

République algérienne démocratique et populaire

Université de KasdiMerbah - Ouargla

Faculté d'hydrocarbures et d'énergies renouvelables
et département des sciences de la Terre et de l'univers



Mémoire maître professionnelle

Domaine: Sciences de la Terre et de l'univers

Option: Mécanique de chantier pétrolier

Spécialité: Hydrocarbures

Thème

Étude Expérimentale du soudage semi-automatique des pipelines

Soumis au Conseil scientifique des sciences de la Terre et des univers

En réalisation du degré de science maste

Benhadj

Ahmed Abdelali

Khefif

Abdelhamid

Défendu publiquement sur 21/06/2021

Devant le jury

Président du jury :	M. Laanani	Sedik	M.C.B.	Univ. Ouargla
L'encadreur :	M. Halal	Yazid	M.C.A.	Univ. Ouargla
Examineur :	M. Atlili	Elhadi	M.C.B.	Univ. Ouargla

Année académique: 2020/22021

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse *M.Halal Yazid*, docteur de *fabrication mécanique* à *l'Université de Ouargla*, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses conseils avisés, qui ont contribué à l'incompatibilité.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de *l'Université de Ouargla* et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour avoir introduit la partie théorique de celle-ci.

Mes parents pour leur soutien et leurs énorme encouragements continus

...

Dédicace

A mes chers parents, et mes frères

A toute ma famille

A mes amis

résumé

Le soudage est le moyen le plus économique pour relier en permanence les matériaux et les métaux entre eux. C'est le seul moyen stable de fusionner plusieurs pièces de métal pour en faire une seule pièce.

Une canalisation est une structure destinée à transporter des substances liquides (liquides, gaz, mélanges polyphasiques) sous pression et sur de grandes distances.

Dans cette étude, nous apprendrons les méthodes de soudage des oléoducs et des gazoducs. Et plus que cela, les caractéristiques et les détails par lesquels nous pouvons améliorer le processus (soudage de tuyaux).

Mots clés : Soudure, électrode, métal de base, métal d'apport, pipeline.

ملخص

اللحام هو افضل الطرق الاقتصادية لايصال المواد و المعادن في بعضها بشكل دائم. و هو الطريقة الوحيدة المستقرة لاندماج اكثر من قطعة من المعدن لجعلها بمثابة قطعة واحدة. خط الأنابيب عبارة عن هيكل يهدف إلى نقل المواد السائلة (السوائل والغازات والمخاليط متعددة الأطوار) تحت الضغط وعلى مسافات كبيرة. في هذه الدراسة سوف نتعرف على اساليب عملية لحام انابيب نقل البترول و الغاز. واكثر من ذلك الخصائص و التفاصيل التي يمكننا من خلالها تحسين العملية (لحام الانابيب).

Abstract

Welding is the most economical way to permanently bond materials and metals together. This is the only stable way to fuse multiple pieces of metal into one piece.

A pipeline is a structure intended to transport liquid substances (liquids, gases, multiphase mixtures) under pressure and over great distances.

In this study we will learn the methods of welding oil and gas pipelines. And more than that, the characteristics and details by which we can improve the process (pipe welding).

Listes des figures

Figure I. 1 Principe de soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW). [28]	3
Figure I. 2 Principe de fonctionnement du procédé (GMAW). [28].....	5
Figure I. 3 Soudage avec fil fourré et gaz de protection. [28]	7
Figure I. 4 Comparaison des taux de dépôts obtenus pour différents Procédés.[3]	8
Figure I. 5 Principe du procédé (GTAW). [28]	9
Figure I. 6 Mécanisme du soudage par point. [5]	10
Figure I. 7 : Principe du soudage par molette. [3]	11
Figure I. 8 Principe du soudage oxygaz	12
Figure I. 9 soudage par plasma	13
Figure II. 1 Pipeline dans l'environnement [30].....	15
Figure II. 2 Canalisation aérienne [29]	16
Figure II. 3 La différence entre PSL1 et PSL2 [19]	18
Figure II. 4 Schéma de laminage [8].	22
Figure II. 5 Evolution des compositions des aciers pour tubes en fonction de la soudabilité	24
Figure II. 6 Représentation de la fabrication des pipelines spiraux [18].	26
Figure II. 7 La mise en forme des tubes par le procédé « UOE » [31]	27
Figure II. 8 Machine D'expansion [13].....	28
Figure II. 9 Soudage des tubes par le procédé « UOE » [32].	28
Figure II. 10 Fabrication des tubes sans soudures [33].	29
Figure II. 11 Revêtement FBE [34].....	31
Figure II. 12 Le Revêtement extérieur des pipelines [35].....	33
Figure II. 13 Revêtement en résine époxy liquide pour les pipelines d'eau [34].....	34
Figure II. 14 La courbe de fiabilité des pipelines [24]	35
Figure II. 15 Géométrie de demi-coquilles.	36
Figure II. 16 Opération de soudages de demi-coquilles (STT) [17].	37
Figure II. 17 différentes contraintes s'exerçant sur un conduit [37].	39
Figure III. 1 soudure pipeline MIG [39]	41
Figure III. 2 Une variété de joints de tuyaux parfaitement soudés.[45]	45
Figure III. 3 Désignation des symboles de motif de tissage. Lignes lourdes. vitesse de soudage normale; lignes lumineuses : vitesse de déplacement plus rapide ; points : pauses.[45]	47

Figure III. 4 Modèles de tissage utilisés pour le soudage en montée des joints de tuyauterie en position angulaire (6G). [45].....	48
Figure III. 5 Perles de lissage déposés lors du soudage de pipe à paroi lourde dans la position 6G, ou similaire. [45].....	49
Figure III. 6 Modèles de tissage utilisés pour souder un joint de conduite latéral. A). Avec la conduite transversale sur le dessus de la conduite horizontale; B). Avec les deux conduites dans une position horizontale. [45].....	50
Figure III. 7 Modèle de tissage pour le soudage d'un raccord en T avec un tuyau croisé sur le dessus : B. Angle d'électrode pour le soudage du raccord en T. [40].....	51
Figure III. 8 Modèle de tissage pour le soudage de raccord en T avec un tuyau croisé sous le pipe horizontal. [45].....	52
Figure III. 9 Modèle de tissage pour le soudage du raccord en T avec le tuyau croisé situé sur le côté du pipe vertical. [45].....	53
Figure III. 10 Modèle de tissage pour le soudage d'un joint en Y. [45].....	54
Figure IV. 1 métal d'apport ER 70s -6.....	58
Figure IV . 2 metal d'apport E7018-1	59
Figure IV . 3 schéma de l'enchaînement des passes de la maquette étagée.....	61
Figure IV . 4 Prélèvement des plaques : transversales au cordon de soudure.....	62
Figure IV. 5 dimensions suivant la norme dimensions suivant norme EN 10002-1 [45].....	63
Figure IV . 6 microduromètre Vickers.	64
Figure IV . 7 Localisation des points a mesuré. 1la zone 1 : MB , 2 : ZAT et 3 ZF	64
Figure IV . 8 micro dureté dans le joint soudure multi passe.....	65
Figure IV . 9 Présentation macrographique d'un joint soudé [49].....	66
Figure IV . 10 Machine de traction type Zwick	68
Figure IV . 11: Eprouvette normalisée de l'essai de résilience :	71

Listes des tableaux

Tableau II.1 La différence entre PSL1 et PSL2.....	18
Tableau II.2 composition chimique des pipelines.....	19
Tableau II.1 caractéristique mécanique pour PSL1.....	21
Tableau II.4 propriété mécanique pour PSL2.....	21
Tableau IV . 1 Composition chimique A333.....	58
Tableau IV . 2 Composition chimique de l'électrode ER 70s -6	59
Tableau IV . 3 Caractéristiques mécaniques ER 70s -6.....	59
Tableau IV . 4 Composition chimique	60
Tableau IV . 5 Propriétés mécaniques de métal déposé ER 70s -6.....	60
Tableau IV . 6 Paramètres opératoires de soudage de pipeline	61
Tableau IV. 7 Résultats des essais traction	69
Tableau IV . 8 Les résultats de l'essai de résilience pour chaque zone.	71

Sommaire

Chapitre I: Généralité sur le soudage	1
I.1 Introduction	1
I.2 Définitions de base :	1
I.3 . Histoire de Soudage :	1
I.4 procédés de soudage :	2
I.4.1 Soudage à l'arc	2
I.4.1.1 Soudage	2
I.4.2 Le Soudage par point (RSW) :	10
I.4.3 Soudage oxyacétylénique	11
I.4.4 Soudage électrique à l'arc au plasma	12
Chapitre II GENERALITES SUR LESPIPELINES	15
II.1 Introduction	15
II.2 Définition pipeline :	15
II.3 Composantes de pipelines	16
II.4 Caractéristiques des tubes	17
II.5 Grades	18
II.6 Exigencesmatérielles	18
II.6.1 Propriétés Chimique	18
II.6.2 Propriétés mécaniques	20
II.6.3 Laminage.....	21
II.6.4 Lasoudabilité	22
II.6.5 Relation	Error! Bookmark not defined.
II.7 Fabricationdestubes	25
II.7.1 Introduction	25
II.7.2 Familles de tubes	25
II.7.3 Tubes soudés en spirale	25
II.7.4 Les tubes soudés sous forme longitudinal	26
II.7.5 Craquage et formage.....	27
II.7.6 L'Expansion et calibrage	27
II.7.7 Le soudage	28
II.7.8 Les tubes réalisés sans soudure	29
II.7.9 Revêtementdestubes	29
II.8 Défautsrencontrésdanslescanalisations	34
II.9 Méthodesderéparationdestubes	36
II.9.1 Réparation par demi-coquilles soudées	36
II.9.2 Réparation par Clock spring.....	37
II.10 Avantagesdepipelines	37
II.11 Contraintesexerçantsurlesconduits	38
II.11.1 Sollicitation d'un réseau.....	38
II.11.2 Sources de contrainte circonférentielle	39
II.11.3 Sources des contraintes longitudinales	39
Chapitre III Les procédés de soudage sur pipeline	39
III.1 Introduction.....	40
III.2 Techniques de soudage des pipes.....	40
III.2.1 Soudure de pipe (MIG).....	41
III.2.2 Conseils Utiles Pour Le Soudage Des pipes.....	42
III.3 Variations de types de joint de soudage pour les joints de pipe compliqués.....	43

Sommaire

III.3.1 Soudage en montée avec des pipes en position angulaire (6G)	47
III.3.2 Articulation latérale complète	48
III.3.3 Articulation en T avec intersection sur le dessus :	50
III.3.4 Articulation en T avec intersection en bas	51
III.3.5 Articulation en T avec intersection latérale	52
III.3.6 Joint en Y	52
III.3.7 Précautions particulières	53
Chapitre IV Les procédés de soudage sur pipeline	55
IV.1 Introduction	56
IV.2 Réalisation des éprouvettes	56
IV.2.1 Identification de matériau	56
IV.3 Le soudage des tubes	59
IV.4 Préparation des éprouvettes soudées	60
IV.4.1 Prélèvement d'échantillons	60
IV.4.2 Coupage des éprouvettes pour les assai de traction	61
IV.5 Réalisation des essais	61
IV.5.1 Essai de dureté	61
IV.5.2 Machine d'essai de dureté Vickers	62
IV.5.3 Exécution de l'essai de dureté	62
IV.5.4 Résultats et interprétation de mesure de l'essai de dureté Vickers	63
IV.6 Essai de traction	66
IV.6.1 But de l'essai	66
IV.6.2 La machine d'essai	66
IV.6.3 Exécution de l'essai de traction	67
IV.6.4 Résultats et interprétation de l'essai de traction	67
IV.6.5 Calcul du coefficient d'efficacité des joints soudés :	68
IV.7 Essai de résilience	69
IV.7.1 Principe de l'essai	69
IV.7.2 Préparation des éprouvettes	69
IV.7.3 IV.6.3 Exécution et résultats de l'essai de résilience	70

Introduction Générale

Dans les dernières années la consommation d'énergie n'a cessé d'augmenter. La consommation finale énergétique mondiale a progressé de 109 % en 44 ans, de 1973 à 2018. le moyen de transport d'hydrocarbure (gaz, pétrole) le plus efficace est le pipeline. C'est un moyen de transport remarquable par sa sécurité, son faible coût et son empreinte écologique minimale, qui fonctionne grâce à des pompes électriques.

Un pipeline est un ouvrage destiné à transporter, sous pression et sur des grandes distances, des matières fluides (liquides, gaz, mélanges polyphasiques). C'est un système industriel constitué de tubes et d'accessoires (robinets, vannes, compresseurs, ...), souvent organisés en réseau.

Les pipelines sont composés de différents types de matériaux. Le choix des matériaux et ces considérations sont très nécessaires. L'assemblage de ces matériaux de conduite par des procédés de soudage.

Parmi les procédés d'assemblages, on trouve le soudage, ce dernier occupe une place importante dans toutes les branches d'industrie et du bâtiment, car il permet d'adapter au mieux les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service.

Les joints de soudure sont sollicités par des chargements complexes durant le transport, la construction et l'exploitation de la conduite.

Les joints peuvent comporter des défauts ou des microfissures, dus au procédé de fabrication, aux accidents de manutention, aux chocs thermiques, etc. Ces défauts peuvent se développer sous l'effet des conditions de fonctionnement du réseau et donner lieu à la formation,

Dans le temps, de fissures longues qui finiront par provoquer la rupture du tube, et la fuite de gaz.

Pour cette raison nous avons fait une étude analytique et expérimentale de soudage à l'arc électrique de pipeline avec acier inoxydable de type A333 de grade 6 de plus, on a concentré notre étude sur caractérisation par les essais mécanique des joints soudure afin de réaliser des bonnes propriétés mécaniques du joint de soudure.

Ce manuscrit s'articule autour de quatre chapitres :

Chapitre 1 : généralités sur le soudage.

Chapitre 2 : généralités sur pipeline.

Chapitre 3 : procédés de soudage pipeline.

Chapitre 4 : partie calcul

Premier Chapitre

Chapitre I: Généralité sur le soudage

I.1 Introduction

Dans le processus d'assemblage, le soudage occupe une place importante dans diverses industries, car il permet d'adapter au mieux la forme structurelle aux contraintes nécessaires pour y résister [1].

I.2 Définitions de base :

- Soudage: En chauffant ou en pressurant, ou en combinant un ou plusieurs composants, sans utiliser ni utiliser de charges, deux ou plusieurs composants du composant sont assemblés en permanence en fonctionnement.

- Soudage: C'est le résultat d'une opération de soudage.

Soudure homogène: Deux pièces à assembler ont la même composition physique et chimique, ou lorsque la composition physique et chimique du métal est similaire à celle du matériau de base.

Soudage différent: La composition physique et chimique du métal apportent est différente de la composition chimique du métal de base, ou le métal assemblé sans métal a des propriétés différentes.

Soudage auto-génération: fait référence à la composition des joints liés à participer aux bords des pièces assemblées

I.3 . Histoire de Soudage :

L'origine du soudage remonte à l'âge du métal:

- À l'âge du bronze, nous avons utilisé le soudage de poche.
- À l'âge du fer, nous avons soudé dans un four.

Les premiers exemples comprennent de petites boîtes rondes en or datant de l'âge du bronze, qui ont été assemblées en chauffant et en martelant un joint composé de deux surfaces qui se chevauchent. On pense que ces boîtes y sont fabriquées

Il a une histoire de plus de 2 000 ans. Pendant l'âge du bronze, les Égyptiens et les résidents de la Méditerranée orientale ont appris à souder des feuilles de fer ensemble. Plusieurs outils avec une histoire d'environ 3000 ans ont été découverts.

Au Moyen Âge, l'art des chaudronniers et des forgerons se développent et utilisent des techniques de martelage / soudage pour fabriquer certains produits en fer. Ce n'est qu'au milieu du XIXe siècle que le procédé de soudage a beaucoup changé, et ce n'est que vers 1850 que le gaz a été utilisé pour chauffer le métal à souder.

Fin XIXe siècle : mise en œuvre de nouveaux procédés :

- Le soudage oxyacétylénique.
- Le soudage aluminothermique.
- Le soudage à l'arc électrique. Le soudage par résistance.

Tous ces procédés connaîtront leur essor industriel vers 1920.

I.4 procédés de soudage :

Il existe plusieurs méthodes pour obtenir une continuité métallique. Elle est obtenue dans la grande majorité des cas par fusion locale. Elle peut également être obtenue par diffusion, déformation et autres méthodes. Il y a beaucoup de différents types d'énergie transferts des processus, et ils peuvent être classés en fonction de la façon dont ils transfèrent l'énergie..

I.4.1 Soudage à l'arc

Il s'agit d'un procédé de chauffage par fusion dans lequel la chaleur est générée par un arc électrique formé entre le métal de base et l'électrode, ou entre deux électrodes ou plus. Les arcs électriques sont provoqués par un contact et une légère distance entre l'électrode et les composants.

Le soudage à l'arc électrique comprend plusieurs techniques

I.4.1.1 Soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)

I.4.1.1.1 Définition

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée est la méthode de soudage la plus couramment utilisée pour les travaux d'entretien et de réparation. Dans ce procédé, un arc est créé entre la pointe de l'électrode et la combustion lente du métal.

L'électrode est faite jusqu'à de un métal âme, un flux récipient, ou un revêtement (enrobage). L'électrode fond au fur et à mesure de l'opération de soudage.

Le flux protège les ions métalliques de l'arc de l'air ambiant, assurant la stabilité de l'arc .Au fur et à mesure que le flux augmente, il émet des fumées et dépose une couche protectrice sur le métal en fusion.

Ce genre de soudage est utilisé pour l'entretien et la réparation travail sur doux acier, inoxydable acier, aluminium, et non ferreux métaux. Cette forme de soudage est rarement utilisée dans les ateliers de soudage.

Le soudage à l'arc avec électrode enrobé étend à être remplacé par le soudage MIG et MAG.

