 002 Du: 29/03/2019.....

REPERE D'IDENTIFICATION : MANIFOLD PUITS HRE 209 DIA : 6" X — **Affaire :** 9582
Identification mark — *Job*
CONDITION D'EXECUTION SUIVANT : ASME V X — **Rev:**
Conditions of execution to
Source de rayonnement : Désignation de l'appareil TIF — **Dimensions, foyer ou radioélément :** 3,0 X 2,0 mm
Radiation source: equipment description — *Focal spot size*
Rayons gamma - Ir 192 [X] 23,05 en Ci [X] ou TBq [ ] — **Rx** [ ] I max : ..... mA **V max:** .....
Traitement du radiogramme *Film processing* — **Manuel** *Manual* [X] **Automatique** *Automatic* [ ] — **Observations :** *Note:*

Caractéristiques des films, écrans renforçateurs, filtres et IQI utilisés - Conditions de prises de vue
Characteristics of films, intensifying screens, filters ans IQI's- Operating conditions

Repère pièce/Repère soudure *Workpiece mark / Weld mark*	FILM *Film*			TYPE DE PRISE DE VUE *Positionning of source & film*	NOMBRE DE PRISES DE VUE *Number of exposures*	N° DE FILMS PAR PRISE DE VUE *Number of films per shot*	EP FILTRE ANTERIEUR *Thickness of front filter*	EPAISSEUR ECRANS *Thickness of screens*			EP BLOCAGE RETRODIFFUSION *Thk of backscattering barrier*	I Q I *Image quality IQI*			CONDITIONS DES PRISES DE VUES *Operating technique*					
	TYPE *Type*	SIMPLE FILM *Single film*	DOUBLE FILM *Double film*					ANTERIEUR *Front*	INTERMEDIAIRE *Intermediate*	POSTERIEUR *Back*		TYPE *Type*	CARACTERISTIQUE *Characteristic*	POSITION (*) *Position*	EP TRAVERSEE *Thickness*	EP RADIOGRAPHIEE *Thickness of object*	DISTANCE SOURCE FILM *Thickness of object*	TENSION *Voltage*	INTENSITE *Current*	TEMPS D'EXPOSITION *Exposure time*
COUPON N°02 CARBON	***T200***	***X***		***3***	***3***	***3***		***0.02***		***0.02***	***PB***	***10FE***		***F***	***8,18***	***8,18***	***219,08***			***2mn***
A106 GrB / ~~ER70S-6~~ / ~~E7018-1~~																				
GTAW SMAW / PPAG-03																				
GTP-145																				

(*) POSITION : S: Coté source / *S: Source side* F: Coté film / *F: Film side*



Interprétation des radiogrammes selon code, norme: ***ASME B31.3***
Interpretation of radiographs according to:

Repère élément examiné *Checked item mark*	DENSITE MOYENNE *Average density*	QUALITE D'IMAGE OBTENUE *Image Quality obtained*	INDICE / *To*	TYPE DE DEFAUTS *Type of defects*														RESULTATS *Results*		OBSERVATIONS *Remarks*
				Fissure *Crack*	**Soufflures sphéroïdales** *Porosity*	**Nid de soufflures** *Clustered porosity*	**Soufflure allongée** *Elongated cavity*	**Soufflure vermiculaire** *Worm hole*	**Inclusion** *Inclusion*	**Inclusion métallique** *Metallic inclusion*	**Manque de fusion** *Lack of fusion*	**Manque de pénétration** *Lack of penetration*	**Caniveau** *Undercut*	**Caniveau à la racine** *Schrinkage groove*	**Morsure** *Local undercut*	**Rochage** *Porosity weld due to carbon*	**Mauvaise reprise** *Stop-start defect*	CONFORME *Complying*	NON CONFORME *No Complying*	
COUPON N°02																		X		ACCEPTED

	Examen radiographique exécuté par *Radiographer*	Examen radiographique interprété par *Interpreter*	Vérification effectuée par *Verification by*
Nom / *Name*	S.ABIDAT / K.FETHALLAH		
Niveau / *Level*	1		
Date / *Date*	19/03/2019		
Signature			

Annexe4 :

PAGE : 1 / 3

INSPECTION CERTIFICATE

SeAH Steel Corp.
(주)세 아 제 강
HEAD OFFICE: SEAH TOWER, 45 YANGHWA-RO, MAPO-GU, SEOUL, KOREA
CHANGWON PLANT: 280, GONGDAN-RO, SEONGSAN-GU, CHANGWON-SI, GYEONGSANGNAM-DO, KOREA

증명서번호 CERTIFICATE NO.: CE201807-0017-001117
제 품 명 COMMODITY : WELDED STAINLESS STEEL PIPES
제품규격 SPECIFICATION : ASTM A358 CL1 -15

발급일자 DATE OF ISSUE : 2018.07.12
계약서번호 L/C No. (P/O No.) : 0-7577-2-PB216A-106-A20
수 요 가 CUSTOMER : JGC CORPORATION
주 문 자 SHIPPER : MEZON STAINLESS STEEL FZE

ITEM NO.	HEAT NO. (BATCH NO.)	등 급 GRADE	주 문 치 수 ORDER SIZE	수량 QUANTITY 본 수 PCS.	총 길 이 TOTAL LENGTH	중량(M/T) WEIGHT	비 고 REMARKS
1	580327 (SD186R0020)	316/316L	8 " X SCH40S X 11.500 M(ITEM NO. : 0002)	32	368.000 M	15.916	PROJECT NAME : HASSI R'MEL BOOSTING PHASE 3 PJT FULL RADIOGRAPHIC TEST : ASME SEC VIII PARA. UW-51 PMI TEST : ACCEPTABLE

ITEM NO.	HEAT NO (BATCH NO.)	HYDROSTATIC 15 Sec (MPa)	HYDROSTATIC RESULT	PNEUMATIC Sec	PNEUMATIC RESULT	N.D.T *1	VISUAL & DIMENSION	FLATTENING	FLARING	FLANGE	Rev. BEND	Rev. FLATTENING	BEND	CORROSION
기준 SPEC														
1	580327 (SD186R0020)	13.5	G			G	G						G	