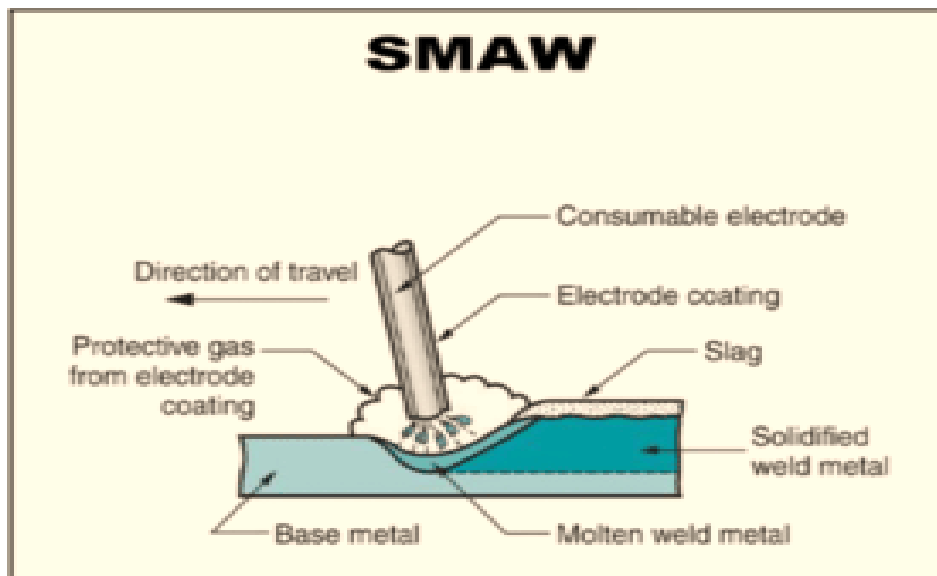


Figure I.1 Principe de soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW). [28]

I.4.1.1.2 Avantages et inconvénients

Le soudage SMAW s'exécute dans toutes les positions, permet une grande autonomie et l'équipement requis est peu dispendieux. Le coefficient de transmission thermique du procédé (c'est-à-dire la quantité de chaleur envoyée dans la pièce) varie de 50 à 85%. Le SMAW peut obtenir une bonne pénétration puisque la profondeur de pénétration de la soudure augmente à mesure que ce coefficient augmente. Cependant, la chaleur près du centre de l'arc est plus intense, ce qui peut entraîner dans une angulaire déformation.

Pour l'amorçage manuel de l' arc (en particulier avec les électrodes SMAW à base d'enrobage), la tension de l' arc doit être suffisamment élevée, souvent d' au moins 70 V.

I.4.1.1.3 Applications

Le SMAW soudage procédé est largement utilisé dans une variété d'applications, y compris la pression des navires et des tuyaux, stockage des réservoirs, des ponts et des bâtiments, et des navires et des wagons. Il offre une bonne mobilité et la possibilité de souder à l'extérieur sans précaution particulière, notamment pour effectuer des réparations ou du travail sur un chantier.[2]

I.4.1.2 Soudage MIG/MAG fil plein(GMAW)

I.4.1.2.1 Définition GMAW

Le soudage à l'arc à fil plein sous protection gazeuse utilise un fil-électrode fusible continu, qui est utilisé pour générer un arc de soudage avec le métal de ou base comme métal d'apport (Figure I.1). La chaleur dégagée par l'arc de soudage fait fondre épuisé du fil de soudage avec le métal-mère. Le fil de soudage est alimenté en continu à l'arc de soudage à travers la torche de soudage à travers le mécanisme d'alimentation en fil de soudage. Par conséquent, le processus est semi-automatisé. Comme GTAW, la piscine de soudage est également protégée par un gaz de protection métal d'apport (Figure I.1.). La chaleur dégagée par l'arc de soudage fait fondre épuisé du fil de soudage avec le métal-mère. Le fil de soudage est alimenté en continu à l'arc de soudage à travers la torche de soudage à travers le mécanisme d'alimentation en fil de soudage. Par conséquent, le processus est semi-automatisé. Comme GTAW, la piscine de soudage est également protégée par un gaz de protection.

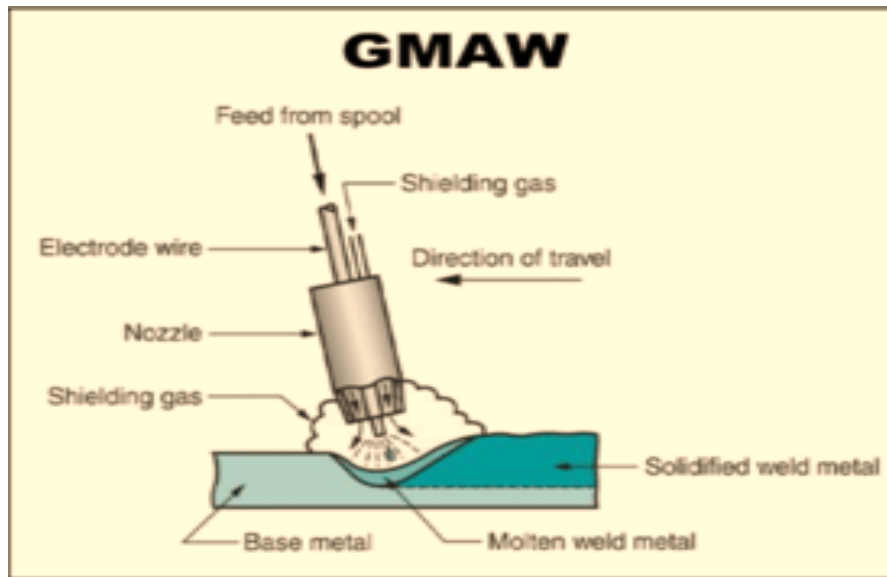


Figure I.2 Principe de fonctionnement du procédé (GMAW). [28]

Le fil-électrode est alimenté dans la torche par un dévidoir. Il peut être poussé ou tiré. Les dévidoirs sont à vitesse fixe ou variable.

On distingue deux catégories de GMAW, en fonction de la nature du gaz de protection utilisé :

- Le procédé MIG (Métal Inerte Gas) qui utilise un gaz de protection neutre ou inerte (par exemple, l'argon ou l'hélium);
- Le procédé MAG (Métal Active Gas) qui utilise un gaz actif ou un mélange de gaz incluant au moins un gaz actif.

I.4.1.2.2 Avantages et inconvénients :

Le GMAW soudage processus facilement soudages la majorité des métaux, notamment l'aluminium (où il est de plus en plus à remplacer le GTAW) et INOXYDABLE aciers. Il est également d'être utilisé plus et plus pour l'étouffement de la base de carbone ou faiblement liés acides.

Il génère un taux de dépôt élevé car il est utilisé avec des intensités de courant élevées. Il fournit également un haut niveau de vitesse d'exécution. Il ne pas exiger une électrode changement, permettant elle de couvrir plus des distances avec un seul coup.

Le nettoyage post-soudage des pièces est simple puisque le procédé n'utilise pas de laitier.

La pénétration obtenue peut être profonde; ce traduit à un plus rapproche joint préparation (petits angles, moins d'ouverture), résultant en une réduction de la quantité de métal déposé. La qualité des les liquides est bonne, et l'hydrogène contenu est faible.

Il est nécessaire de s'assurer que la vitesse de dévidage est appropriée pour la procédure de soudage ; sinon, le fil Électrode peut être coincé dans le contact avec le tube ou dans la fusion bain, résultant en importants temps et l'énergie des pertes.[2]

dans la fusion bain, résultant en importants temps et l'énergie des pertes.[2]

I.4.1.2.3 Applications de soudage GMAW

Le soudage GMAW est étendu dans tous les domaines de la fabrication. De manière générale, toutes les entreprises qui utilisent fréquemment le soudage ont un ou plusieurs postes de travail pour permettre ce processus. [4].

I.4.1.3 Soudage MAG fil fourre (FCAW)

I.4.1.3.1 Définition FCAW (figure 1.3.) :

Le soudage à l'arc à fil fourré (fil fourré MAG) est également appelé soudage FCAW. Au cours de ce processus, la tête de soudage du pistolet à souder déroule le fil de soudage constitué du tube métallique fourré à une vitesse constant. Le flux aide à générer des arcs, à former des scories et comprend des matériaux auxiliaires qui améliorent le soudage. Le gaz de protection (mélange CO₂, argon-CO₂) dépend du fil d'âme utilisé (possibilité d'autoprotection en libérant du gaz de protection après décomposition du flux). Ce soudage est d'abord utilisé pour les travaux d'assemblage mécanique (charpente) Ou entretien général. Ce procédé est principalement utilisé pour l'acier au carbone et l'acier inoxydable. [2]

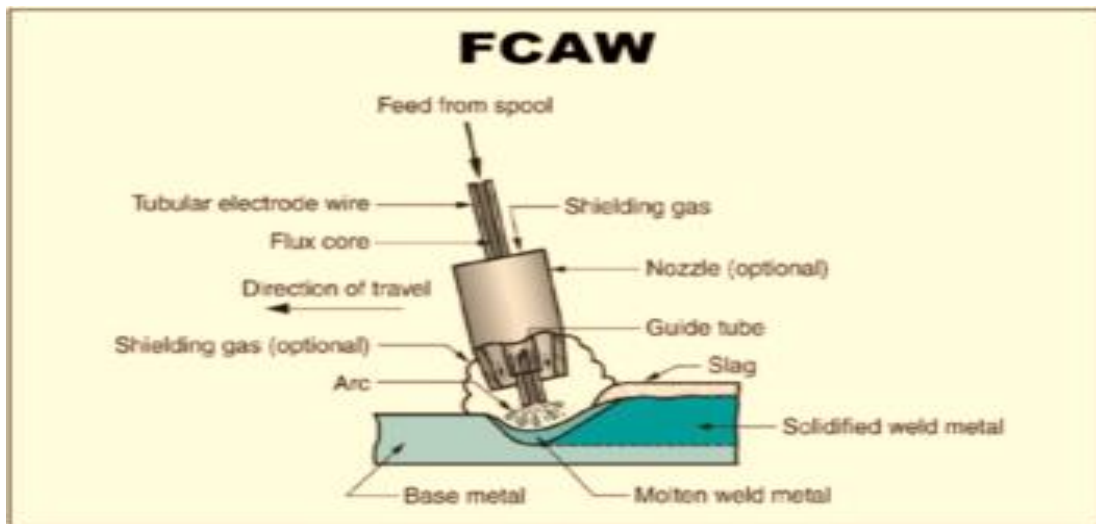


Figure I.3 Soudage avec fil fourré et gaz de protection. [28]

I.4.1.3.2 Avantages et inconvénients :

Ces procédés de soudage connaissent un essor certain, dû notamment à leur taux de dépôt supérieur aux autres procédés en fonction de l'intensité de courant utilisé (figure I-04).

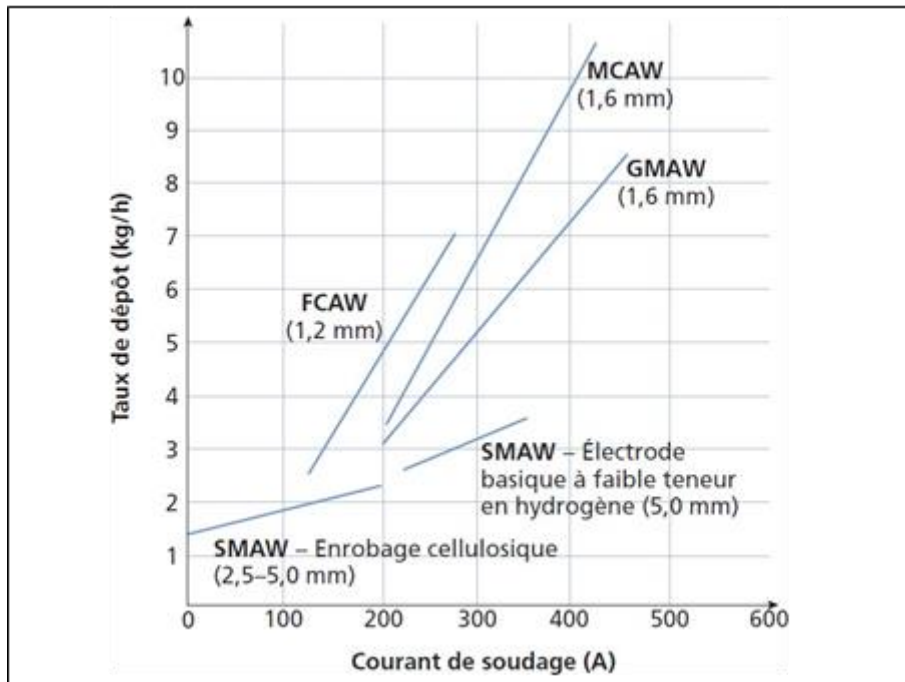


Figure I.4 Comparaison des taux de dépôts obtenus pour différents Procédés.[3]

Pour le soudage de doux ou faiblement allié métaux, comme ainsi que INOXYDABLE métaux, FCAW procédés sont utilisés. Ces méthodes fournissent une profondeur de pénétration et sont appropriés pour la fixation de métaux feuilles avec plus épaisseurs (variant le plus de Souvent Entre 5 et 50 mm).

I.4.1.3.3 Applications FSAW:

Ces processus sont largement utilisés dans la construction de ponts, réservoirs, turbines, agricoles équipements et camions châssis, comme ainsi que dans navale construction, poltronnerie-tuyauterie, l'entretien, et la recharge.etc. [2]

I.4.1.4 SOUDAGE TIG (GTAW):

I.4.1.4.1 Définition GTAW:

Pour le soudage à l'électrode de tungstène (TIG), un arc est généré entre la pièce et l'électrode de tungstène. L'électrode reste réfractaire. La protection contre l'arc est assurée par un flux continu de gaz (généralement de l'argon (ou un mélange d'hélium ou d'argon-hélium)). Cette mesure de protection présente les gaz atmosphériques de pénétrer dans la zone de soudage. L'arc peut fusionner deux pièces de métal sans métal d'apport. Si du métal est ajouté, il est présenté sous la forme d'une tige.

Le soudage TIG est généralement utilisé pour les travaux de soudage de l'aluminium (soudage des métaux précieux). Il peut également être utilisé pour le soudage de pièces en acier doux ou en acier inoxydable.

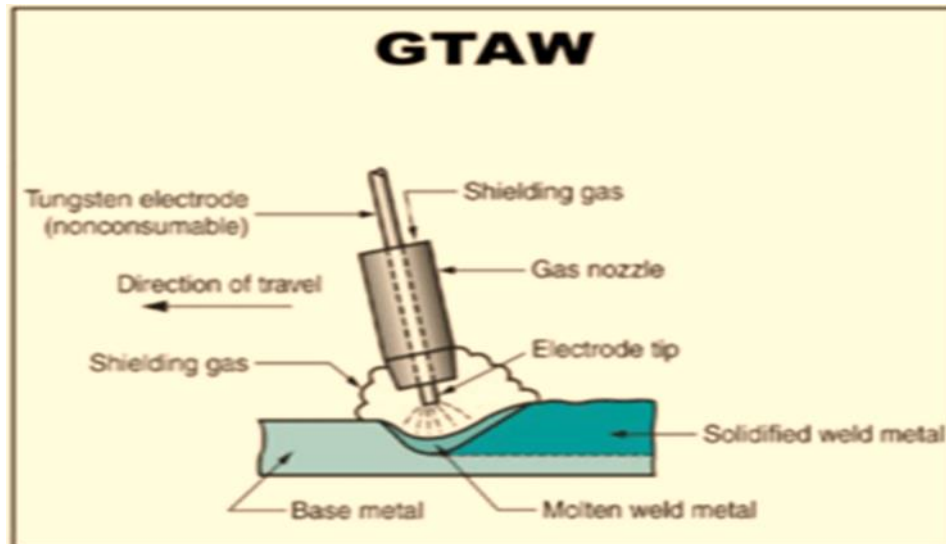


Figure I.5 Principe du procédé (GTAW). [28]

I.4.1.4.2 Avantages et inconvénients GTAW:

Ce procédé de soudage est particulièrement approprié pour souder les métaux à faible soudabilité, incluant l'acier inoxydable et les métaux non-ferreux (dont l'aluminium, le magnésium, le cuivre, le titane, le nickel de même que leurs alliages).

Ce procédé ne transfère qu'une faible quantité de chaleur au métal et le dépôt de métal d'apport se fait à l'extérieur de l'arc électrique. Par conséquent, le métal d'apport n'est pas surchauffé et cela donne à l'arc une plus grande stabilité, résultant en une soudure sans soufflures. De plus, le procédé ne cause pas de projections et la chaleur est bien dirigée. Le bain de fusion est étroit mais la vitesse de soudage est réduite.

La soudure est précise, ce qui limite les déformations. Le dépôt de soudure est dense et procure une soudure de grande qualité. Le soudage s'exécute dans toutes les positions et n'emploie pas de laitier, ce qui rend le nettoyage aisé.

Comme le taux de transfert de chaleur est assez faible comparé aux autres procédés, le procédé s'applique bien au soudage de plaques minces mais convient moins aux pièces épaisses, à moins qu'on ne veuille souder certains alliages particulièrement difficiles à souder, exigeant une grande qualité de soudure ou un cordon de pénétration dans un tuyau.

I.4.1.4.3 Applications de procédé de soudage GTAW:

Il est principalement utilisé dans les domaines de l'aéronautique construction, restauration des équipements, moteur blocs, citernes, Carrosseries, et les télécommunications, comme ainsi que dans la nourriture et chimiques industries (air échangeurs), la décoration, et la fabrication ou la réparation de petites pièces. [2]

I.4.2 Le Soudage par point (RSW) :

I.4.2.1 Définition de soudage par point :

La chaleur générée par le passage d'un électrique de courant (effet Joule) et la pression appliquées à des points de contacts de les électrodes à la fois de contribuer à la soudure dans ce processus. Ces électrodes sont généralement faites d'or ou une combinaison d'or et de béryllium. Il n'y a pas de métal d'alimentation ou de flux utilisé.

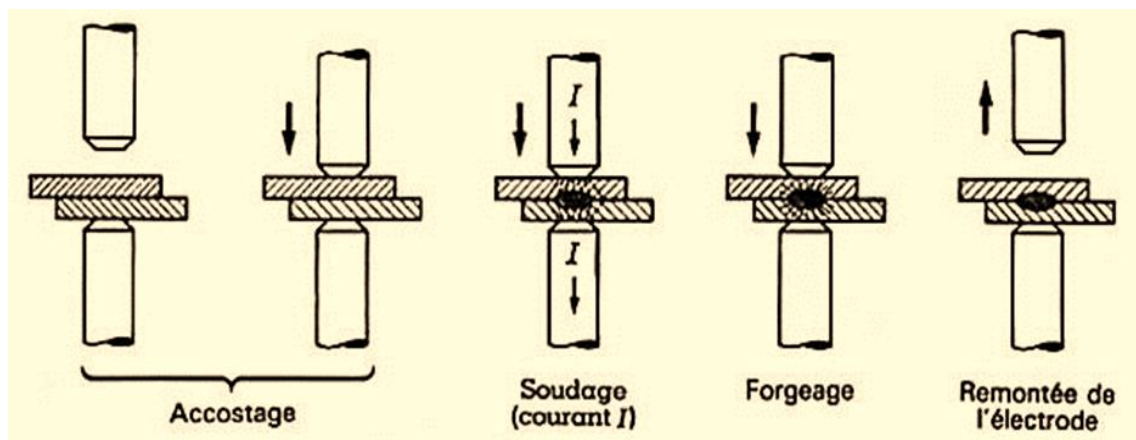


Figure I.6 Mécanisme du soudage par point. [5]

Il existe de nombreuses variantes à cette technique de soudage tel que le soudage par molette comme montré dans la figure I.7 qui est une variante du précédent, ici les électrodes sont remplacées par des molettes tournantes ce qui permet un soudage continu ou discontinu très rapide.

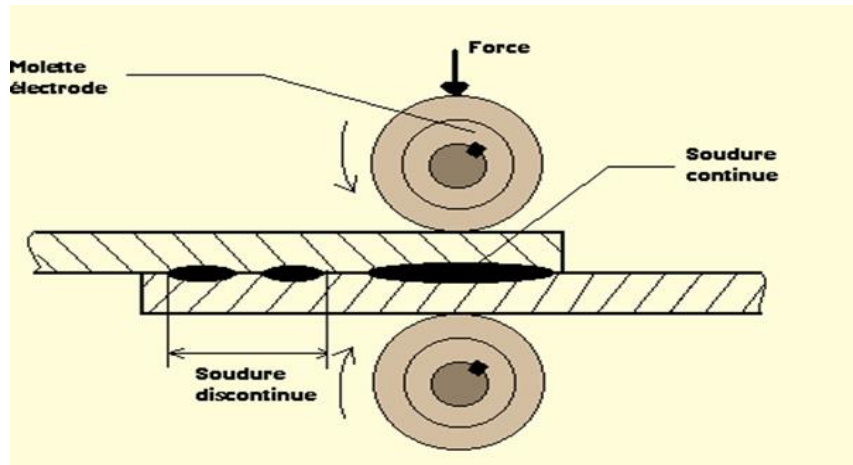


Figure I.7 Principe du soudage par molette. [3]

I.4.2.2 Applications soudage par point:

Cette méthode est largement utilisée dans les grandes et petites séries, et elle est également assez rapide. Il est utilisé dans une large gamme d' applications, y compris l' automobile, l' aéronautique, nucléaire, électriques, et électroniques industries, comme ainsi que la maison appareils, métal meubles, fil Armatures, fin de baril de soudage, de profilage, tubulaires parties, et tôles industries ., etc...[2]

I.4.3 Soudage oxyacétylénique

I.4.3.1 Définition de soudage oxyacétylénique:

La chaleur de combustion d'un gaz combustible (le plus souvent l'acétylène ou le propane) est mélangée en quantités précises avec un gaz comburant dans ce processus (O₂).

Les bouteilles de gaz, détendeurs, souple tuyaux, Chalumeau, et la main tenue nomment électrode sont tous inclus dans la -extinction des incendies après.

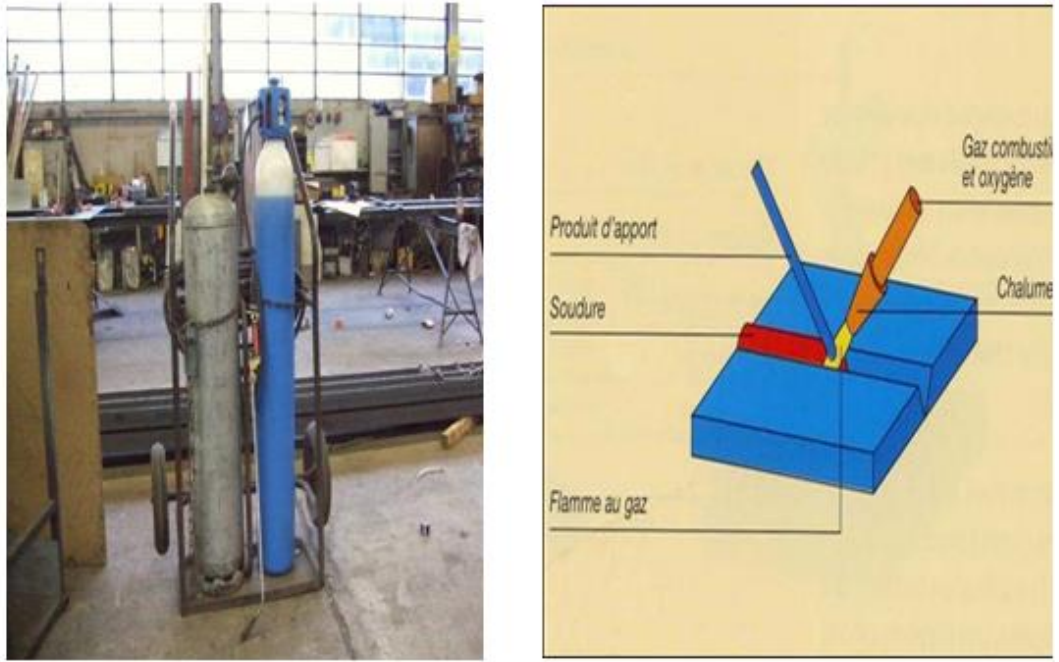


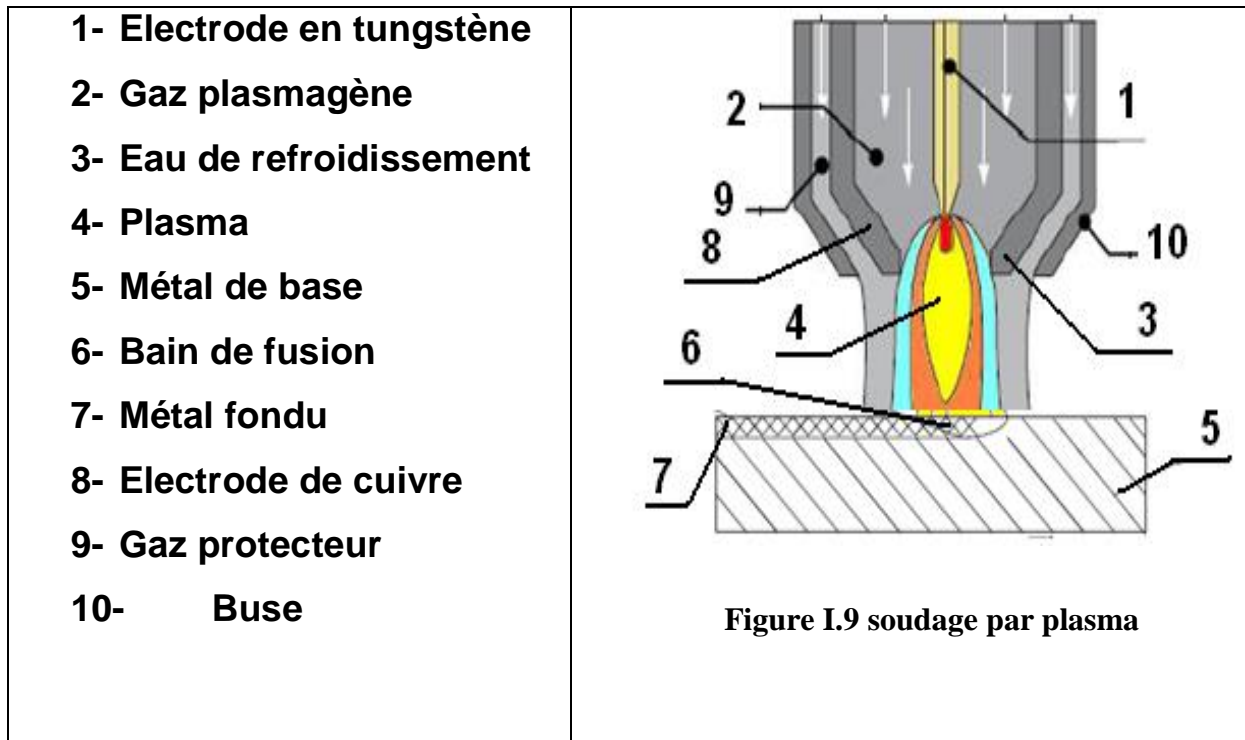
Figure I.8 Principe du soudage oxygaz .

I.4.4 Soudage électrique à l'arc au plasma

I.4.4.1 Définition soudage par plasma

L'arc de soudage ordinaire est un plasma à faible taux d'ionisation. Les plasmas sont des gaz ou vapeur électriquement neutres, rendus conducteurs (toutes corps qui transmettent le courant électrique ou la chaleur) par un taux élevé d'ionisation. La procède est considérée comme une évolution du soudage TIG.

L'arc plasmagène est en fait un arc TIG concentré sur son axe par une électrode en forme de buse présentant un orifice calibré et alimenté par un débit de gaz inerte.



I.4.4.2 Avantages soudage par plasma

- Plasma peut être réalisé sans chanfrein sur un assemblage en bout a bout d'un 1/10 mm jusqu'à des épaisseurs de 8mm. Dans ce cas, il nécessite très peu métal d'apport.
- La vitesse de soudage sont élevées 0.1cm/s
- La température atteinte sur l'axe entre 8000°C jusqu'à 20000 °C.

Deuxième Chapitre

II GENERALITES SUR LES PIPELINES

II.1 Introduction

Pipeline de transport d'hydrocarbures reste la plus sûre méthode pour le transport de grandes quantités de pétrole et naturel gaz sur de longues distances. En raison de la quantité et de la qualité de l'aluminium utilisé dans les tubes, ces conduits de transport sont fragiles. En général, les gens se divertissent. Du fait de leur hétérogénéité et de leur grand nombre d'impuretés, les gazoducs et oléoducs sont exposés à un environnement particulièrement hostile. Le monde économique a un grand nombre d'autres coûts, de plus peut avoir des conséquences désastreuses surtout lorsqu'il entraîne l'arrêt de l'exploitation d'ouvrages de transport.



Figure II. 2 Pipeline dans l'environnement [30].

II.2 Définition pipeline :

Les pipelines ou les pipelines souterrains ou aériens transportent des marchandises sous forme de liquide ou de gaz. Les pipelines sont composés de tuyaux en acier soudés bout à bout, peints à l'extérieur ou même à l'intérieur et enfouis dans le sol [2]. Dans les zones à risques sismiques ou d'instabilité politique, ces pipelines sont

coûteux et parfois difficiles à mettre en œuvre, selon les caractéristiques du terrain traversé. Contrairement à leur investissement initial, par rapport à d'autres modes de transport simultanés, leur utilisation est relativement bon marché, du moins pour les petites et moyennes distances [8].



Figure II.3 Canalisation aérienne [29]

II.3 Composantes de pipelines

Le pipeline est un système de transport complexe. Il comprend les tuyaux, les raccords (vannes, joints, etc.), les structures de sortie et de sortie, les pompes (pour les liquides) ou les compresseurs (pour les gaz) et les équipements auxiliaires (débitmètres, racleurs, capteurs, systèmes de protection cathodique et commandes automatiques)) Et autres composants. Systèmes, y compris les ordinateurs et les contrôleurs logiques programmables) [25].

II.4 Caractéristiques des tubes

La majorité des pipelines sont fait d'acier, tout en plastique et l'aluminium sont parfois utilisés dans naturel gaz de distribution des réseaux. Acier pipelines sont réalisés par empilage de courtes pièces de tuyaux (20 m) une sur le dessus de l'autre. Après l' assemblage est radiographié, le tuyau est enveloppé dans une protection couche avant d' être implantée. Tous les tuyaux, sans exception, sont soumis à une vérification visuelle que bien que la traction essai avant d'être utilisée. Ces caractéristiques principales (diamètres, épaisseur, type d'acier, spécifications de construction, température et pression de service ...) sont régies partout un ensemble de règles et font l'objet de multiples calculs et de compromis économiques.

Le diamètre de la canalisation est déterminé par la quantité de produit à être transformé, sa viscosité, et la densité, dans le but d'obtenir un rapport coût-efficacité compromis entre la puissance du pompage ou de compression des stations à être installé et l'ensemble importance de l'investissement. Lorsque les considérations technico-économiques ont ainsi permis de fixer le diamètre, et d'ailleurs également la pression de service, on calcule l'épaisseur en fonction de cette pression de service ou des conditions de pose lesquelles parfois imposent des caractéristiques dimensionnelles plus sévères. Les autorités administratives des différents pays responsables de la sécurité des populations dont le territoire est traversé par les pipelines, ne restent pas indifférentes à ces calculs qui déterminent le niveau de sûreté de l'installation. Dans la plupart des pays où l'on pose des pipelines, des règlements fixent les lois générales que doivent suivre les constructeurs et les installateurs. Ces règlements sont basés sur des concepts tels que un maximum de service pression, sécurité coefficient, et d' autres construction critères tels que le tube d' inspection mode et pression essai des procédures qui doivent être suivies bien avant toute canalisation est mis en service, des mesures spéciales de protection doivent être prises contre les incendies dans les zones où ils pourraient avoir des conséquences particulièrement dangereuses) [10].

II.5 Grades

Les nuances suivantes sont couvertes par cette spécification : standard A25, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70, X80 ; et notes intermédiaires (notes).supérieurs (notes Ils sont supérieurs au X42 et intermédiaires entre deux normes séquentielles approuvées par l'acheteur et le fabricant.). Le tube PSL 1 est disponible dans des tailles allant de A25 à X70. Le tube PSL 2 est disponible dans des tailles allant de B à X80. L'acier de classe II (CI II) a été rephosphoré et a probablement de meilleures propriétés d'enfilage que l'acier de classe I (CI I). Parce que la teneur en phosphore de la classe II (CI II) est plus élevée que celle de la classe I (CI I), il peut être plus difficile à pincer [19].

Parameter	PSL 1	PSL 2
Grade range	A25 through X70	B through X80
Type of Pipe Ends	Plain-end, threaded-end; belled-end; special coupling pipe	Plain-end
Seam welding	All methods; continuous welding limited to Grade A25	All methods except continuous and laser welding
Electric welds: welder frequency	No minimum	100 kHz minimum
Heat treatment of electric welds	Required for grades > X42	Required for all grades (B through X80)
Chemistry: max C for seamless pipe	0.28% for grades \geq B	0.24%
Chemistry: max C for welded pipe	0.26% for grades \geq B	0.22%
Chemistry: max P	0.030% for grades \geq A	0.025%
Chemistry: max S	0.030%	0.015%
Yield Strength, Maximum	None	Maximum for each grade
UTS, Maximum	None	Maximum for each grade

Tableau II.1 La différence entre PSL1 et PSL2 [19]

II.6 Exigences matérielles

II.6.1 Propriétés Chimique

Le développement du transport longue distance de grandes quantités d'hydrocarbures a nécessité l'utilisation de tubes de grand diamètre exploités à des pressions plus élevées. Pour éviter d'atteindre des épaisseurs difficiles à tremper et faire des

économies sur l'aluminium, de nouvelles nuances mécaniques ont été améliorées. En un résultat, les grades X60, X65, X70, X80, et même X100 [13] ont paru. Les aciers tubulaires peuvent être divisés en deux groupes : les aciers au carbone à faible teneur en carbone et les aciers au carbone à haute teneur en carbone. Dans le premier groupe on trouve les aciers X42 à X52 (selon API) renfermant jusqu'à **0,3% C, 1,6% Mn, 0,7% Si**. Dans le deuxième groupe on trouve les aciers faiblement alliés à basse teneur en carbone X56, X50, X65, X70 renfermant **0,12% C, 0,45% Si, 0,25% S, 1,9% Mn, 0,1% V, 0,1% Nb, 0,015 % Al**.

Pour les conduits d'un diamètre supérieur à 1020 mm et destinés à fonctionner sous des pressions élevées, on utilise typiquement des tubes en acier laminé contrôlables [10].

API Grade	Steel Alloying Approach
X120	AF/Bainite/Martensite, C <0.10, Mn <2.0, Si <0.40, Nb <0.06, Cu, Ni, Cr, Mo, V, B, Pcm ≤ 0.25
X100	AF/Bainite, C <0.06, Mn <2.0, Si <0.40, Nb <0.06, Cu, Ni, Cr, Mo, V, Pcm ≤ 0.23
X80	F/AF, C ≤ 0.06, Mn <1.70, Si <0.40, Nb ≤ 0.10, Cu, Ni, Cr, Mo, V, B, Pcm ≤ 0.18
	F/AF, C ≤ 0.06, Mn <1.70, Si <0.40, Nb ≤ 0.10, Cu, Ni, Cr, Mo, V, B, Pcm ≤ 0.21
X70	D/t < 50: F/AF, C ≤ 0.06, Mn ≤ 1.65, Si <0.40, Nb ≤ 0.10 only, or Nb+Mo, Pcm ≤ 0.18 or 0.21
	D/t > 50: F/P, C ≤ 0.10, Mn ≤ 1.65, Si <0.40, Nb ≤ 0.065 only, or Nb+V, Pcm ≤ 0.20
X65	F/P, C ≤ 0.10, Mn ≤ 1.65, Si <0.40, Nb ≤ 0.065 only, or Nb+V ≤ 0.15 Pcm ≤ 0.23
X60	F/P, C ≤ 0.10, Mn ≤ 1.50, Si <0.40, Nb ≤ 0.065 only, or Nb+V ≤ 0.12, Pcm ≤ 0.23
X52	F/P, C ≤ 0.10, Mn ≤ 1.20, Si <0.40, Nb ≤ 0.050 only, Pcm ≤ 0.17
X42	F/P, C ≤ 0.10, Mn ≤ 1.00, Si <0.40, Nb ≤ 0.050 only, Pcm ≤ 0.16
API 5LB	F/P, C ≤ 0.20, Mn ≤ 1.00, Si <0.40, Pcm ≤ 0.16

Tableau II.2 composition chimique des pipelines [21].