ITEM NO.	DESIG	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N				DIR	TENSILE STRENGTH MPa	YIELD STRENGTH MPa	E.L %	IMPACT ENERGY Joule	IMPACT LATERAL EXPANSION mm	HARDNESS TEST
	*2	3	2		3		2			3				*4						
기준 SPEC	MAX	30	75	200	45	30	1400	1800	300	100										
	MIN						1000	1600	200						515	205	40			
1	H	19	46	123	31	1	1009	1724	207	43										
	P	20	48	126	32	2	1013	1727	208	44				L	624	322	51			
	P	21	48	124	33	3	1017	1755	222	45				W	646					
	P	21	48	126	32	3	1011	1727	208	44				L	621	322	49			
	P	20	49	126	33	3	1018	1751	222	44				W	647					
	P	21	48	124	33	2	1012	1727	209	45				L	619	324	50			
	P	21	47	124	32	2	1019	1752	218	46				W	646					
	P													L	622	326	50			
	P													W	652					
	P													L	619	320	49			
	P													W	654					
	P													L	619	321	49			

WITNESSED
REVIEWED
DATE July-13-2018
CODE NO.
NAME W. G. Hwang
JGC CORPORATION

NOTE
*1 U : 초음파검사(Ultrasonic Test.) E : 와류탐상검사(Eddy Current Test.) P : 침투탐상시험(Penetrant Test.) R : 방사선검사(Radiographic Test.)
*2 H : 쇳물분석(Heat(Ladle) Analysis) P : 제품분석(Product Analysis)
*3 2 : x 100 3 : x 1000 4 : x 10000 G : Good
*4 L : 압연방향(Base Metal Longitudinal.) T : 원주방향(Base Metal Transverse.) W : 용접부(Weld Part.)

THE MATERIAL HAS BEEN SOLUTION HEAT TREATMENT AT MIN 1040℃ AND RAPID WATER QUENCHED.

EN 10204 TYPE 3.1

Surveyor :

- WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH ABOVE SPECIFICATION AND THE RESULTS OF ALL TEST ARE ACCEPTABLE.
- THE USE OF THE MATERIAL OUTSIDE THE SPECIFICATIONS INDICATED ON THIS CERTIFICATE MAY CAUSE SAFETY AND/OR MONETARY PROBLEMS. FURTHERMORE, ANY ORGANIZATION OR PERSON(S) WHO DELIBERATELY MODIFIES THE CERTIFICATE WILL BE PROSECUTED FOR FORGING AN OFFICIAL DOCUMENT (ACCORDING TO THE PROVISIONS OF THE CRIMINAL CODE 231)

Manager of Q.M Dept.
S. K. SEO

PAGE : 2 / 3

INSPECTION CERTIFICATE

SeAH Steel Corp.
(주)세아제강

HEAD OFFICE: SEAH TOWER, 45 YANGHWA-RO, MAPO-GU, SEOUL, KOREA
CHANGWON PLANT: 280, GONGDAN-RO, SEONGSAN-GU, CHANGWON-SI, GYEONGSANGNAM-DO, KOREA

증명서번호 CERTIFICATE NO.	: CE201807-0017-001117
품명 COMMODITY	: WELDED STAINLESS STEEL PIPES
품규격 SPECIFICATION	: ASTM A358 CL1 -15
발급일자 DATE OF ISSUE	: 2018.07.12
계약서번호 L/C No. (P/O No.)	: 0-7577-2-PB216A-106-A20
수요가 CUSTOMER	: JGC CORPORATION
주문자 SHIPPER	: MEZON STAINLESS STEEL PZE

ITEM NO.	HEAT NO. (BATCH NO.)	등급 GRADE	주문치수 ORDER SIZE	수량 QUANTITY 본수 PCS.	총길이 TOTAL LENGTH	중량(M/T) WEIGHT	비고 REMARKS
1	580327 (SD186R0020)	316/316L	8 " X SCH40S X 11.500 M(ITEM NO. : 0002)				PROJECT NAME : HASSI R'MEL BOOSTING PHASE 3 PJT FULL RADIOGRAPHIC TEST : ASME SEC VIII PARA. UW-51 PMI TEST : ACCEPTABLE
2	580327 (SD186R0030)	316/316L	8 " X SCH40S X 11.500 M(ITEM NO. : 0002)	24	276.000 M	11.937	

ITEM NO.	HEAT NO (BATCH NO.)	HYDROSTATIC 15 Sec (MPa)	HYDROSTATIC RESULT	PNEUMATIC Sec	PNEUMATIC RESULT	N.D.T R *1	DIMENSION & VISUAL	FLATTENING	FLARING	FLANGE	Rev. BEND	Rev. FLATTENING	BEND	CORROSION	DESIG	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N				DIR *4	TENSILE STRENGTH MPa	YIELD STRENGTH MPa	EL %	IMPACT ENERGY Joule	IMPACT LATERAL EXPANSION mm	HARDNESS TEST
																CHEMICAL COMPOSITION													TENSILE TEST				IMPACT		
															*2	3	2	3			2			3				*4						
기준 SPEC															MAX	30	75	200	45	30	1400	1800	300	100										
															MIN						1000	1600	200						515	205	40			
1	580327 (SD186R0020)	13.5	G			G	G						G		P													W	646					
															P													L	622	323	51			
															P													W	646					
2	580327 (SD186R0030)	13.5	G			G	G						G		H	19	46	123	31	1	1009	1724	207	43										
															P	21	48	126	33	2	1013	1728	208	44				L	623	330	52			
															P	20	47	125	34	4	1018	1753	219	45				W	650					
															P	20	48	124	32	3	1011	1726	208	44				L	623	327	49			
															P	21	48	125	33	2	1018	1760	217	44				W	655					
															P													L	623	323	52			
															P													W	646					
															P													L	622	328	52			
															P													W	646					

WITNESSED
REVIEWED
DATE July-13-2018
CODE NO.
NAME W. G. Hwang
JGC CORPORATION

NOTE
*1 U : 초음파검사(Ultrasonic Test.) E : 와류탐상검사(Eddy Current Test.) P : 침투탐상시험(Penetrant Test.) R : 방사선검사(Radiographic Test.)
*2 H : 용융분석(Heat(Ladle) Analysis) P : 제품분석(Product Analysis)
*3 2 : x 100 3 : x 1000 4 : x 10000 G : Good
*4 L : 압연방향(Base Metal Longitudinal.) T : 원주방향(Base Metal Transverse.) W : 용접부(Weld Part.)

THE MATERIAL HAS BEEN SOLUTION HEAT TREATMENT AT MIN 1040℃ AND RAPID WATER QUENCHED.