II.6.2 Propriétés mécaniques

II.6.2.1 Propriétés de traction

Les grades PSL I A25, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65 et X70 doivent répondre aux exigences de traction spécifiées dans le Tableau I.3.

PSL Niveau 2 B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70, Et X80 doivent répondre aux exigences de traction spécifiées dans le Tableau I.4.

Les autres niveaux intermédiaires entre les valeurs nominales énumérées entre X42 et X80 doivent répondre aux exigences de traction convenues entre et le fabricant, et ces exigences doivent répondre au tableau I.3 (pour PSL 1) ou au tableau I. en 4. (Pour le pipeline PSL2).

Pour -expansion à froid des tubes, le rapport entre la limite d' élasticité de l' essai de tube de valve du corps et la dernière résistance à la traction de la valve corps, que bien que la détermination de limite d' élasticité et la résistance à la traction de la valve corps, doit pas dépasser 0,93 La contrainte de traction nécessaire pour produire un allongement total de 0,5% de la longueur de mesure déterminée par un extensomètre doit être la limite élastique .

Lorsque la longueur est enregistrée ou signalée, l'enregistrement ou le rapport doit inclure la notionnelle longueur de l'éprouvette, aussi bien que le diamètre et la longueur du calibre lorsque les Bande les spécimens sont utilisés. Les éprouvettes à canon rond sont utilisées, ou ils ont à être Les spécifications sont utilisées Pour les tuyaux A25, le fabricant peut certifier que les matériaux fournis ont été testés et répondent aux exigences mécaniques du grade A25 [19].

(1) Grade	(2) Yield Strength, Minimum		(3) Ultimate Tensile Strength, Minimum		(4) Elongation in 2 in. (50.8 mm), Minimum, Percent
	psi	MPa	psi	MPa	
	A25	25,000	(172)	45,000	
A	30,000	(207)	48,000	(331)	a
B	35,000	(241)	60,000	(414)	a
X42	42,000	(290)	60,000	(414)	a
X46	46,000	(317)	63,000	(434)	a
X52	52,000	(359)	66,000	(455)	a
X56	56,000	(386)	71,000	(490)	a
X60	60,000	(414)	75,000	(517)	a
X65	65,000	(448)	77,000	(531)	a
X70	70,000	(483)	82,000	(565)	a

Tableau II.4 caractéristique mécanique pour PSL1

(1) Grade	(2) Yield Strength, Minimum		(3) Yield Strength, Maximum ^b		(4) Ultimate Tensile Strength, Minimum		(5) Ultimate Tensile Strength, Maximum ^c		(6) Elongation in 2 in. (50.8 mm), Minimum, Percent
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	
	B	35,000	(241)	65,000 ^d	(448)	60,000	(414)	110,000	
X42	42,000	(290)	72,000	(496)	60,000	(414)	110,000	(758)	a
X46	46,000	(317)	76,000	(524)	63,000	(434)	110,000	(758)	a
X52	52,000	(359)	77,000	(531)	66,000	(455)	110,000	(758)	a
X56	56,000	(386)	79,000	(544)	71,000	(490)	110,000	(758)	a
X60	60,000	(414)	82,000	(565)	75,000	(517)	110,000	(758)	a
X65	65,000	(448)	87,000	(600)	77,000	(531)	110,000	(758)	a
X70	70,000	(483)	90,000	(621)	82,000	(565)	110,000	(758)	a
X80	80,000	(552)	100,000 ^e	(690)	90,000	(621)	120,000	(827)	a

Tableau II.4 propriété mécanique pour PSL2

II.6.3 Laminage

Laminer est effectuée en deux étapes, la première de ce qui est effectuées à une haute température. L'austénite recristallise rapidement et uniformément. Cette zone représente pour une importante partie de la de dalle d'épaisseur de réduction, et que la température baisse, Recristallisation devient de plus en plus difficile. Contrôle de la température et du temps entre chaque passage, une austénite recristallisée fine et uniforme peut être obtenue. Dans l'étape suivante, la feuille est progressivement

ajustée à l'épaisseur souhaitée, et les changements d'austénite sont pris en compte pour donner à l'austénite de bonnes caractéristiques. La phase peut durer jusqu'à ce que la dernière étape de laminage soit achevée en dessous de la température de non recristallisation de l'austénite TNR.L' écrouissage de l'austénite favorise la germination de nombreux grains de ferrite et améliore la microstructure finale .[15]

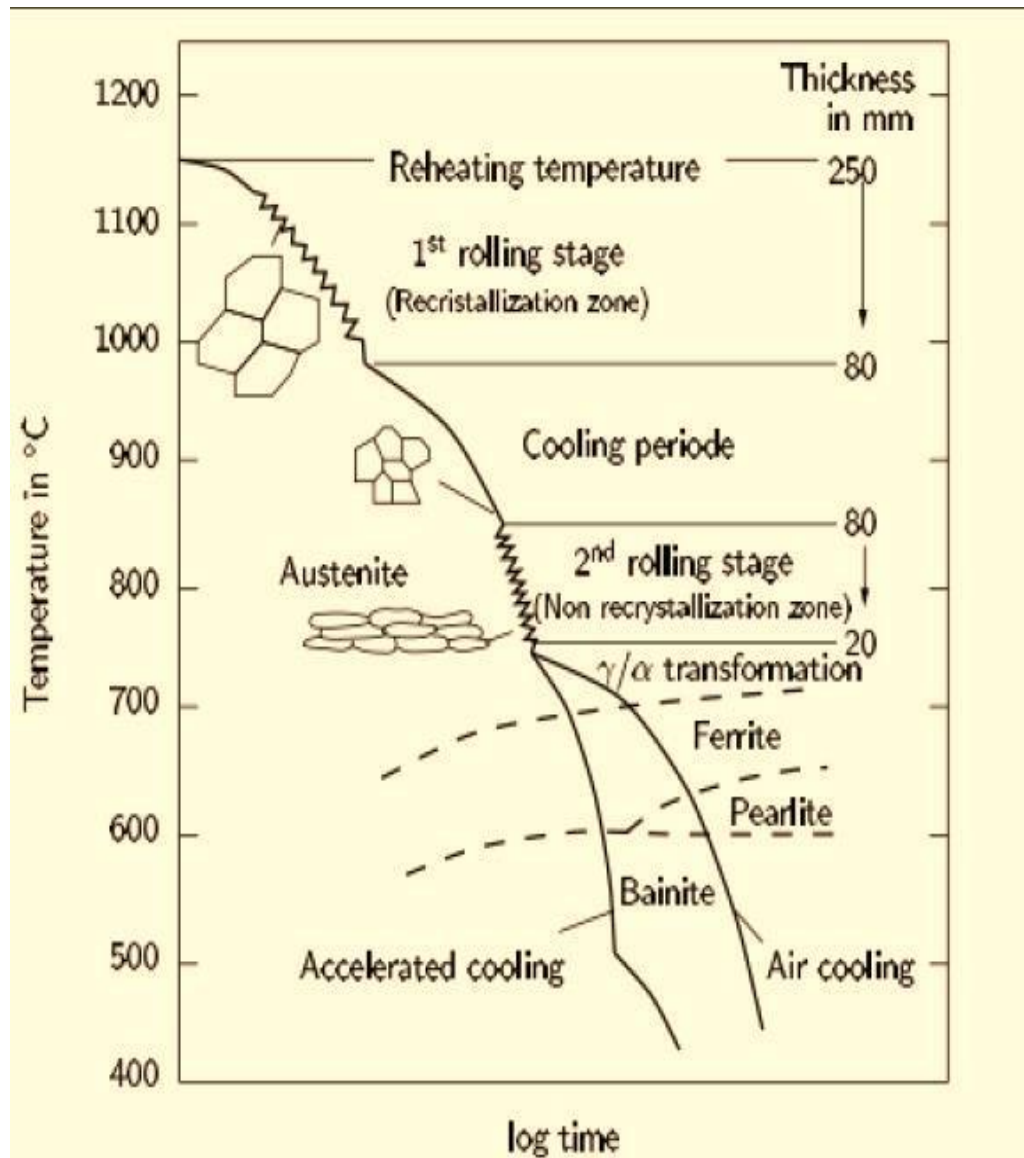


Figure II.5 Schéma de laminage [8].

II.6.4 La soudabilité

La soudabilité décrit à quel point il est facile de souder le métal à un niveau satisfaisant. Une mauvaise soudabilité signifie que les processus disponibles sont

limités et que de nombreuses compétences en soudage sont nécessaires. Une bonne soudabilité signifie qu'un grand nombre de processus peuvent être utilisés, et seul un niveau modéré de contrôle et de compétence est requis. L'acier au carbone a généralement une bonne soudabilité, tandis que l'acier inoxydable n'a qu'une soudabilité [17]. La soudabilité de l'acier est très importante, si la teneur en carbone est faible, elle sera meilleure, mais le rôle des autres éléments d'alliage ne peut être ignoré. Comme indiqué.

II.6.5 Relation

Ce qui suit La soudabilité décrite à quel point il est facile de souder le métal à un niveau satisfaisant. Une mauvaise soudabilité signifie que les processus disponibles sont limités et que de nombreuses compétences en soudage sont nécessaires. Une bonne soudabilité signifie qu'un grand nombre de processus peut être utilisé, et seul un niveau modéré de contrôle et de compétence est requis. L'acier au carbone a généralement une bonne soudabilité, tandis que l'acier inoxydable n'a qu'une soudabilité [17]. La soudabilité de l'acier est très importante, si la teneur en carbone est faible, elle sera meilleure, mais le rôle des autres éléments d'alliage ne peut être ignoré. Comme indiqué relation.

Équation1

$$C_{\text{éq}} = C + \frac{M_n}{6} + \frac{(C_u + N_i)}{15} + \frac{(C_r + M_o + V)}{6}$$

Ce chiffre représente l'évolution du tubes aciers au cours des dernières 40 années, comme vu dans un graphique (C, CEQ). Actuellement, la majorité des aciers utilisés pour fabriquer les tubes ont une teneur en carbone d'environ 0,05 %.

Une autre japonaise essence formule serait être applicable à une large gamme de haute limite d'élasticité des aciers à faible carbone contenu (cas des aciers versez tubes) [9]:

Équation2

$$P_{cm} = C + \frac{S}{30} + \frac{M_n + C_u + C_r}{20} + \frac{N_i}{60} + \frac{M_o}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

La valeur PCM est souvent définie comme une plage de 0,18 à 0,2. Le PCM formule est de plus en plus d'être utilisé pour faible teneur en carbone acier pipelines avec un carbone contenu de moins de 1%, tandis que l'international formule est de plus en plus d'être utilisé pour aciers.

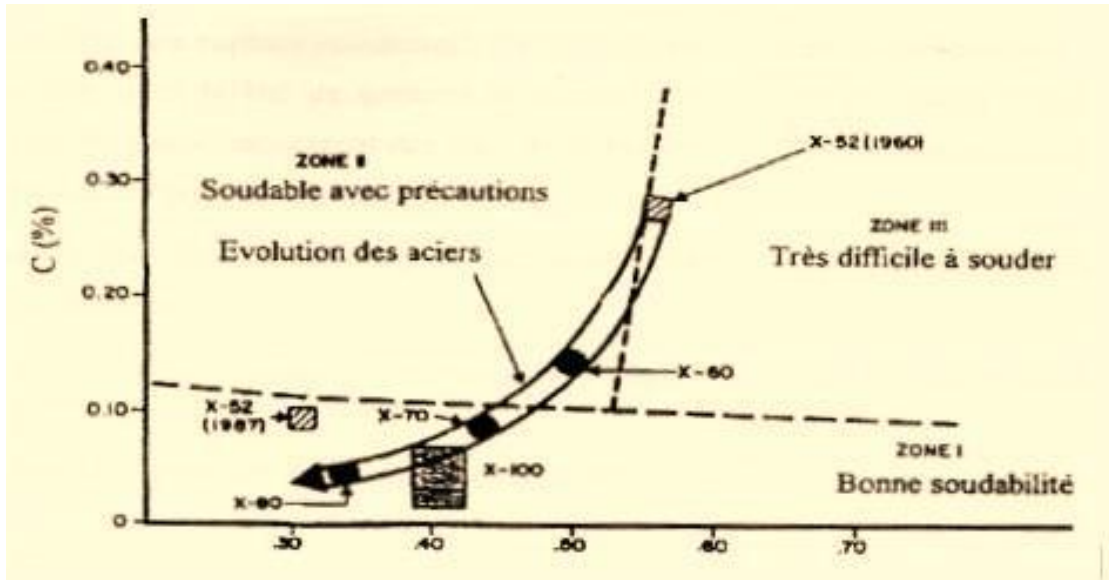


Figure II.6 Evolution des compositions des aciers pour tubes en fonction de la soudabilité [11].

II.7 Fabrication des tubes

II.7.1 Introduction

Fabrication de pipeline tubes est la conversion de l'acier des plaques dans des tubes pour une utilisation dans une variété d'applications qui peuvent varier d'un produit à un autre et d'une région à l'autre [20].

II.7.2 Familles de tubes

Il existe trois grandes familles des tubes :

Les petits tubes soudés dont le diamètre ne dépasse pas $219\text{mm} \leq (8'')$.

Les moyens tubes soudés dont le diamètre est compris entre 219mm et 406mm(8'' à 16'').

Les grands tubes soudés dont le diamètre est supérieur à 406,4mm (16'') [20].

II.7.3 Tubes soudés en spirale

Dans la création de spirale tuyaux (également connu en tant que spirale tuyaux), une constante bande ou chaud feuille est formée dans un tuyau par une spirale création dispositif avec une constante courbure rayon, et les bords de adjacentes des bandes sont également en continu soudés. En contraste à la fabrication de longitudinaux tubes, le diamètre de chaque tuyau dans spirales tubes nécessite une spécifique plaque taille, mais la production de longitudinaux tubes a les suivantes caractéristiques: Il peut être fait en d'une seule bande (bande) ou la taille du tuyau. Le diamètre du tube. Assiette. En effet, lorsque la bande est introduite dans l'unité de formage, l'angle d'approche de la bande peut être modifié. Le plus l'angle d'entrée, le plus grand du diamètre du tuyau (pour une certaine bande passante).

illustre la relation entre le diamètre de la commençant le tube et la taille de la matière dans une comparaison de longitudinalement orientées tubes et spirales production de tubes, en tant que bien que les mathématiques relations qui existent dans spirales production des tubes entre l'angle d'alimentation, la bande / la taille de la feuillards, Que bien que le diamètre de la sortie tube. Dans l'état actuel de la technologie de fabrication de tubes de grand diamètre, La gamme de diamètres de tuyaux couverts

par la technique de spirale est d' environ 500 à 2500 mm. Le départ matériel pour Paroi de la conduite, ce qui peut être fait dans une variété de épaisseurs jusqu'à à propos de 20 mm, prend la forme d' une grande bande laminée à haute température. Pour tuyau Paroi avec une épaisseur supérieure à 20 mm, assiette à chaque longueur jusqu'à à 30 m est habituellement nécessaire.

Il existe deux grandes catégories de méthodes de production de tuyaux en spirale :

*Installations avec intégré formant et des lignes de soudage SAW.

*Installations avec la formation séparée et des lignes de soudage SAW[18].

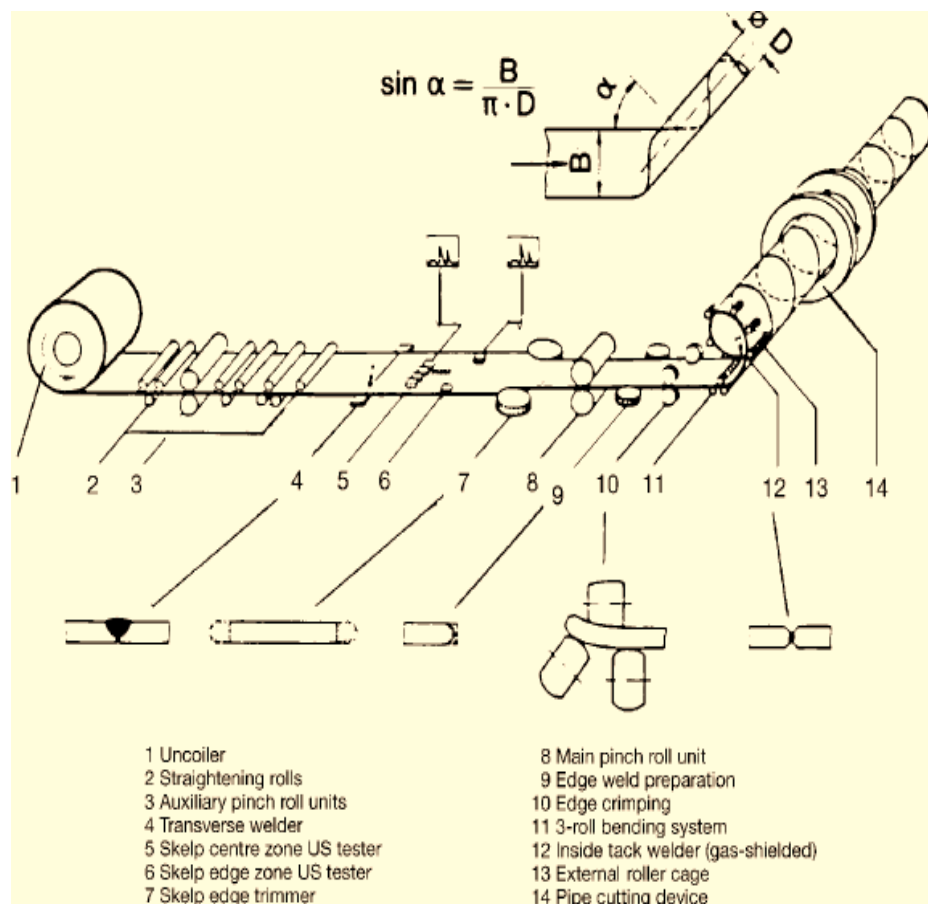


Figure II.7 Représentation de la fabrication des pipelines spiraux [18].