EN 10204 TYPE 3.1

Surveyor :

- WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH ABOVE SPECIFICATION AND THE RESULTS OF ALL TEST ARE ACCEPTABLE.
- THE USE OF THE MATERIAL OUTSIDE THE SPECIFICATIONS INDICATED ON THIS CERTIFICATE MAY CAUSE SAFETY AND/OR MONETARY PROBLEMS. FURTHERMORE, ANY ORGANIZATION OR PERSON(S) WHO DELIBERATELY MODIFIES THE CERTIFICATE WILL BE PROSECUTED FOR FORGING AN OFFICIAL DOCUMENT (ACCORDING TO THE PROVISIONS OF THE CRIMINAL CODE 231)

Manager of Q.M Dept.
S. K. SEO

PAGE : 3 / 3

INSPECTION CERTIFICATE

SeAH Steel Corp.
(주)세아제강

HEAD OFFICE: SEAH TOWER, 45 YANGHWA-RO, MAPO-GU, SEOUL, KOREA
CHANGWON PLANT: 280, GONGDAN-RO, SEONGSAN-GU, CHANGWON-SI, GYEONGSANGNAM-DO, KOREA

증명서번호 CERTIFICATE NO.: CE201807-0017-001117
제 품 명 COMMODITY : WELDED STAINLESS STEEL PIPES
제품규격 SPECIFICATION : ASTM A358 CL1 -15

발급일자 DATE OF ISSUE : 2018.07.12
계약서번호 L/C No. (P/O No.) : 0-7577-2-PB216A-106-A20
수 요 가 CUSTOMER : JGC CORPORATION
주 본 자 SHIPPER : MEZON STAINLESS STEEL FZE

ITEM NO.	HEAT NO. (BATCH NO.)	등 급 GRADE	주 문 치 수 ORDER SIZE	수량 QUANTITY 본 수 PCS.	총 길 이 TOTAL LENGTH	중량(M/T) WEIGHT	비 고 REMARKS
2	580327 (SD186R0030)	316/316L	8 " X SCH40S X 11.500 M(ITEM NO. : 0002)				PROJECT NAME : HASSI R'MEL BOOSTING PHASE 3 PJT FULL RADIOGRAPHIC TEST : ASME SEC VIII PARA. UW-51 PMI TEST : ACCEPTABLE
3	580328 (PD186R0071)	316/316L	8 " X SCH40S X 11.500 M(ITEM NO. : 0002)	1	11.500 M	0.497	
4	580327 (SD186R0040)	316/316L	8 " X SCH40S X 11.500 M(ITEM NO. : 0002)	2	23.000 M	0.995	
5	SD31712 (SD185P0360)	316/316L	12 " X SCH10S X 11.500 M(ITEM NO. : 0004)	1	11.500 M	0.421	

ITEM NO.	HEAT NO (BATCH NO.)	HYDROSTATIC 15 Sec (MPa)	HYDROSTATIC RESULT	PNEUMATIC Sec	PNEUMATIC RESULT	N.D.T *1	VISUAL & DIMENSION	FLATTENING	FLARING	FLANGE	Rev. BEND	Rev. FLATTENING	BEND	CORROSION	CHEMICAL COMPOSITION DESIG	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N				TENSILE TEST DIR *4	TENSILE STRENGTH MPa	YIELD STRENGTH MPa	E.L %	IMPACT ENERGY Joule	IMPACT LATERAL EXPANSION mm	HARDNESS TEST
															*2	3	2		3		2			3				*3						
기준 SPEC.															MAX	30	75	200	45	30	1400	1800	300	100					515	205	40			
															MIN						1000	1600	200											
2	580327 (SD186R0030)	13.5	G			G	G						G		P												L	620	320	49			
															P												W	650					
3	580328 (PD186R0071)	13.5	G			G	G						G		H	20	47	122	32	2	1006	1691	204	44										
															P	21	48	124	33	4	1007	1694	205	46				L	610	315	55			
															P	22	49	124	34	5	1018	1721	218	47				W	644					
4	580327 (SD186R0040)	13.5	G			G	G						G		H	19	46	123	31	1	1009	1724	207	43										
															P	20	47	124	32	3	1010	1726	209	44				L	626	331	56			
															P	21	48	126	33	4	1022	1751	219	45				W	650					
5	SD31712 (SD185P0360)	5.0	G			G	G						G		H	14	59	104	30	2	1011	1620	204	12										
															P	15	60	106	31	4	1013	1622	205	13				L	616	288	50			
															P	16	61	107	32	5	1022	1658	219	14				W	636					

NOTE
*1 U : 초음파검사(Ultrasonic Test.) E : 와류탐상검사(Eddy Current Test.) P : 침투탐상시험(Penetrant Test.) R : 방사선검사(Radiographic Test.)
*2 H : 취입분석(Heat(Ladle) Analysis) P : 제품분석(Product Analysis)
*3 2 : x 100 3 : x 1000 4 : x 10000 G : Good
*4 L : 압연방향(Base Metal Longitudinal.) T : 판주방향(Base Metal Transverse.) W : 용접부(Weld Part.)

THE MATERIAL HAS BEEN SOLUTION HEAT TREATMENT AT MIN 1040℃ AND RAPID WATER QUENCHED.