II.7.4 Les tubes soudés sous forme longitudinal

Les tubes avec de grands diamètres qui sont longitudinalement soudés sont réalisés à l' aide du « UOE » processus, qui se réfère à des variations de forme qui se

produisent au cours de la fabrication processus: découpage, « U », « O », le soudage, et enfin « expansion »[13]:

II.7.5 Craquage et formage

Le but de cette opération, où la plaque sera être pliée à différents niveaux de EXTREMITE, est de rendre le pliage processus plus facile dans les suivantes étapes. Après cela, la tôle ou la seule plaque sera être pliée en deux types de presses. Les premiers confère la plaque dans la forme d' un « U » , tandis que les deuxièmes donne elle dans la forme d' un « O. »regarder à l' illustration (Figure II.7)

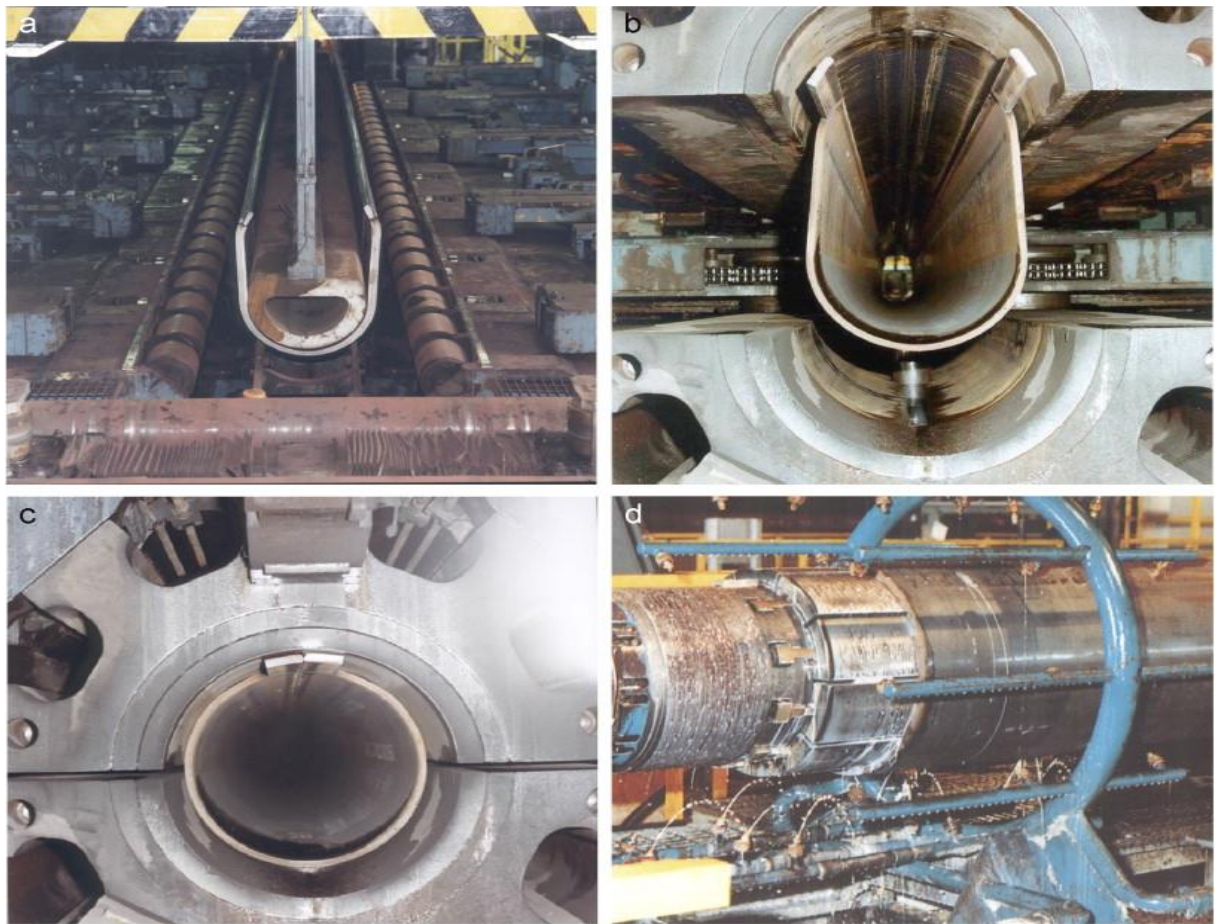


Figure II.8 La mise en forme des tubes par le procédé « UOE » [31]

II.7.6 L'expansion et calibrage

Dans le but d'obtenir parfaitement distribués tubes, les tubes sont soumis à une mécanique ou hydraulique d' expansion après qu'ils ont été soudés, résultant en un diamètre augmentation de 1 à 1,5 pour cent.(Voir l' illustration I-8)En une suite de

cette opération, résiduelles des contraintes ont été assouplies.. Enfin une opération de Chanfrein âgées effectuée par une la meus afin de faciliter le raccordement des tubes entre eux.

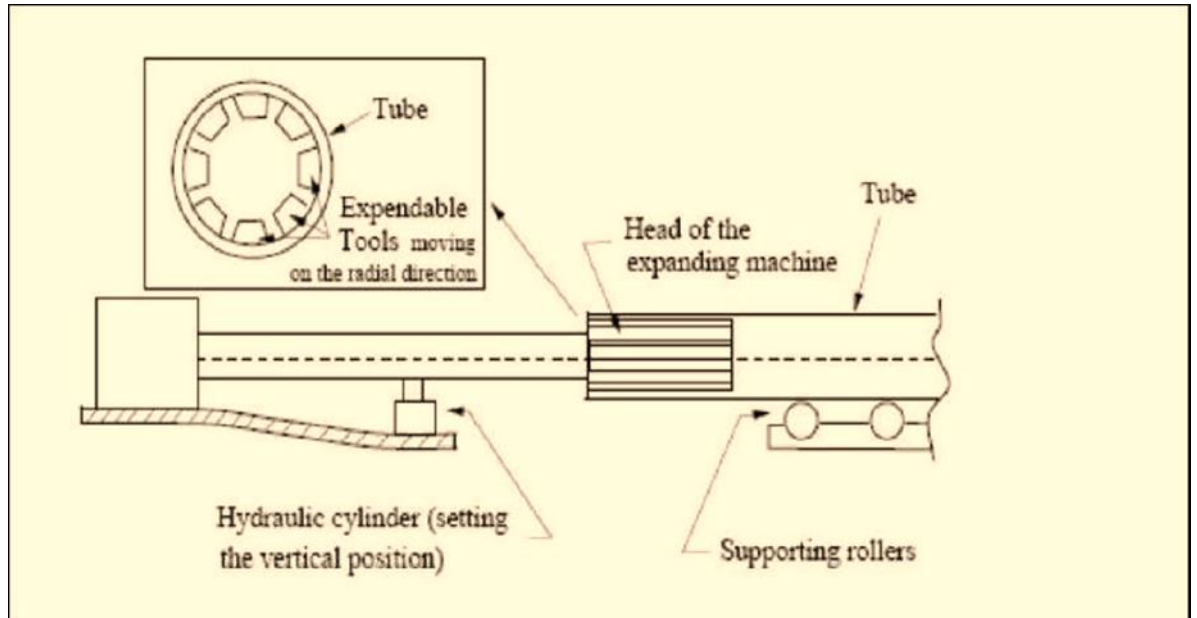


Figure II.9 Machine D'expansion[13].

II.7.7 Le soudage

Utilisation de la technologie de soudage à l' arc submergé pour utiliser une tête de soudage automatique à l' extérieur' intérieur et l' extérieur de la tube de sont représentées dans le schéma ci - dessous.



Figure II.10 Soudage des tubes par le procédé « UOE » [32].

II.7.8 Les tubes réalisés sans soudure

Parce qu'il "provient d' une pièce d' acier ", le segment transversal d' un tuyau sans soudure a une parfaite uniformité métallurgique , comme son nom l' indique. De ce fait, l' utilisation de tuyaux sans soudure est principalement limitée aux zones présentant des contraintes mécaniques ou de corrosion importantes Les plus strictes exigences sont les suivantes : le pétrole stockage, véhicules machines et industries, pressées les récepteurs, et donc sur) [14]. Tubes formés sans un manchon généralement ont un petit diamètre et une longueur de moins de 450 mm. La plus commune procédé de production de cette sorte de tuyau est comme suit: métal est placée entre le moule et l' aiguille, et une direction axiale pressée monobloc tubulaire est obtenue. Connu comme une Version de la d'aiguille nez de rotation, dans lequel l' aiguille est définie [12].

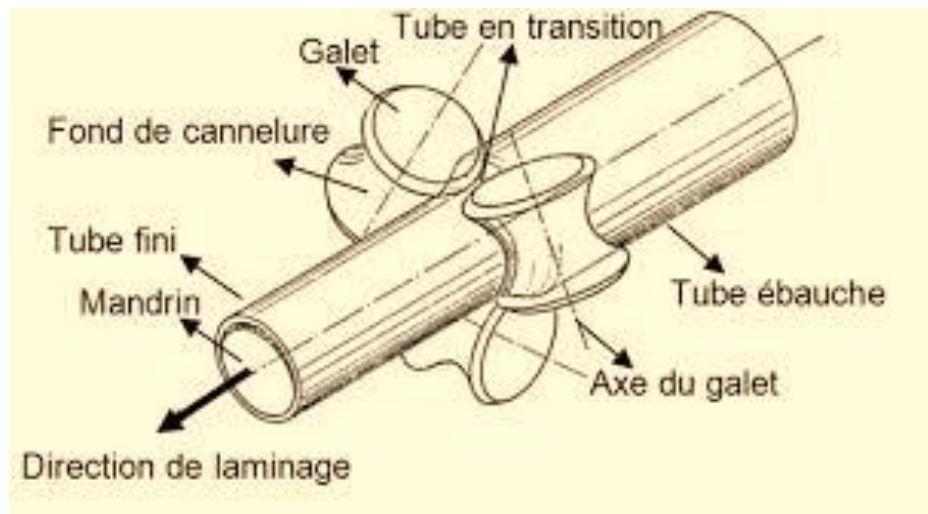


Figure II.11 Fabrication des tubes sans soudures [33].

II.7.9 Revêtement des tubes

L'objectif principal est de protéger le tube grâce à un processus de surfacage anticorrosion interne et externe [8].

II.7.9.1 Revêtements extérieurs

II.7.9.1.1 Revêtement Fusion Bonded Epoxy :

Revêtements en couches hachis D'une Épaisseur de 0,5 à 0,6 mm revêtements époxydes Liés par fusion Sont des revêtements en couches hachis D'une Épaisseur de 0,5 à 0,6 mm Revêtements Époxy Liés par fusion Sont des revêtements en canapés hachés d'une. Ils ont été créés dans les États- Unis et le Royaume- - Uni, respectivement. Époxy résine a une forte chimique liaison avec l' aluminium, ce qui peut entraîner à une bonne adhérence. La FBE est aussi polyvalent, et il est le plus couramment utilisé coating pour enchâssés et regroupés air chambres' Amérique du procédé consiste à chauffer le tuyau à 250-260 ° C et ensuite l' application de la résine époxy en poudre en fines poudre forme directement à la rotatif caloduc. Les particules d' époxy se collent à la surface du caloduc et circulent. La FBE est aussi polyvalent, et il est le plus couramment utilisé coating pour enchâssés et regroupés air chambres. Amérique du procédé consiste à chauffer le tuyau à 250-260 ° C et ensuite l'application de la résine époxy en poudre en fines poudre forme directement à la rotatif caloduc. Les particules d'époxy se collent à la surface du caloduc et circulent. Les conduits de FBE dans l'eau de mer peuvent résister à des températures de 85 à 95 degrés Celsius. En raison de la haute température, il est commun d' utiliser des jumeaux FBE enduits qui sont appliqués en deux passes par l' appareil pendant que le tube est encore chaud.FBE Enduits peuvent être utilisés en conjonction avec ou sans un spécifique poids enduit. Parce que FBE Enduits sont sujettes à glisser, il est commun pratique à installer 1 m anti-glissing bandes à chaque des tubes des extrêmes pour réduire le risque d' un particulier patinage [22].

Les FBE revêtements sont fabriqués en des durs, thermoplastiques résine couches qui sont appliquées à l' acier des tubes à l' aide d' un thermostat processus et protègent les contre la corrosion. La FBE peut être utilisé à d' exploitation des températures aussi haute que 110 degrés Celsius, avec une caractéristique épaisseur de 350 à 450 micromètres.

Une deuxième couche entraîne une excellente résistance aux détériorations du pipeline, même dans les conditions environnementales les plus difficiles [8].

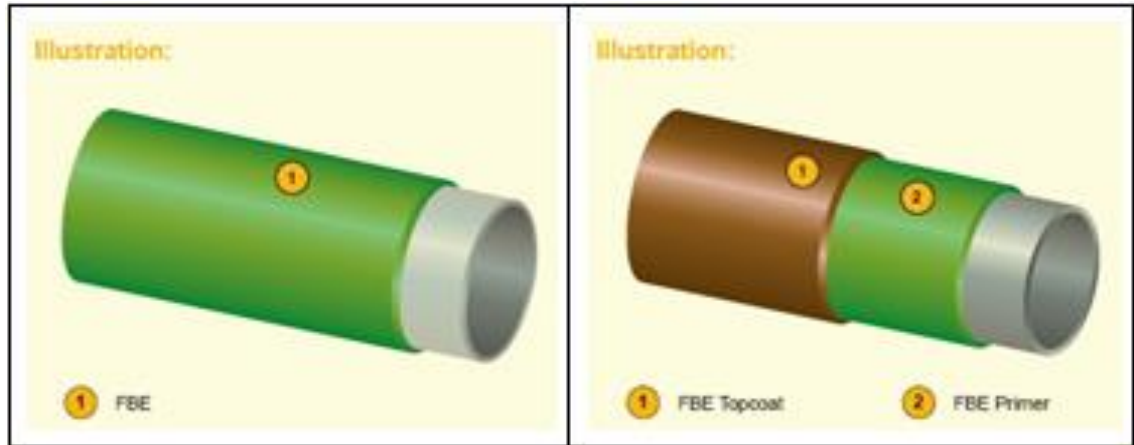


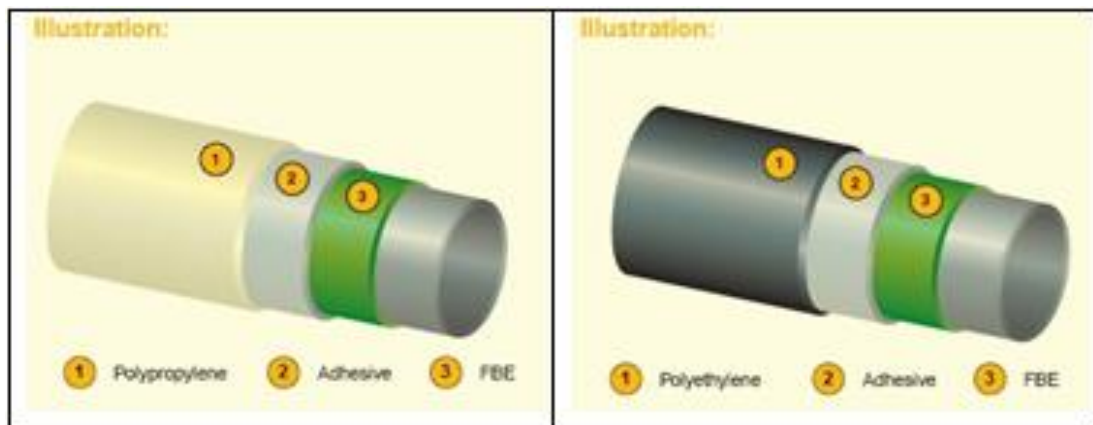
Figure II.12 Revêtement FBE [34].

II.7.9.1.2 Revêtement extérieur polyoléfine 3 couches

Polyéthylène de Milieu-Densité (MDPE) comme une enveloppe matériau a été développé fin dans les années 1970 et rapidement adopté par allemand et japonais fabricants. C'est un conduit assez épais , généralement de 3 à 4 millimètres d'épaisseur PEHD (haute densité polyéthylène) a une ultérieure mécanique résistance et est utilisé comme un plus petit enduit de 1,5-2,5 millimètre. Pour les deux matériaux, la norme procédure est à appliquer une amorce époxyde à la conduite, suivie par un adhésif à base de amorphe, sur le dessus d' une ou deux canapés de feuille de polyéthylène utilisé comme cigarettes enveloppes. Le conduit est connu comme un enduit, un 3PE, ou une triple 3LPE conduit' amorce époxy est un conduit très mince , typiquement 75 microns d' épaisseur ; comme un résultat, il ne pas complètement couvrir la surface. Le polyéthylène a une haute électrique résistance, une faible humidité prix, et une longue vie espérance. La ultérieure température tolérance de la polyéthylène enveloppe est d' environ 65 ° C, un facteur qui a été le de l' adhésif de la tolérance. La corrosion de la Plank de enduit comme un résultat de boursoufflures, et CP accès qui est insuffisante en raison de haute électrique résistance sont les principales préoccupations d' un matériau point de vue. Polyéthylène Enduits peuvent être recouverts d' un spécifique poids enduit et sont également appropriés pour une utilisation sur torsadés pipelines qui ne peut pas être rempli avec classique en béton. L'enduit de polyéthylène est glissant, et quand un enduit concret de poids est appliqué sur le dessus, il est habituel pour fournir les bandes anti glissantes pour réduire le risque de patinage entre le béton et l'enduit. Les

bandes sont des longueurs de 1 m du sable contenant du matériel pulvérisé appliqué aux deux fins de chaque longueur de pipe [22].

La polyoléfine 3 canapé revêtement est une combinaison d' un solide thermoplastique de résine, un copolymère adhérence couche, et une matière thermoplastique revêtement appliqué à l' acier des tubes pour assurer leur protection[8]



FigureI.12 Revêtement Extérieur[34].

II.7.9.1.3 Revêtements par l'émail de goudron (Coal tarenamel coatings)

De nombreux pipelines plus anciens à travers le monde utilisaient un élastomère houille et un élastomère bitume élastomère. L'application est complétée en enroulant un tissu en fibre de verre autour du tuyau de circonférence et en saturant le canapé avec un mélange de bitume ou de houille. Les inconvénients de cette couche sont comme suite:

C'est sensible aux changements de température hauts ou bas.

C'est susceptible au forçement en raison du soulignage de sol.