EN 10204 TYPE 3.1

WITNESSED
REVIEWED
DATE July-13-2018
CODE NO.
NAME W. G. HWANG
JGC CORPORATION

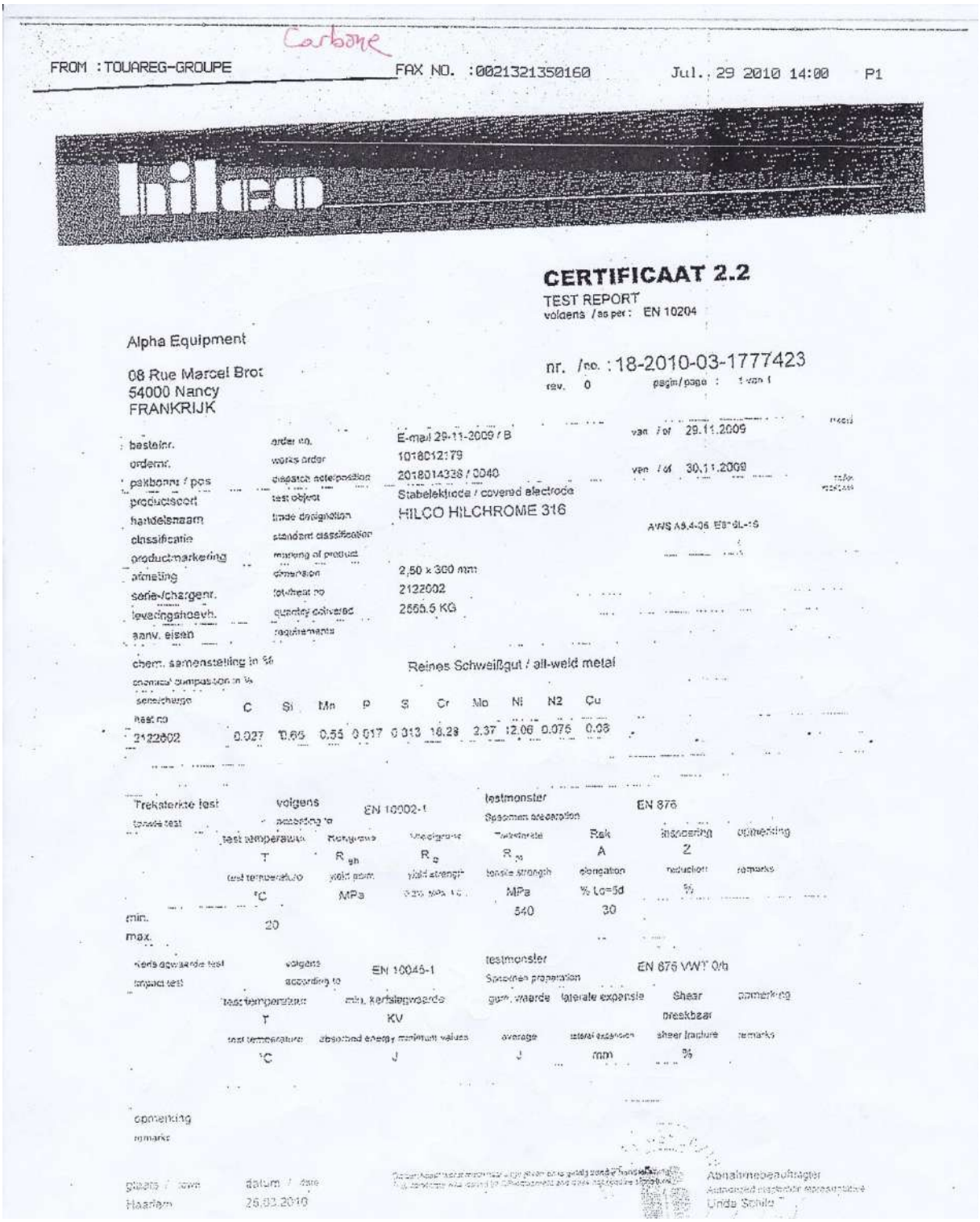
Surveyor :

- WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH ABOVE SPECIFICATION AND THE RESULTS OF ALL TEST ARE ACCEPTABLE.
- THE USE OF THE MATERIAL OUTSIDE THE SPECIFICATIONS INDICATED ON THIS CERTIFICATE MAY CAUSE SAFETY AND/OR MONETARY PROBLEMS. FURTHERMORE, ANY ORGANIZATION OR PERSON(S) WHO DELIBERATELY MODIFIES THE CERTIFICATE WILL BE PROSECUTED FOR FORGING AN OFFICIAL DOCUMENT (ACCORDING TO THE PROVISIONS OF THE CRIMINAL CODE 231)

Manager of Q.M Dept.
S. K. SEO

Annexes

Annexe5 :



Carbone

FROM : TOUAREG-GROUPE FAX NO. : 0021321350160 Jul. 29 2010 14:00 P1

Hilco

CERTIFICAAT 2.2
TEST REPORT
volgens / as per : EN 10204

Alpha Equipment

08 Rue Marcel Brot
54000 Nancy
FRANKRIJK

nr. / no. : 18-2010-03-1777423
rev. 0 pagina/page : 1 van 1

bestelnr.	order no.	E-mail 29-11-2009 / B	van / of 29.11.2009
ordernr.	works order	1018012179	
pakbonnr / pos	dispatch note/position	2018014338 / 0040	van / of 30.11.2009
productsoort	test object	Stabelelektrode / covered electrode	
handelsnaam	trade designation	HILCO HILCHROME 316	
classificatie	standard classification		AWS A5.4-06 E316L-16
productmarkering	marking of product		
afmeting	dimension	2,50 x 300 mm	
serie-/chargenr.	lot-/heat no	2122002	
leveringshoeveh.	quantity delivered	2555,5 KG	
aanv. eisen	requirements		

chem. samenstelling in % — Reines Schweißgut / all-weld metal

chemical composition in %

serie/charge heat no	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N2	Cu
2122002	0.027	0.65	0.55	0.017	0.013	18.28	2.37	12.06	0.075	0.08

Treksterkte test — volgens EN 10002-1 — testmonster EN 876

tensile test — according to — specimen preparation

	test temperature T	Rp0,2	Rt0,5	Rm	Rek A	Insnoering Z	opmerking
	test temperature °C	yield strength MPa	0,2% proof MPa	tensile strength MPa	elongation % Lo=5d	reduction %	remarks
min.	20			540	30		
max.							

Kerfslagwaarde test — volgens EN 10045-1 — testmonster EN 876 VWT 0/h

impact test — according to — specimen preparation

	test temperature T	min. kerfslagwaarde KV	gem. waarde	laterale expansie	Shear breukbaar	opmerking
	test temperature °C	absorbed energy minimum values J	average J	lateral expansion mm	shear fracture %	remarks

opmerking
remarks

plaats / town Haarlem — datum / date 26.03.2010

Abnahmebeauftragter
Authorized inspection representative
Linda Schilt

Annexes

Annexe6 :

	PROCES VERBAL D'EXAMEN RADIOGRAPHIQUE Radiographic Examination Report INTERPRETATION OF RADIOGRAPHS	Date	19/03/2019
		Report No.	GTP-RT-001
		Rev.	1

Applicable code	☑ ASME IX ☐ ASME B31.8	Procedure No:	☑ ASME Sec V	☐ PI1104	
Radio Isotope	☑ ^{192}Ir ☐ Others ( ) _48,81_Ci	Serial No	276	Density range	2-4
Source size	3,0X2,64mm	Film brand / type	AGFA 10X24 cm	IQI type	10 FE EN

IQI Location ☐ Source side ☑ Film side

RT Technics ☐ Single Wall single view ☑ Double Wall single view Dou☑ wall Double view

ISO Dwg No	Spool No	Joint No	Line Class	Size	Thick ness	Material Grade	Welder ID Root	Welder ID F/C	Film location	Kind of Imperfection	Results	Remarks
COUPON N°01 / A312TP316 / ER316L			NA	8	8,18	A312TP316	GTP-145	GTP-145	00-25		ACC	
GTAW-SMAW / WPS-PPAG-15		GTP-145							25-45		ACC	
									45-00		ACC	