La séparation de la couche se produit par le dommage d'impact ou de la pauvre préparation de surface sur la pipe. [22]

II.7.9.1.4 Revêtements par bande (Tape coatings)

Le ruban Couche- est couramment utilisé pour réparer la excavé partie de la tuyau aussi bien que l' existant endommagée Couche- zone. La variété la plus courante est un ruban de compression à chaud , dans lequel un tissu enduit de bitume est enroulé autour de lui et chauffé. Sinon, le ruban appliqué à froid comprend un ruban de polyéthylène avec une couche auto-adhésive. Bien que la méthode de la couche de ruban soit relativement bon marché, un inconvénient est que la couche de ruban n'est pas résistante aux températures élevées et tache facilement le sol [22].

II.7.9.1.5 Revêtements par un plastic Rétractable a la chaleur (Heat-shrinkable plastic coatings) :

Ceux - ci sont principalement en matière plastique ou draps qui sont sensibles à la chaleur. Lorsqu'ils sont placés autour d' un tuyau de circonférence et chauffés avec une lampe chauffante , le plastique se contracte et se dépose à la surface du tuyau .Ce procédé est le plus couramment utilisé pour des tuyaux ayant un plus petit diamètre, particulièrement autour des d'assemblages/champ de pipe[22].



Figure II.13 Le Revêtement extérieur des pipelines [35]

II.7.9.2 Revêtements intérieurs

Le liquide époxy résine est pulvérisée sur le de tuyau interne Paroi à une épaisseur de 60 à 100 microns. Ce conduit à une augmentation de gaz de distribution capacité, de même que la réduction de la glace résistance et, comme une conséquence, une réduction de compression des stations. Pour le transport du gaz , il s'agit d' une solution unique et économique .

Sur l' intérieur de la tubes, un liquide époxy résine est pulvérisée à une épaisseur de 400 à 500 micromètres. Pour faire cela, nous avons mis au point une nouvelle génération de sans base de solvant époxy résines. L' un des à long terme des objectifs de pipeline de développement est de fournir à grande échelle hydrocarbures de transport tout en maintenant l' environnement et la sécurité des normes. Cet objectif est atteint grâce à la mise en œuvre d' une surveillance et d' entretien un plan visant à préserver l' intégrité des les lignes et prévenir toute perte de confinement. La présentation expose les risques que les pipelines sont confrontés, comme ainsi que les contre - mesures qui ont été mises en œuvre pour répondre à eux [8].

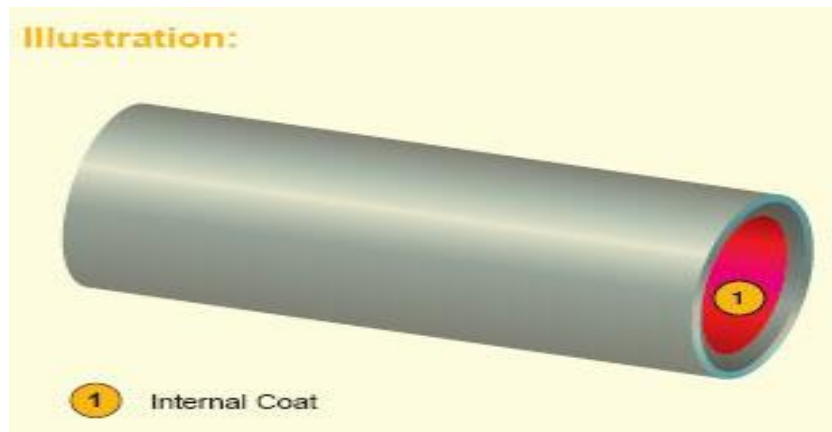


Figure II.14 Revêtement en résine époxy liquide pour les pipelines d'eau [34].

II.8 Défauts rencontrés dans les canalisations

En dépit du fait que pipeline de transport de dangereux produits est considéré comme un coffre - fort moyen de transport, et en dépit de la soigneuse gestion de la

canalisation réseau, les défauts sont principalement trouvés dans le projet de surveillance processus. Si nous voulons pour assurer économique prospérité, nous devons d'assurer la sécurité de nos transports réseaux et la continue disponibilité de naturel gaz comme une énergie la source. La hausse de graves liées à la corrosion des incidents, comme ainsi que leurs effets sur l'échelle mondiale l'économie et l'environnement, a fait transporter des hydrocarbures de plus en plus dangereux. partir de défauts issus soit de l'élaboration du matériau, soit de la fabrication, de l'assemblage, de la réparation ou des conditions d'exploitation des tubes et qui ont conduit à la naissance et à la propagation des fissures superficielles où traversant antes suivies de fuites. On trouve six catégories principales de causes des accidents:

- Agression externe ou activité tierce (les plus répandus);
- Corrosion interne ou externe;
- Défaut de construction ou défaut de matériels ou défaut mécanique;
- Mouvement de terrain ou risques naturels en général;
- Erreurs opérationnelles ;
- Autres et causes inconnues [8].

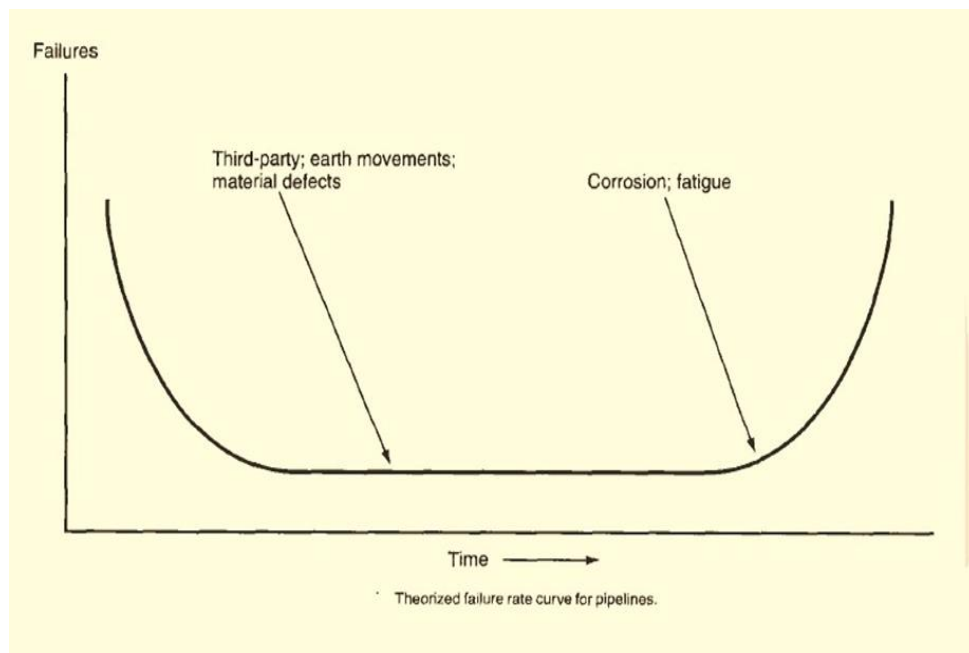


Figure II.15 La courbe de fiabilité des pipelines [24]

II.9 Méthodes de réparation des tubes

II.9.1 Réparation par demi-coquilles soudées

L'installation de demi-coquilles ancrées à tout empiètement est une procédure de réparation et d'entretien des canalisations de transport d'hydrocarbures. L'ensemble de l'utérus est fait en avec demi-coquilles, également connus comme le type B demi-coquilles, qui renforcent la défectueuse zone et contiennent tout le potentiel de l'échec. En un résultat, Ils sont utilisés pour la réparation axiale ou circonférentielle orientation des défauts qui sont débouchant ou non débouchant. La géométrie de demi-coquilles est représentée dans le schéma ci-dessous.

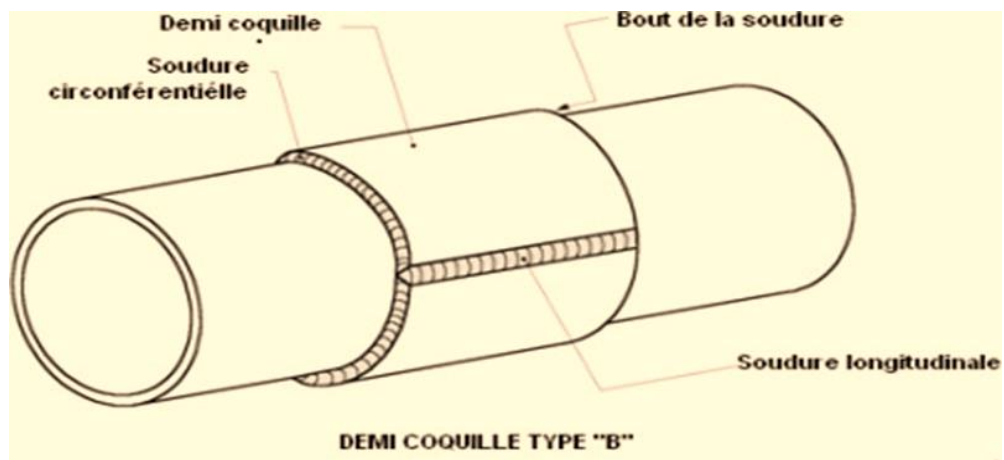


Figure II.16 Géométrie de demi-coquilles.

Les demi-coquilles soudées permettent de réparer les défauts suivants :

- Corrosions internes et externes;
- Enfoncements simples ou combinés à d'autres défauts;
- Entaille et rayures;
- ✚ Fissures au niveau du corps du tube ou du cordon de soudure circonférentiel.

La figure suivante présente l'opération de soudages de demi-coquilles (STT)[17].



Figure II.17 Opération de soudages de demi-coquilles (STT) [17].

II.9.2 Réparation par Clockspring

Pipeline entreprises peuvent souvent trouver des failles dans leurs pipelines au cours de routine des inspections, comme ainsi que pendant la normale opération et l'entretien. Les dommages causés par l'excavation, la corrosion, une erreur structurelle ou un processus de fabrication peuvent tous indiquer un défaut. Manchons ou épouses en de réparation en acier sont couramment utilisés pour réparer ou remplacer endommagé ou défectueux tuyaux, comme ainsi que de près et remplacer endommagés pièces. Lorsque utilisé correctement, le manchon fait jusqu'à des chronomètres ressorts peuvent rétablir la canalisation d'un coffre - fort état de fonctionnement sans la nécessité de fermer ce bas et remplacer ce. Un manchon fait d'un chronomètre est utilisé pour réparer naturel gaz et liquides pipelines sur un temporaire et permanent base [16]. Graphique I.18 : Réparer un garde - temps avec une horloge [16].

II.10 Avantages de pipelines

Un pipeline est incontestablement les plus préférés des moyens de transports pour le transport de grandes quantités de liquide (liquide ou gaz). Même pour les solides, il existe de nombreux cas où le pipeline surpasse les autres voies de transport.

Les avantages de les pipelines sont :

Économique dans beaucoup de circonstances. Les pipelines sont préférables pour une variété de raisons, y compris haut débit, endommagé terrain, et un hostile environnement (tel Que le transport par les marais). Les pipelines peuvent transférer des liquides ou des gaz à une fraction du le coût du transport les par camion ou ferroviaire en normales circonstances. Le pipeline de transport est plus plus compliqué et coûteux que le liquide de transport. Enfin, dans beaucoup de cas, pipelines sont utilisés pour transporter des solides par ce que le prix est inférieur que pour d'autres modes du transport, tel que les camions.

Consommation d'énergie basse. L' intensité énergétique des gros pipelines est bien inférieure à celle des camions, et elle est bien inférieure à celle du rail. L' énergie consommée pour le transport d' une unité de charge sur une distance d' une unité, en unités telles que le Btu par tonne-mille, est définie comme l' énergie consommée pour le transport d' une unité de charge sur une distance d' une unité. La table 1.2 compare le fait d'être intensif d'énergie de pipelines à ceux pour d'autres modes de transport.

Sympathique à l'environnement. C'est principalement due à l' effet que la majorité des pipelines sont métré. Ils ne sont pas responsables de la majorité des problèmes environnementaux liés aux camions et aux trains, tels que la pollution de l' air , le bruit, les embouteillages sur les autoroutes et les passages à niveau, et les animaux errants échoués sur les autoroutes et les voies ferrées. Les oléoducs peuvent polluer la terre et les fleuves quand a la fuite ou la rupture se développent. Cependant, beaucoup plus de déversements accidentels se produiraient si les camions et les trains ont transporté du même pétrole[25].

II.11 Contraintes exerçant sur les conduits

II.11.1 Sollicitation d'un réseau

Le contenu et la pression du gazoduc. cette pression agit comme une source de de souche, exerçant elle - même sur la de licence de conducteur. Le sol autour du pipeline a le potentiel de se déplacer, créant une nouvelle source de danger. Le processus de création d' une contrainte, telle que le soudage, peut également

introduire une contrainte supplémentaire . Les contraintes agissent dans deux directions dans un conduit (figure I.19): circonférentielle ment (contrainte dite circonférentielle) et longitudinalement (contrainte dite longitudinalement ou axiale) [20].

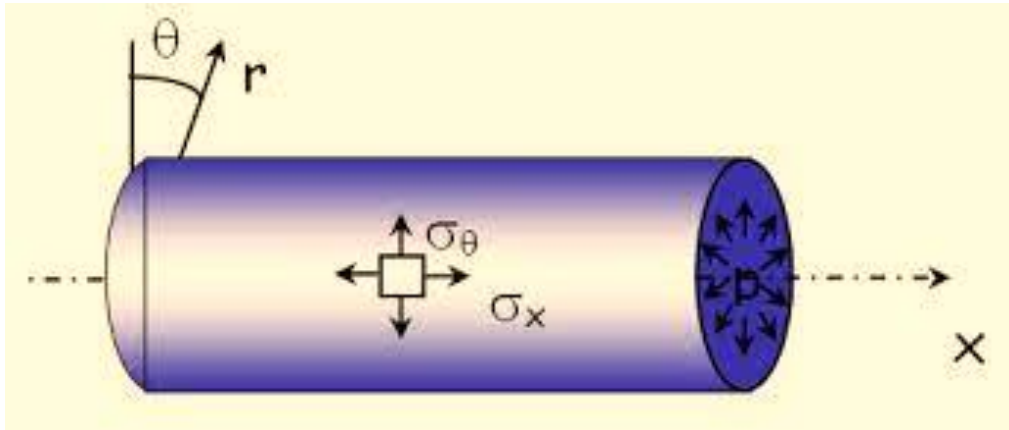


Figure II.18 différentes contraintes s'exerçant sur un conduit [37].

II.11.2 Sources de contrainte circonférentielle

Les différents sources de contrainte circonférentielle sont[7] :

- La fabrication de la conduite enduit des contraintes résiduelles
- La pression interne de service est le composante de contrainte le plus importante
- La pression interne s'exerçant sur une conduite ovalisée, donne une contrainte de flexion au niveau des soudures, ou associée à des stries, à des piqûres de corrosion, éraflures, nous avons naissance de concentration de contraintes
- Les tassements et glissements de terrain induisent des contraintes secondaires,
- Les changements de températures le long de l'axe du gazoduc.

II.11.3 Sources des contraintes longitudinales

Les sources des contraintes longitudinales sont:

- La pression interne de service donne une contraint pouvant attendre le tiers, voir la moitié.
- De la contrainte circonférentielle.
- Les glissements de terrain et tassement de sol.
- La variation de température le long de l'axe du gazoduc.

Troisième Chapitre

III Les procédés de soudage sur pipeline

III.1 Introduction

Beaucoup des activités de construction et de réparation auraient besoin de vous pour souder les tuyaux ensemble. Afin de construire une soudure de qualité pour les tuyaux en utilisant un soudeur MIG, vous avez besoin d'une compréhension et d'une connaissance complètes de la technique de tissage. Ensuite, vous pouvez facilement souder perle correctement.

Une construction forte et solide est la base de la technique de soudage des pipes Une fois que vous connaissez la technique, vous l'appréciez et l'utiliserez pour des projets et des buts variés. Vous pourriez avoir besoin de souder des pipes à haute pression ou à haute pureté pour diverses industries liées aux aliments et aux boissons. Vous pouvez également avoir besoin de souder les pipes pour les industries du pétrole et du gaz. Peu importe le type de soudure de tuyau dont vous avez besoin pour faire des techniques de base resterait identique. [45]



Figure III.1 soudure pipeline MIG [39]

III.2 Techniques de soudage des pipes

Tout en traitant le processus de soudage MIG pipe, vous devriez adopter une variété de processus. Il s'agit notamment de gaz de protection inapproprié, de rouleaux

d'entraînement, d'un faible taux d'ampérage du pistolet MIG et plus encore. Avec l'avancement croissant, de plus en plus de soudeurs adoptent maintenant des méthodes pour traiter divers nouveaux matériaux de pipe.

Ces méthodes permettent d'améliorer la qualité de la soudure, ainsi que la productivité et la sécurité des utilisateurs et des matériaux. Il faut tenir compte de certains facteurs de base qui peuvent influencer sur le processus de soudage des pipes. Ainsi, ici, nous allons partager quelques conseils de base qui vous permettrait de donner des pipes une soudure de qualité forte. [45]

III.2.1 Soudure de pipe (MIG)

Afin de traiter le soudage de tuyau en utilisant un pistolet MIG avec la course de racine étant à la position de 12 dans votre horloge. Le soudeur doit s'assurer que le pistolet n'est pas positionné à un angle trop aigu par rapport au tuyau à souder. Si c'est le cas, il y aura porosité en raison de blindage de gaz dans le processus de soudage et donc provoquerait une déviation. [45]

L'un des problèmes majeurs avec les tuyaux de soudage MIG est l'excès de pénétration qui apparaît au début du soudage.

Afin d'éviter que vous devriez avoir votre pistolet de soudage MIG à une position d'angle de 30 degrés traîné. Jusqu'à ce que la position complètement opposée soit atteinte, comme 6 dans l'horloge, l'angle de fuite doit être maintenu entre 10 et 20 degrés.

Une distance d'environ 9 à 12 mm entre le travail et la buse doit être maintenue pendant le processus de soudage. L'écart de la racine du tuyau est ensuite tissé avec l'utilisation de pistolet à travers le processus de soudage.

Une considération importante devrait être la vitesse de déplacement qui devrait être réglé de telle sorte que les arcs de bout de fil sur le bord d'attaque de la piscine de soudure de sorte que vous n'obtenez pas de rotules défectueuses. Un soudeur doit prendre soin et empêcher la piscine de soudure d'inonder l'arc, car les résultats pourraient être la fusion ou la pénétration des racines.

Une augmentation soudaine de la vitesse de déplacement peut provoquer une perle de pénétration à l'intérieur du tuyau sous la forme d'une gamme de petits fils de longueur appelés whiskers.