Kind of Imperfection :

CR: Crack, EP: Excess Penetration, LF : Lack of Fusion, LP: Lack of Panetration, MA: Misalignment, PC: Poricities of Cluster,

PO: Porosities, SI: Slug Inclusion, SU: Concave Root Surface(Suck Up), TI : Tangsten Inclusion, UC : Undercut

Annexes

PROCES VERBAL D'EXAMEN RADIOGRAPHIQUE
RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT
CONDITIONS D'EXECUTION
OPERATING CONDITIONS
INTERPRETATIONS DE RADIOGRAMMES
INTERPRETATION OF RADIOGRAPHS

PCR-SMG-RE-70
Date: 24/12/2018
Page: 1 / 1

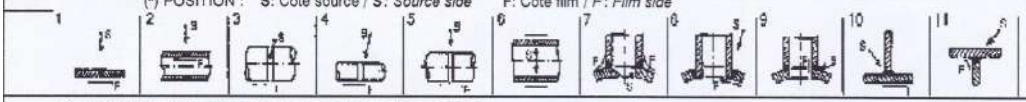
P.V N° : RT- 001 Du: 29/03/2019.....

REPERE D'IDENTIFICATION : MANIFOLD PUITS HRE 209 DIA : 6" X — **Affaire :** 9582
Identification mark — *Job*
CONDITION D'EXECUTION SUIVANT : ASME V X — **Rev:**
Conditions of execution to
Source de rayonnement : Désignation de l'appareil TIF — **Dimensions, foyer ou radioélément :** 3.0 X 2.0 mm
Radiation source: equipment description — *Focal spot size*
Rayons gamma - Ir 192 [X] 23,05 en **Ci** [X] ou **TBq** [ ] — **Rx** [ ] **I max :** ..... mA **V max:** .....
Traitement du radiogramme *Film processing* — **Manuel** *Manual* [X] — **Automatique** *Automatic* [ ] — **Observations :** *Note:*

Caractéristiques des films, écrans renforçateurs, filtres et IQI utilisés - Conditions de prises de vue
Characteristics of films, intensifying screens, filters ans IQI's- Operating conditions

Repère pièce/Repère soudure *Workpiece mark / Weld mark*	FILM *Film*			TYPE DE PRISE DE VUE *Positionning of source & film*	NOMBRE DE PRISES DE VUE *Number of exposures*	N° DE FILMS PAR PRISE DE VUE *Number of films per shot*	EP FILTRE ANTERIEUR *Thickness of front filter*	EPAISSEUR ECRANS *Thickness of screens*			EP BLOCAGE RETRODIFFUSION *Thk of backscattering barrier*	I Q I *Image quality IQI*			CONDITIONS DES PRISES DE VUES *Operating technique*					
	TYPE *Type*	SIMPLE FILM *Single film*	DOUBLE FILM *Double film*					ANTERIEUR *Front*	INTERMEDIAIRE *Intermediate*	POSTERIEUR *Back*		TYPE *Type*	CARACTERISTIQUE *Characteristic*	POSITION (*) *Position*	EP TRAVERSEE *Thickness*	EP RADIOGRAPHIEE *Thickness of object*	DISTANCE SOURCE FILM *Thickness of object*	TENSION *Voltage*	INTENSITE *Current*	TEMPS D'EXPOSITION *Exposure time*
COUPON N°01 INOX	***T200***	***X***		***3***	***3***	***3***		***0.02***		***0.02***	***PB***	***10FE***		***F***	***8,18***	***8,18***	***219,08***			***2mn***
A312TP316 / ER316L																				
GTAW SMAW / PPAG-015																				
GTP-145																				

(*) POSITION : S: Coté source / *S: Source side* F: Coté film / *F: Film side*



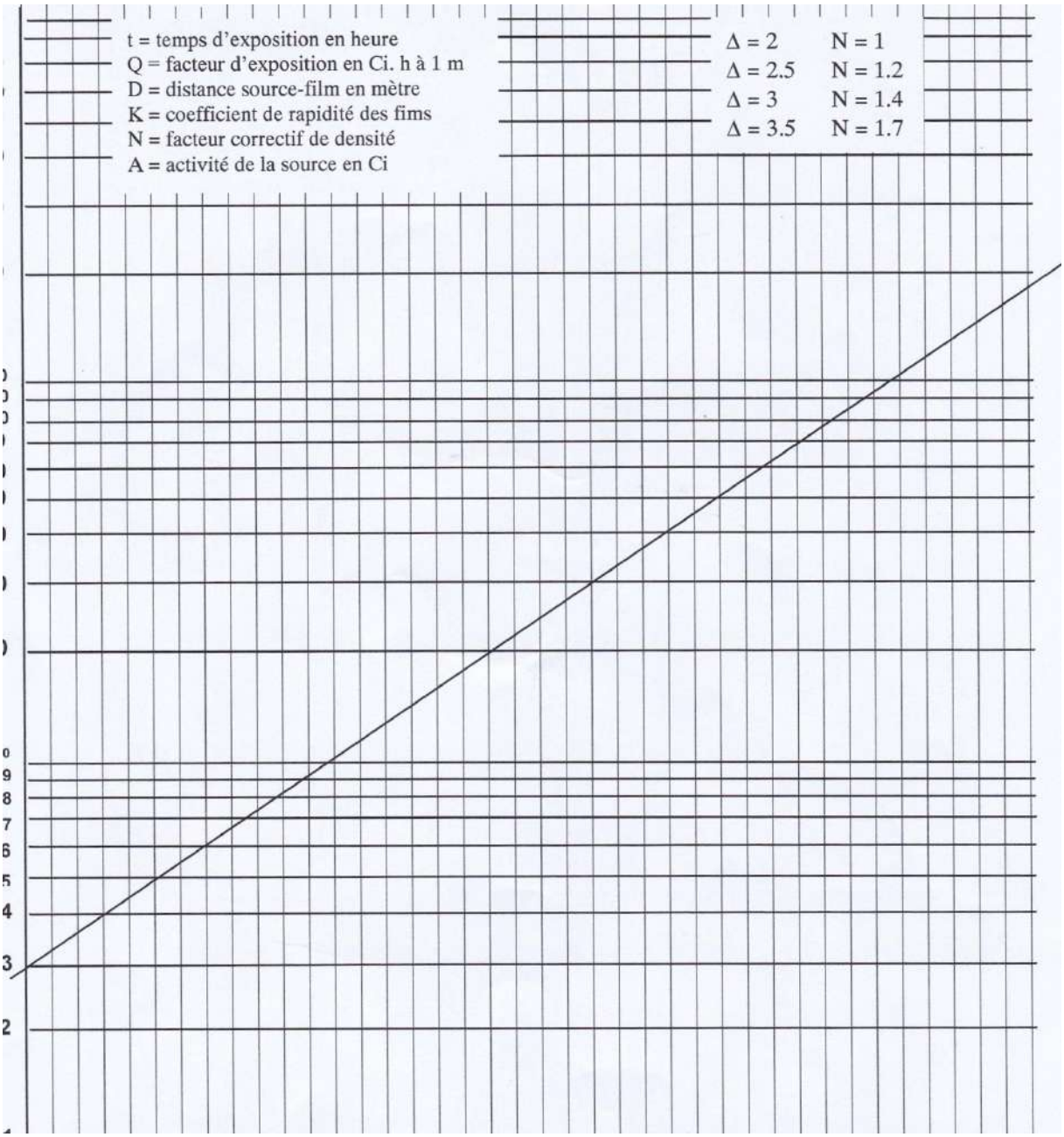
Interprétation des radiogrammes selon code, norme: ***ASME B31.3***
Interpretation of radiographs according to:

Repère élément examiné *Checked item mark*	DENSITE MOYENNE *Average density*	QUALITE D'IMAGE OBTENUE *Image Quality obtained*	INDICE / *To*	TYPE DE DEFAUTS *Type of defects*														RESULTATS *Results*		OBSERVATIONS *Remarks*
				Fissure *Crack*	Soufflures sphéroïdales *Porosity*	Nid de soufflures *Clustered porosity*	Soufflure allongée *Elongated cavity*	Soufflure vermiculaire *Worm hole*	Inclusion *Inclusion*	Inclusion métallique *Metallic inclusion*	Manque de fusion *Lack of fusion*	Manque de pénétration *Lack of penetration*	Caniveau *Undercut*	Caniveau à la racine *Shrinkage groove*	Morsure *Local undercut*	Rochage *Porosity weld due to carbon*	Mauvaise reprise *Stop-start defect*	CONFORME *Complying*	NON CONFORME *No Complying*	
COUPON N°01																		X		ACCEPTED

	Examen radiographique exécuté par *Radiographer*	Examen radiographique interprété par *Interpreter*	Vérification effectuée par *Verification by*
Nom / *Name*	S.ABIDAT / K.FETHALLAH		
Niveau / *Level*	1		
Date / *Date*	19/03/2019		
Signature			

Annexes

Annexe7 :



Annexes

Annexe8 :

Inox.

	D.M.I Welding Service Service Soudage	Welding Procedure Specification Spécification de soudage			Sheet: 1/4 Feuille :
		Nbr: N°: HRM3-PPAG-15	Rév: 01	Date: Date : 6-mars-18	
Supporting PQR N°: 23 / 13	Affaire Job	Project: Projet:	REALISATION DES INSTALLATIONS DE SEPARATION ET DE COMPRESSION ENTREE BOOSTING PHASE 3 - HASSI R'MEL -		
SCOPE: Objet:	WELDING OF STAINLESS STEEL PIPING SOUDAGE DE TUYAUTERIE EN ACIER INOXYDABLE CLASS : M03C;M06C				

Welding Process(es)
Procédé(s) de soudage

GTAW + SMAW Manual

Base Metal
Métal de base

Type Nuance	Grade Grade	Carb. équiv.	Φ (") Min.	Φ (") Max.	Th / Ep.(mm) Min.	Th / Ep.(mm) Max.	P/Gr N°
A312	TP316/316L		6	8	6,35	8,18	8.1
A358	TP316/316L		6	8	6,35	8,18	8.1
ACCESSOIRES							
A403	WP 316/316L						8.1
A182	F316/316L						8.1
A403	WP 316/316LW-X						8.1

Other : Autres: N/A

Thickness Range Qualified :
Groove : 6,35 mm To 18,7 mm
Fillet : Unlimited Minimum 3 weld passes

Filler metal: *Métal d'apport:* (AWS - ASTM / Class)

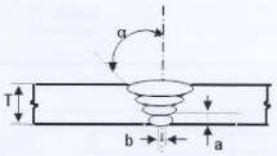
Layer/Pass	Root / Pén.	Fill / Bour.	Cap / Fin.	
Class/Type	ER 316L	E 316L-16	E 316L-16	
AWS-SFA	5.9	5.4	5.4	
F N°	6	5	5	
A N°	8	8	8	
Φ(mm)	2.0 - 2.4	2.5 - 3.2	2.5 - 3.2	

Flux: AWS Class
Flux: AWS Class N /A

Other : Autres: N/A

The brand used by GTP of filler rod and electrode is :THERMANIT ,BOHLER , ESAB

Joint preparation:
Conception du joint:



α = 30°+/- 2,5°

Strink: Talon: a = 1.6± 0.8 mm Gap: Ecartement b = 3.2 ± 0.8 mm

Backing material: Nature supp. Envers n/a

Form: Forme: Dimensions Dimensions:

Preparation: **Ends to be welded are prepared from origin or by cutting or beveling and grinding . They are cleaned from all excess of oxide, rust, greasse or paint.Passes are only schematized . Exact pass dispositions depend on welding parameters chosen.**

Préparation: Les bords à souder sont préparés d'origine ou par découpage ou chanfreinage et meulage. Ils sont débarrassés de tout excès d'oxyde, rouille, graisse ou peinture. Les passes sont seulement schématisées. Les dispositions exactes des passes dépendent des paramètres de soudage choisis.

Other : Autres: N/A

Shelding Gas :
Gas de protection:

Comp. Comp. Ar 99,99 % (All pass) Flow Rate: Débit (l/min) 12 to/à 20

Backing gas Comp. Protection envers comp. 6 to/à 10

Backing Flow Rate: Débit envers (l/min)

Other : Autres: **Backing gas shall applied until completion of second layer.**

Adjustement :
Fixation:

Method Mode: by tack weld or external clamp / par points de soudure ou par clamp exterieur

Duration Durée: Until welding of the root pass. / Jusqu'à réalisation de la passe de pénétration

Annexes

Welding Procedure Specification
Spécification de soudage

Sheet: 2/4
Feuille :

Nbr: HRM3-PPAG-15 Rév: 01
N°:

Welding Position:
Position de Soudage:

Layers/Passes	Root/Pén.	Fill/Bour.	Cap/Fini.
ASME Position	5G	5G	5G
Rot. Or/ou fix.	Fixe	Fixe	Fixe
Prog./Progression	Up hill/Mont.	Up hill/Mont.	Up hill/Mont