III.2.2 Conseils Utiles Pour Le Soudage Des pipes

1. Brûler à travers, manque de fusion, porosité, et beaucoup d'autres défauts peuvent se produire si vous oubliez de broyer l'articulation avant de commencer le processus de soudure. Ce processus doit être effectué après la coupe d'oxygaz ou de plasma. Un soudeur doit s'assurer que tous les oxydes sont retirés du tuyau à l'intérieur et à l'extérieur.

2. Si vous travaillez avec des tuyaux constitués d'un matériau sujette à des distorsions telles que l'acier inoxydable, vous devez bien couper les coins afin d'assurer un bon ajustement sans aucune brèche.

Toute lacune dans ces matériaux peut entraîner des distorsions et pénétration excessive. Si vous avez affaire à la soudure de tuyaux et à la coupe excessive, il est préférable d'acheter un outil particulier de coupe de tuyaux tels que les scies à ruban, les scies à hache, etc. pour assurer des coupes précises.

3. L'absence de rappel à la découpe et à la mise en plumes peut vous donner le risque de défauts de soudure. N'oubliez pas de couper et de plumer afin d'assurer des soudures cohérentes.

4. L'excès de gaz de protection peut causer un certain nombre de problèmes tels que le gaspillage des ressources, les dépenses de coûts, l'agitation accrue et plus encore. Évitez-le.

5. Il est préférable d'obtenir des gaz qui sont déjà mélangés. Ne préférez pas les mélanger avec l'utilisation de régulateurs de débit.

6. Lorsque vous changez les fils de votre machine de soudage MIG, il est important de changer le type ou la taille du rouleau d'entraînement trop.

7. Différents procédés de soudage MIG seraient nécessaires, différentes tailles et types de buses. Faites correspondre et optez pour une buse adaptée à votre soudage spécifique travail.

8. Pendant le cycle d'impulsion de pointe, l'ampérage peut être augmenté à un niveau considérablement plus élevé et votre pistolet MIG peut ne pas être en mesure de gérer cet excès ampérage.

Assurez-vous donc d'acheter un pistolet MIG capable de manipuler l'ampérage excessif pendant le processus de pulsation et peut également traiter les gaz mélangés. Autre arme peut s'épuiser rapidement.

9. N'optez pas pour des soudeurs MIG automatisés complexes, mais recherchez plutôt une machine capable de gérer vos tâches. Une soudeuse avec une puissance de 250 ampères est assez bonne pour gérer diverses applications de soudage de pipes avec sa puissance et sa capacité.

Cependant, cela dépend entièrement de votre obligation. Vous pouvez également obtenir une machine avec un cycle d'utilisation et des performances plus faibles en cas de petites opérations de soudage. [45]

III.3 Variations de types de joint de soudage pour les joints de pipe compliqués

L'accent sera mis sur de légères variations dans les procédures, qui sont nécessaires pour souder des joints de tuyaux plus complexes, comme celles illustrées à la Fig. 10-1. Cela ne signifie pas que des détails tels que la préparation du joint de tuyau, l'amorçage de l'arc, etc., peuvent être négligés. Au contraire, ils sont tout aussi importants qu'auparavant, et pour que la soudure soit saine d'un bout à l'autre, ils doivent être réalisés de manière artisanale. [45]

Perles de racine. La base de toute soudure de tuyau réussie est le cordon de racine. Lors du soudage de joints de tuyaux plus complexes, il en va de même et les procédures sont exactement les mêmes.

Le soudeur doit déterminer s'il doit souder le talon de racine en montée ou en descente. Habituellement, le soudage en amont est préférable. Par cette méthode, il est plus facile de contrôler le métal d'apport et d'obtenir une bonne soudure, surtout si

l'on considère les différentes directions dans lesquelles la soudure doit être déposée sur certains des joints de tuyaux. De plus, les cordons de racines déposés par la méthode de descente doivent être broyés et rectifiés certaines parties de certains des joints de soudure les plus complexes. comme dans les angles vifs, est difficile.

Lors du soudage d'un cordon de racine sur un joint de tuyau compliqué, le soudeur doit également décider à l'avance de la procédure à utiliser.

Habituellement, il devrait commencer à souder à la partie la plus basse du joint de pipe. Si cela nécessite un soudage en hauteur, l'électrode doit être avancée à un rythme lent et régulier, avec ou sans fouetter l'électrode. Lorsque le joint nécessite une soudure en montée verticale ou en position à plat, la procédure de fouettage est utilisée pour contrôler la flaque. Le fouettage est également utilisé pour souder en position de soudage horizontale ou presque horizontale : ici, la longueur de l'arc doit être quelque peu raccourcie. [45]

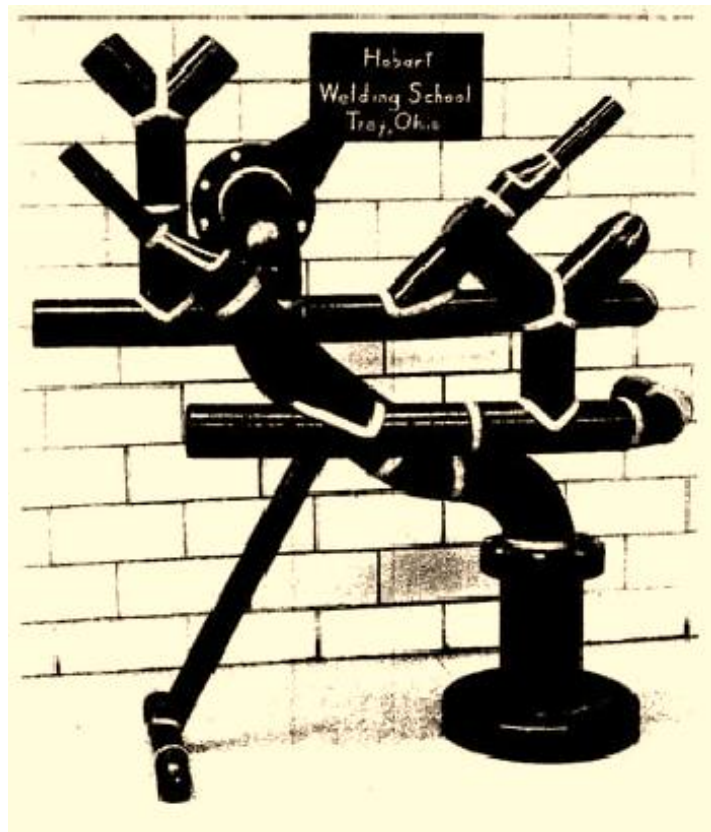


Figure III.2 Une variété de joints de tuyaux parfaitement soudés. [45]

Ceci n'est qu'un bref aperçu du soudage par cordon de racine. Dans la suite de ce chapitre, le soudage du cordon de racine n'est pas traité en détail ; cependant, lors du soudage réel d'un joint de soudure plus compliqué, cette partie de la soudure doit recevoir autant d'attention que le soudage des couches de remplissage. Ne pas le faire entraînera très certainement un joint de tuyau défectueux.

Passes intermédiaire et de couverture. Il existe également de grandes similitudes entre les procédures déjà décrites et celles utilisées pour souder les couches intermédiaires et de couverture sur des joints plus compliqués. Un soudeur maîtrisant les principes et procédures traités jusqu'ici ne devrait avoir aucune grande difficulté à apprendre à souder les passes d'apport sur les joints de tuyaux à traiter plus loin.

Les couches intermédiaires et de couverture sur les joints de tuyaux les plus compliqués peuvent être appelées couches de tissage car un tissage est généralement nécessaire pour contrôler le bain de métal en fusion et pour remplir le joint de soudure avec du métal sain. Les tissages à décrire dans les pages suivantes ont tous de la bière. utilisé pour faire des joints de soudure de haute qualité. D'autres techniques ont également été utilisées, mais elles ne sont pas susceptibles de produire de meilleures soudures. Le débutant doit d'abord maîtriser les procédures décrites dans ce chapitre ; puis, s'il le souhaite, il peut expérimenter d'autres techniques. [45]

Il existe des exceptions lorsque les procédures suivantes ne doivent pas être utilisées. Ces exceptions seront traitées à la fin de ce chapitre. Cependant, lorsque ces procédures sont utilisées, le soudeur ne doit pas négliger les détails suivants :

1. Retirez le laitier des couches précédentes et nettoyez soigneusement le joint de soudure.
2. Fournir un apport de chaleur adéquat en ayant le réglage de courant correct pour la soudure à effectuer.
3. Frappez l'arc dans le joint, laissez-le se stabiliser, puis laissez le temps à l'écran gazeux de se former avant que l'arc ne se raccourcisse ; continuer à maintenir la longueur d'arc correcte à tout moment.
4. Maintenez l'angle d'électrode correct.
5. Manipulez l'électrode en douceur et maintenez la vitesse de déplacement correcte.

Certains des joints nécessiteront un soudage dans deux ou trois directions. Dans de tels cas, le soudeur doit être vigilant pour modifier la manipulation et l'angle de l'électrode selon les besoins. Il détermine quand ces changements sont requis par le comportement du bain de métal en fusion. Il doit éviter les contre-dépouilles, l'affaissement et un cordon de mauvaise apparence.

Les procédures recommandées à suivre sont décrites par des illustrations qui montrent le motif de tissage à utiliser comme dans la Fig. 10-2. En étudiant les illustrations du motif de tissage sur les pages suivantes, les lignes qui décrivent ces motifs ont la signification suivante :

1. Les lignes épaisses indiquent une vitesse de déplacement normale, où le métal d'apport est donc déposé.
2. Des traits lumineux indiquent une vitesse de déplacement plus rapide pour éviter tout dépôt régulier de métal d'apport et, en même temps, pour retirer temporairement l'arc de la flaque afin de refroidir le métal en fusion et l'empêcher de s'affaisser.

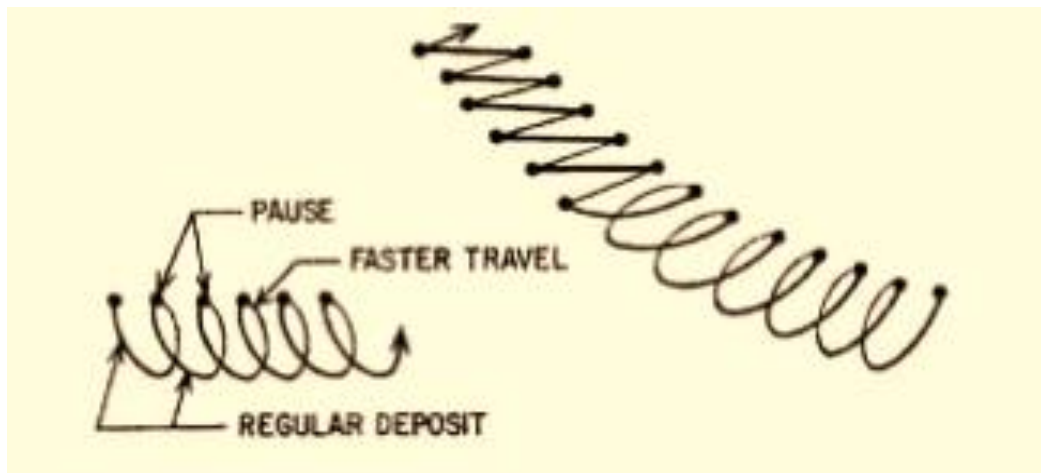


Figure III.3 Désignation des symboles de motif de tissage. Lignes lourdes. vitesse de soudage normale; lignes lumineuses : vitesse de déplacement plus rapide ; points : pauses.[45]

Les points indiquent une pause dans le mouvement de l'électrode afin de chauffer le métal et de déposer le métal d'apport. Souvent, cela est fait pour éviter la sous-cotassions.

III.3.1 Soudage en montée avec des pipes en position angulaire (6G)

Les procédures illustrées à la fig. 10-3 sont utilisés lorsque les pipes à souder sont à un angle, ou autour de la position 6G. Dans ce cas, le joint est un joint bout à bout. Le cordon est commencé par le soudage aérien à la partie la plus basse du tuyau. À mesure que le cordon progresse autour du tuyau, la procédure de soudage change légèrement. Le soudeur doit porter une attention particulière à l'angle de l'électrode, qui est de 10 à 15 degrés, et à l'angle latéral, qui est de 15 degrés, comme le montre la figure III .4 B. En pointant l'électrode vers le bord supérieur de l'articulation, la force d'arc aide à empêcher la flaque d'eau de s'affaisser vers le bas. De plus, en faisant une pause lorsque l'arc est contre ce bord, le métal se dépose en quantité suffisante pour assurer une bonne fusion et prévenir la fissuration. [45]

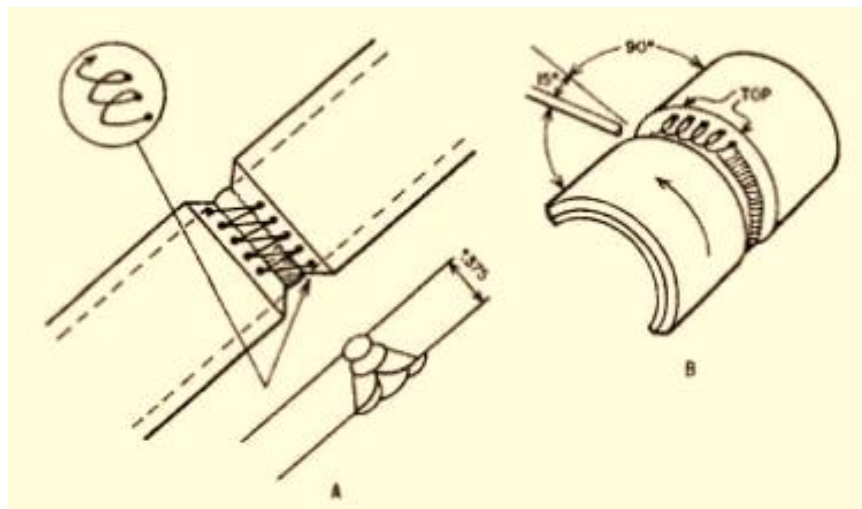


Figure III.4 Modèles de tissage utilisés pour le soudage en montée des joints de tuyauterie en position angulaire (6G). [45]

Le long du côté du joint, la soudure assumera la caractéristique d'une soudure verticale en montée. Comme le montre la Fig. 10-3A, un tissage oblique légèrement modifié doit être utilisé ici, tout en faisant une pause sur les deux bords du joint.

Lorsque la tendance du métal à s'affaisser diminue près du sommet du joint, le soudeur doit revenir à l'armure en "boucle" inclinée, en s'arrêtant uniquement sur le bord supérieur. Les deux côtés de la conduite sont soudés de cette façon.

Si l'épaisseur de la paroi du tuyau dépasse 3 % de pouce, il ne faut pas utiliser de tissage. Dans ce cas, le joint doit être rempli par soudage d'une série de billes de stringer, faites en l'électrode vers le haut à un rythme lent et régulier sans un tissage étendu, comme dans la fig. 10-4. [45]

III.3.2 Articulation latérale complète

Lorsque deux tuyaux sont joints ensemble comme le montre la fig. 10-5, les bords du joint sont biseautés et une perle de racine est d'abord déposée de la manière habituelle pour fermer le joint. Les canapés intermédiaires et les canapés de recouvrement, cependant, assument les caractéristiques d'une soudure d'angle.

En effet, quatre joints séparés, deux de chaque côté, doivent être soudés.

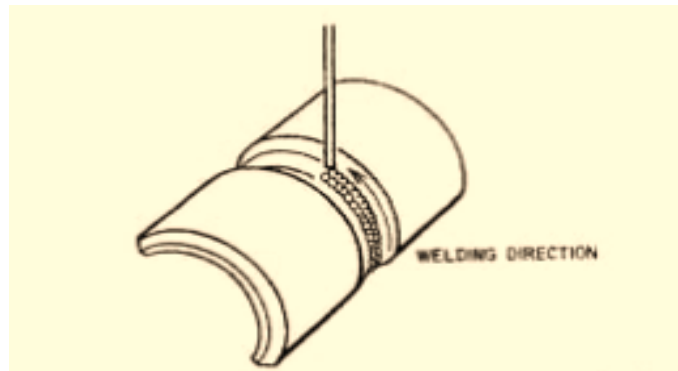


Figure III.5 Perles de lissage déposés lors du soudage de pipe à paroi lourde dans la position 6G, ou similaire. [45]

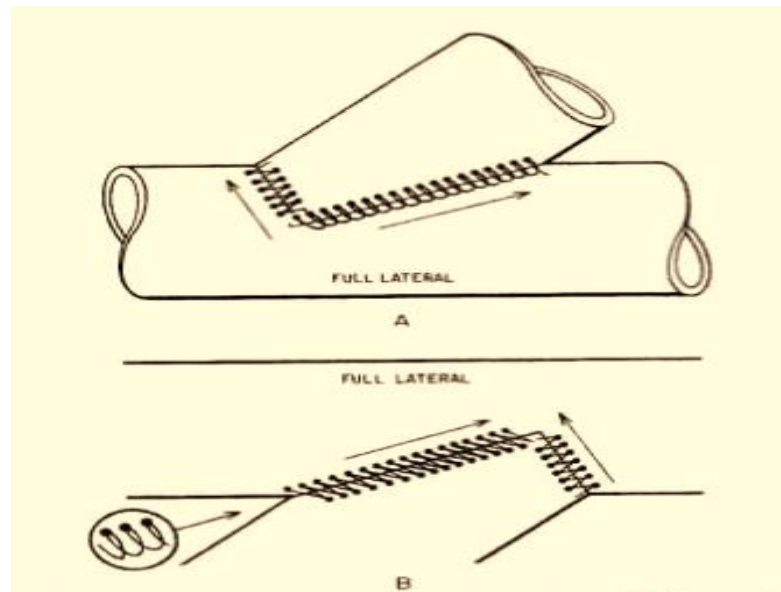


Figure III.6 Modèles de tissage utilisés pour souder un joint de conduite latéral. A). Avec la conduite transversale sur le dessus de la conduite horizontale; B). Avec les deux conduites dans une position horizontale. [45]

La soudure commence au bas du joint et se dirige vers le haut de la conduite horizontale, où le raccord est fait.