Rotation direction: N/A

Other : Autres: **All position at boosting site**

PreHeat:
Préchauffage:

Base metal / Métal de base	Wall Thickness /Epaisseur Parois
All / Tous	10°C Min

Method: Méthode: Propane Torche / Torche propane
Inspection Contrôle : Thermochrome Pens / Crayons thermochromes
Other : Autres: Pyrometre / Pyrométre

Electrical characteristics & Welding Technique:
Technique d'exécution du joint et caractéristiques électriques

Layers / Passes	Root / Pénétration	Fill / Bourrage	Cap / Finition	
Welding Process /Procédé de soudage	GTAW	SMAW	SMAW	
Welding Position /Position de Soudage	All positions for Site			
Current & polarity /Courant & Polarite	DC (-)	DC (+)	DC (+)	
Filler métaL / Métal d'apport	ER 316L	E 316L-16	E 316L-16	
Φ Electrode / Electrode (mm)	WT 2.4	2.5 - 3.2	2.5 - 3.2	
Φ Rod / Fil (mm)	2.0 - 2.4			
Amp. Range / Gamme d'intensités (A)	100 - 110	80 - 120	80 - 120	
Volt. Range / Gamme de tension (V)	10 - 12	21 - 29	21 - 29	
Travel speed/Vitesse d'avance (cm/mn)	4 - 9	5 - 12	5 - 12	
Heat Input / Energie (kj/cm) MAX	13,14	13,88	13,27	
Gas / Gaz	Ar 99.995%			
Flow Rate / Débit (l / min)	12 - 20			

The number of passes in filling and capping depends on the thickness to be welded.
Le nombre de passes en bourrage et finition dépend de l'épaisseur à souder.
In filling and capping, passes can be done by juxtaposed beads.
En bourrage et finition, les passes peuvent être faites par cordons juxtaposés.

Other : Autres: **weaving width limitation such as 3 times of diameter.**

Interpasses Cooling
Refroidissement entre passes

Between the root and the second passes:
Entre passe de pénétration et 2ème passe:
Temperature / Température : **175°C Max.**
Time / Temps **/**

Between other passes: Entre autres passes:
Temperature / Température : **175°C Max.**
Time / Temps **/**

Welding interruption permited at :
Interruption soudage autorisée à partir:

Other : Autres: **N/A**

Postweld Heat Treatment: **N/A**
Traitement thermique après soudage:

Heating rate: Régime de mise en T° — Cooling rate : Régime de refroidissement:
Holding Temperature/Time: Température/Temp de maintien:
Cooling Controlled until: Refroidissement contrôlé jusqu'à:
Materials: Appareillages:

Other : Autres: **N/A**

	Welding Procedure Specification Spécification de soudage Nbr: N°: HRM3-PPAG-15 Rév: 01	Sheet: 3/4 Feuille :

Beads Aspect:

Aspect des cordons:

The current of welding and the manner to deposit the metal will insure a complete fusion, without lack of fusion on the bevel faces and the adjacent zone of parent metal.

Le courant de soudage et la manière de déposer le métal assureront une fusion complète, sans manque de liaison sur les faces du chanfrein et la zone voisine du métal de base.

It will have to satisfy to a visual examination in accordance with codes and standard requirements.

Il devra satisfaire à un examen visuel conforme aux exigences des codes et standards en vigueur.

Other : Autres: **N/A**

Cleaning:

Nettoyage:

After each pass and after slag removal, all apparent defect will be removed by brushing and/or grinding before carrying out the next pass.

Après chaque passe et après enlèvement du laitier, tout défaut apparent est enlevé par brossage et/ou meulage avant l'exécution de la passe suivante.

Other : Autres: **N/A**

Tests & results interpretation:

Essais et interprétation des résultats:

The procedure approval tests and welders qualification shall be carried out according to:

Les essais d'homologation de la procédure et de qualification des soudeurs seront réalisés conformément à:

ASME IX + B31.3 + SPEC.CLIENT.S-3000-1520-201

Other : Autres:

Test coupon

Coupon de test

Base metal Métal de base	Dimensions Dimensions	Thickness Epaisseur (mm)

Other : Autres: **N/A**

Remarks:

Observations Générales:

Prepared by/ Etablie par: **Y.HIMEUR**

Inspection:

Contrôle:

Visual / Visuel: **yes**/oui

Radiographic / Radiographique: **yes**/oui

Ultrasonic / Ultrason: **N/A**

Penetrant / Ressuage: **N/A**

Magnetic particles/ Magnetoscopie: **N/A**

Other : Autres: **Refer to Inspection specification** spécification de contrôle Voir

Remarks

Observations

Impact test at (- 29 ° C)

Certification Organism: Organisme de réception:

Specification approuved on (Date):

Spécification approuvée le:

By (Name):

Par (nom):

Signature: Signature:

Stamp: Cachet:

Radiographic examination of stainless steel welding pipeline

ZERROUATI Wafa [1], SIGA Chahrazed [1], BELHADJ Abd-Elmouneïm [2], and BENREKIA Ahmed Réda [1]

[1] Département de Génie des Procédés et Environnement, Faculté de Technologie, Université Yahia Fares de Médéa 26000

[2] Laboratoire de Biomatériaux et Phénomène de Transport LBMPT, Faculté de Technologie, Université Yahia Fares de Médéa 26000

E-mail: E-mail: belhadj_1@yahoo.fr

Tel : +213 7 71 26 61 29 , Fax : + 213 25 78 50 59

Abstract

Our study is devoted to the welding of base metal which is a pipe of stainless steel [(A312, TP316L grad) of 16% Cr, 12 % Ni and 2% Mo], with a filler metal (type ER 316L).

Then we have to control our pipe using a non –destructive testing (NDT) that is a wide group of analysis techniques used in science and industry to evaluate the proprieties of a material without causing a damage.

The NDT used called the radiography examination, which is the most known method applied to indicate and detect the internal and external defects of the materials with a radiation (X-ray and Gamma-ray) to assure the high image quality .

Keywords: Pipeline, Radiography, Radiation, Films, Non-destructive, Test, Welding.

1. INTRODUCTION

Tubing is the most important in pipe construction, so we have to assured the high quality by choosing an appropriate base and filler metals using the special joined and control techniques.

Stainless steel is iron-base alloys that contain a minimum of about 12 % Cr more 50% iron, they achieve there stainless characteristics through the formation of an invisible and adherent chromium [1].

Welding is a process in which two or more parts are joined permently at their touching surface by a suitable application of heat and pressure. Often a filler material is added to facilitate coalescence. The assembled parts that are joined by welding are called a weldmett [2]. Welding can create some defects, so we detect it by using a type of "**NON-DISTRUCTIVE TESTING**" called "**radiography test**». Radiography is used in a very wide range of application including medicine, security and engineering… [3].

In **NDT,** radiography is one of the most important and widely used methods of inspecting materials for hidden flaws by using the ability of short wavelength electromagnetic radiation (high energy photons) to penetrate various materials [4]. The intensity of radiation that penetrates and passes through the material is either captured by a radiation sensitive film (film radiography). Film radiography is the oldest approach, yet it is still the most widely used in **NDT** [5].

2. Material and method

Our sample is the stainless steel .it is prepared by two parts of base metal (**type**: A312, TP316 **grad**, 8"**pipe diameter** and a **thickness** between 8.18 mm]), they are welded with a filler metal having the informations below: (ER316L **root**, E316-16 **fill** and E316L-16 **cap**).

Ends to be welded are prepared from origin or by cutting or beveling and grinding. They are cleaned from all excess or oxide ,rust, grease or paint .passes are only schematized .exact pass dispositions depend on welding parameters chosen ,also we make a gas chamber using the **Argon** to protect the joint and empty the oxygen to avoid its deterioration. The used methodconsist to the **GTAW** and **SMAW** [6].

To assure the high quality of the piece, we need to control it by the radiography examination which detect the defects so we can repair it or we accept it according to the **ASME NORME**.

3. Results and discussion

3.1. PRESENTATION OF SAMPLE:



A **B**



C

Figure 1: Photos of sample used in this study

(A): during welding, (B): radiography technique, (C): films development laboratory.

3.2. RADIOGRAPHY EXAMINATION

After welding, we go to the next step which is the radiography examination where we surround the pipe with three films in followed positions. A source of radiation emission is placed on the center of the controlled pipe and the radiography film is put on the outside .a several parameters will intervene in the taking of the snapshots in

order to be able to determine the exposure time of piece to the radiations in order to obtain the image [7].

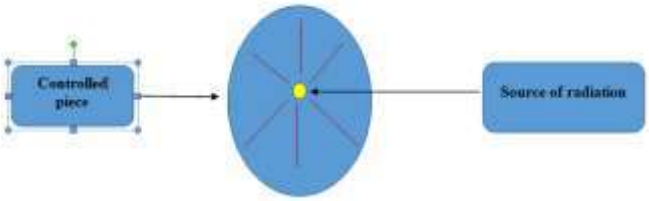


Figure 2: Schema of the radiography examination

We developed the radiography films in the laboratory .first we penetrate the films in the developer, we rinse it, then we put them in the fixer to obtain the image and rinse it again [8].

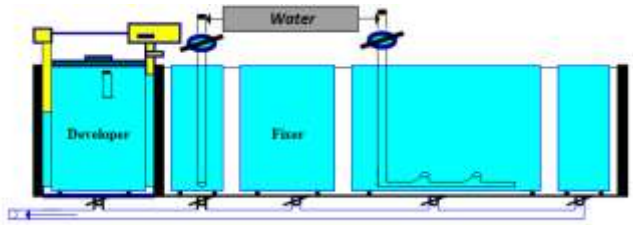


Figure 3: diagram of the device used in this study

In the last, we let the films dry to interpreter in the **NEGATOSCOPE**. The processed film (or image) can usually viewed by placing it front of a screen providing white light illumination of uniform intensity such that the light is transmitted through the film such that the image can be clearly seen [9].



Figure 4: Photography of the Negatoscope for film interpretation

*** RADIOGRAPHIC "IMAGE" DENSITY AND EXPOSURE TIME**

After taking a radiographic image of a part and processing the film, the resulting darkness of the film will vary according to the amount of radiation that has reached the film through the test object.

The darker areas indicate more exposure and lighter areas indicate less exposure.

$$\text{Density} = \log I_0 / I_t.$$

I_0: intensity of the light incident on the film.

I_t: intensity of the light transmitted through the film.[10]

To have the exact value, we measure it using a densitometer.



Figure 5: Photography of the densitometer

$$\text{Density} = 2.4$$

$$T = (Q*D^2*K*N)/(A).$$

Q: exposure factor.

D: distance between film –source.

K: speed coefficient.

N: corrective factor of density.

A: activity of the source. [11]

Using **the GammaCalc v2.4** application, we obtain the **exposure time value**

T=2 min

*** Film interpretation**



(D)



(E)



(F)

Figure 4: Radiographic film of stainless steel that was used in our study.

(D): [00-25] ⟹ ACC.

(E): [25-50] ⟹ ACC.

(F): [50-00] ⟹ ACC.

In our sample, we did not have any defects soaccording to the **ASME NORME**, the welded joint is accepted [12].

4. CONCLUSION

Radiography test is suitable for testing welded joints that can be accessed from both sides, with the exception of double wall signal image techniques used in pipes.There are two different radioactive sources available for industrial use, X–ray and Gamma-ray.

Although this is a non-destructive test method, it is dependable way to detect defects (porosity, inclusion, cracks and voids in weld interiors).

It is a procedure used in industries to obtain information non-destructively about the internal structure of pipes.

References

[1]: ASM international, materials park,Ohio,USA, www.asminternatuional.org

[2]: Mikell P. Groover," Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes, and Systems», 4th edition, JOHN WILEY & SONS, INC., 2010.

[3]: R.OUMOUSSA. La radiography industriel, 2009.

[4] : Martin viens, prof. MEC 761, Essais mécaniques et contrôle non-destructif.

[5]: Dr Ala Hijazi. Introduction to non-destructive testing techniques.

[8]: the fondamentals of industrial radiography. Ref No .IX 22-2009.02.F1029.

[6]: GTP ,welding procedure specification ,projet , realization des installations de separation et de compression entre boosting phase 3 –HASSI R'MEL – N°: HRM3-PPAG-15 , 2018.

[7]: technologie des rayons X, PRG-9-0001 ,2005.

[8]: the fondamentals of industrial radiography. Ref No .IX 22-2009.02.F1029

[9]:notas de aula preparadas pelo prof .Juno Gallego para a disciplina lab. Mareiais de construcao mecanica II**.**

[10]: A. Gonzalez-Lopez, useful optical density range in film dosimetry: limitation due to noise and saturation, phys.Medboil, 52, N321-N327 (2007).

[11] : GTP, programme de formation, PRG-9-0001, page 27, 2007.

[12]: ASME NORME B31.3, 2017.