Sur la fig. 10-5A, la conduite transversale est située sur le dessus de la conduite horizontale. La soudure remontant le joint le plus raide est fait en utilisant un tissage oblique, en s'arrêtant sur les deux bords. Un tissage en "boucle" incliné est utilisé pour souder l'autre joint. La flaque aura une tendance à s'affaisser qui est surmontée par le tissage en "boucle" inclinée et par une pause au bord supérieur de l'articulation.

Dans Fig. 10-5B, les deux tuyaux sont dans un plan horizontal. Le bas de la conduite d'un soudage aérien qui se transforme en soudage vertical en montée. Au sommet du joint, le procédé de soudage devient essentiellement plat.

Pour commencer la soudure en position de tête, un tissage en "boucle" incliné est utilisé pour empêcher la flaque d'égoutter. L'électrode doit s'arrêter au bord supérieur de l'articulation. Lorsque la tendance de la flaque d'eau à s'affaisser diminue, le modèle de tissage doit être changé pour un tissage oblique modifié, qui se poursuit jusqu'au sommet de l'articulation. [45]

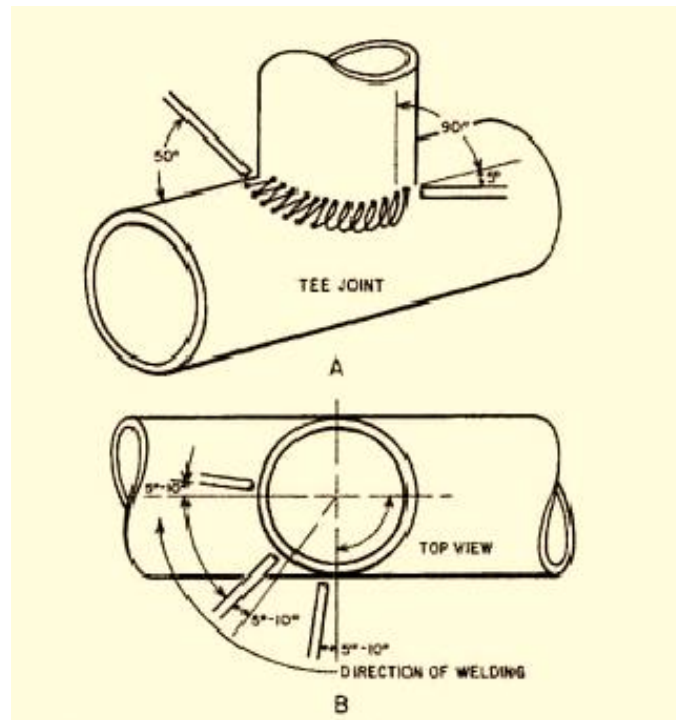


Figure III.7 Modèle de tissage pour le soudage d'un raccord en T avec un tuyau croisé sur le dessus : B. Angle d'électrode pour le soudage du raccord en T. [40]

Le soudeur doit être vigilant lors du soudage autour de la position 3 heures des deux côtés du joint. Il doit porter une attention particulière à la manipulation des électrodes et, si possible, il ne doit pas arrêter le cordon dans cette position.

III.3.3 Articulation en T avec intersection sur le dessus :

Un raccord en T typique est illustré à la fig. 10-6. Le raccord doit être préparé en inclinant les bords de façon à obtenir un bon ajustement. Une fois le joint soudé, des joints de remplissage supplémentaires sont déposés pour remplir le joint et lui donner plus de force.

Sur les deux côtés, la soudure commence à la partie la plus basse du joint. L'assemblage des perles se fait aux deux parties les plus hautes du joint. Lors du soudage autour du joint, il est important de maintenir les angles d'électrode corrects, qui sont illustrés sur la Fig. 10-6.

Un cordon incliné "loop" est utilisé pour souder la partie inférieure du joint afin d'éviter que la flaque ne retombe. L'électrode doit pointer légèrement vers le haut

(voir fig. 10-6A) pour permettre à la force d'arc de contrôler la flaque d'eau. Pour permettre au fond du joint de refroidir légèrement, ainsi que la tendance à s'affaisser, l'électrode doit s'arrêter momentanément au sommet du joint soudé. Cela fournit également du métal supplémentaire à cette partie du joint.

Lorsque la tendance de la flaque à s'affaisser diminue, le modèle de tissage est changé en un tissage oblique et l'électrode s'arrête à nouveau sur les deux bords de la soudure. Le motif oblique se poursuit jusqu'à ce que la perle atteigne le sommet du joint. [45]

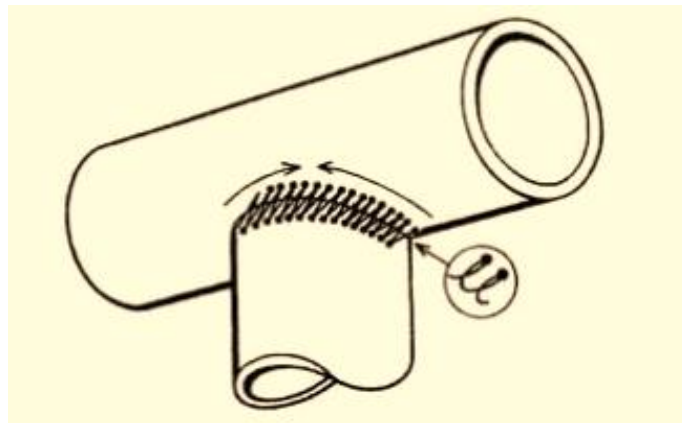


Figure III.8 Modèle de tissage pour le soudage de raccord en T avec un tuyau croisé sous le pipe horizontal. [45]

III.3.4 Articulation en T avec intersection en bas

La procédure de soudage du joint en T illustrée à la fig. 10-7 est similaire à celle du joint en T précédent, où l'intersection se trouve au sommet du tuyau horizontal. On soude d'abord un jonc de racines en commençant par la partie la plus basse du joint. Il est suivi de plusieurs perles supplémentaires qui commencent également près de la partie la plus basse du joint ; cependant, toutes ces perles doivent se chevaucher. Une perle ne doit jamais être lancée au même endroit que la perle inférieure suivante.

En démarrant le cordon de remplissage dans la partie inférieure du joint, un tissage en "boucle" incliné est utilisé depuis cette partie du joint est en position aérienne. Une légère pause est faite à la partie supérieure de l'articulation lors de la réalisation de ce tissage.

Au fur et à mesure que la soudure progresse autour du joint, et lorsque le métal fondu perd sa tendance à s'égoutter, l'armure est transformée en un modèle d'armure oblique, comme le montre la fig. 10-7. L'électrode doit s'arrêter sur les deux bords de l'articulation lorsque ce modèle est déclenché. Ce modèle est utilisé jusqu'à ce que la couche soit arrêtée en haut de l'articulation. [45]

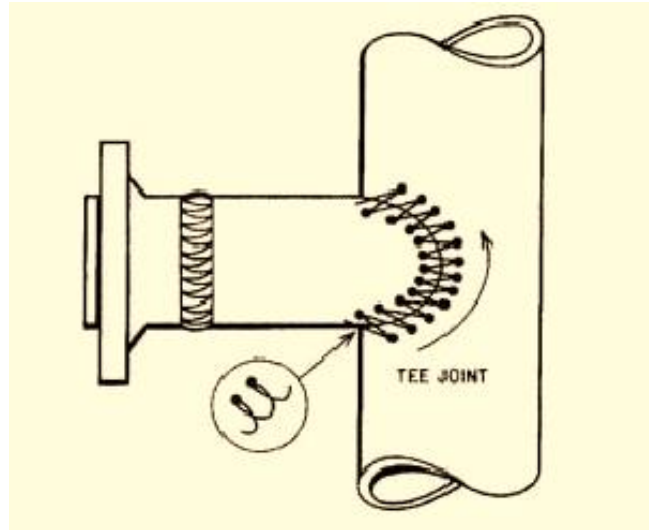


Figure III.9 Modèle de tissage pour le soudage du raccord en T avec le tuyau croisé situé sur le côté du pipe vertical. [45]

III.3.5 Articulation en T avec intersection latérale

Une autre orientation commune à laquelle les joints en T doivent être soudés est illustrée à la fig. 10-8. Dans ce cas, la doit être réalisée en trois positions de soudure, à savoir : en hauteur, en montée verticale et à plat, dans l'ordre indiqué. La soudure aérienne est réalisée à l'aide d'un tissage en "boucle" incliné tandis que pour les deux autres positions de soudure, un tissage en oblique est utilisé. [45]

III.3.6 Joint en Y

Une jonction en Y est illustrée à la Fig. 10-9. Les tuyaux sont d'abord joints entre eux par une jonction de racines, après quoi les perles de remplissage sont ajoutées. Le soudage se fait en travaillant du bas vers le haut du joint. Trois raccords doivent être faits. Un raccord est fait à la partie la plus haute du joint et deux sont faits sur les côtés du joint (un de chaque côté) au point d'intersection des trois tuyaux.

Il est préférable de ne pas démarrer un cordon au point d'intersection des trois tuyaux, car la chaleur sera retirée plus rapidement à ce point que n'importe où

ailleurs. Pour cette raison, une des billes doit être soudée en continu au-delà de cette partie de la soudure. Cette facture doit d'abord être déposée. Le cordon sous l'autre tuyau peut alors être soudé jusqu'à ce point, où le lien est fait.

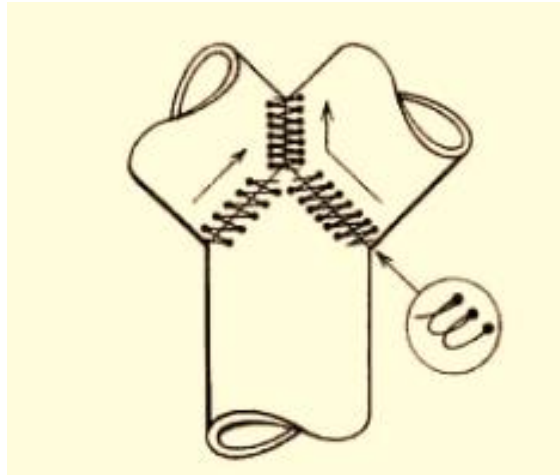


Figure III.10 Modèle de tissage pour le soudage d'un joint en Y. [45]

Ce joint doit être soudé en trois positions de base. Un tissage en "boucle" incliné est utilisé pour souder à deux endroits où le soudage aérien est nécessaire. Les parties du joint qui souhaitent des soudures verticales en montée et à plat sont soudées à l'aide d'un tissage oblique, comme le montre la fig. 10-9. [45]

III.3.7 Précautions particulières

Dans certains cas, les parties des joints de canalisation qui doivent être soudées à l'horizontale (2G) ne doivent pas être soudées au moyen d'une armure. Bien que les données de recommandations dans les pages précédentes soient généralement utilisées, elles doivent parfois être modifiées lorsqu'il est nécessaire de souder un cordon en position 2G. [45]

Lorsque le procédé de tissage ne peut pas être utilisé en position de soudage horizontal, la soudure se fait en déposant une série de billes "stringer" dans cette partie du joint. Les billes de stringer sont déposées en l'électrode à un rythme et régulier, avec très peu de tissage. Les situations dans lesquelles un motif de tissage ne peut pas être utilisé en position 2G sont énumérées ci-dessous :

1. Lors du soudage de joints de tuyaux en alliage élevé
2. Lors de l'utilisation d'électrodes à faible teneur en hydrogène

3. Lors du soudage de joints de tuyaux à paroi très lourde.

L'utilisation d'un modèle de tissage large pour souder en position horizontale exposera momentanément le métal chaud à l'atmosphère. Lorsque le tube de soudage a une teneur en alliage plus élevé, ce modèle entraîne l'oxydation et la porosité dans le métal soudé. Les baguettes de soudure offrent une meilleure protection contre l'oxydation et la porosité de l'écran gazeux sera sur le métal chaud. Par conséquent, les billes stringer au lieu d'une armure doivent être utilisées pour déposer la facture lors du soudage de tuyaux en alliage plus élevé dans la position de soudage horizontal.

Le métal soudé déposé par des tordes électriques à faible teneur en hydrogène fortement traité est très fluide et se refroidit très lentement. Lorsque le dépôt est en position de soudage horizontal, il a tendance à s'affaisser et à piéger le laitier. En outre, l'enlèvement temporaire de l'écran gazeux résultant d'un motif de tissage large entraînera le métal refroidissant lentement à absorber l', formant des oxydes. Pour ces raisons, il convient d'utiliser des baguettes pour souder en position horizontale lors du soudage avec des électrodes à faible teneur en hydrogène

Quatrième Chapitre

IV Partie expérimental et résultats

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter toutes les expériences qui ont été réalisées par l'entreprise SONATRACH.

L'objectif principal de ce travail est de étudié le soudage de pipeline avec procédé de soudage à l'arc électrique tungstène TIG avec de joint multi passe de l'acier A333 gr 6. Nous présentons une étude paramétrique dont le but de lier les caractéristiques mécaniques des cordons de soudure aux paramètres opératoires du procédé.

Les résultats de caractérisation telle que la dureté et l'essai de traction ainsi essai de résilience du cordon seront discutés en les comparants avec les propriétés du métal de base pour expliquer l'origine des changements observés dans le cordon de soudage à l'arc électrique.

IV.2 Réalisation des éprouvettes

IV.2.1 Identification de matériau

IV.2.1.1 Métal de base

L'acier étudié, A 333 Gr 6. ASTM A333 est principalement utilisé pour les tuyaux en acier sans soudure destinés aux réservoirs sous pression à basse température situés à $-45\text{ °C} \sim -195$ et aux conduites d'échangeurs thermiques à basse température. La norme ASTM A333 de classe 6 est un tuyau en acier au carbone et en acier allié, soudé et soudé, revêtu en standard pour basses températures, similaire à l'acier faiblement allié AISI 4032. Le procédé de soudage ne doit pas comporter de métal d'apport. Il doit être ajouté pendant les opérations de soudage.

IV.2.1.2 Caractéristiques mécaniques du métal base

Le matériau utilisé est un acier au carbone, de nuance A 333 GR 6, avec les Caractéristiques mécanique suivantes :

- La limite élastique : $R_e = 240$ MPa.
- La résistance maximale à la traction : $R_m = 451$ MPa.
- L'allongement : $A\% = 30\%$.
- La température de l'essai de : $50 \pm C$
- L'énergie absorbée lors de l'essai de résilience : 27 joules [42-43]

IV.2.1.3 La composition chimique

La composition chimique de l'acier A333 G r 6 est représenté dans le tableau IV.1 suivant [2] :

C %	Mn %	P %	S %
≤ 0.30	≤ 1.06	≤ 0.025	≤ 0.025

Tableau IV.1 Composition chimique A333

IV.2.1.4 Métal d'apport

Le métal d'apport utilisé suivant la procédure de soudage est l'électrode :

ER 70s -6 et E7018-1 .

IV.2.1.4.1 La composition chimique de métal d'apport ER 70s -6 (figure 4.)

Recommandé pour le soudage TIG sur faibles épaisseurs et pour l'exécution de passes de fond avant remplissage



Figure IV.1 métal d'apport ER 70s -6

IV.2.1.4.2 Composition chimique de l'électrode ER 70s -6

La composition chimique de l'électrode ER 70s -6 est représentée dans le tableau IV.2 suivant :

C %	Si %	Mn %
0.10	0.60	1.2

Tableau IV .2 Composition chimique de l'électrode ER 70s -6

IV.2.1.4.3 Caractéristiques mécaniques de métal d'apport

Les caractéristiques mécaniques d'ER 70s-6 représenté dans le tableau IV. 3.

	Charge Rupt.	Limite Élast.	Allongement	Résilience	Temp. D'essai	Dureté
	Rm N/mm ²	Rp (0.2) N/mm ²	A5d%	J	°C	HB
Brut de soudage	580	470	26	220	20	
				60	- 50	

Tableau IV.3 Caractéristiques mécaniques ER 70s -6

IV.2.1.4.4 La composition chimique de métal d'apport E7018-1 (figure 4.)

Recommandé pour le soudage à l'arc électrique enrobé sur faibles épaisseurs et pour l'exécution de passes de fond avant remplissage

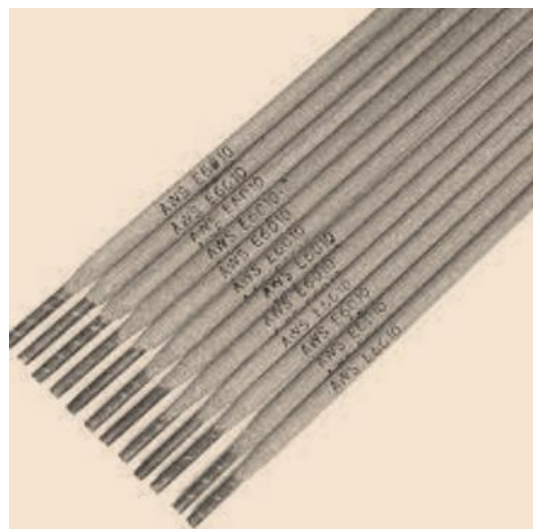


Figure IV.2 metal d'apport E7018-1

IV.2.1.4.5 Composition chimique de l'électrode E7018-1

La composition chimique de l'électrode E7018-1 est représentée dans le tableau IV.4 :

Electrode basique à très basse teneur en hydrogène diffusible. Excellente qualité de soudage en toutes positions sauf verticale descendante. Excellentes caractéristiques mécaniques : résiliences 47J à -40°C.

Mn	Si	S	P	Cr	Ni*Mo
≤1,60	≤0,75	≤0,035	≤0,040	≤0,20	≤0,30

Tableau IV.4 Composition chimique

IV.2.1.4.6 Caractéristiques mécaniques de métal d'apport ER 70s -6

Tableau IV. 5 représente propriétés mécaniques de métal déposé ER 70s -6

Rm(Mpa)	Rel(Mpa)	Un(%)	Akv(J)
≥490	≥400	≥22	≥27

Tableau IV.5 Propriétés mécaniques de métal déposé ER 70s -6

IV.3 Le soudage des tubes

Le soudage des éprouvettes se fait avec les paramètres de soudage suivants :

- le type de soudage utilisé est le soudage TIG et le soudage à l'arc électrique avec électrode enrobé.
- Le préchauffage avant le soudage est réalisé avec torche propane (20°C min pour toutes le métal de base).
- Les électrodes utilisées (ER70S-1 ; E7018-1) des diamètres (Ø 2,4mm /3,4mm /4mm)
- Le cordon de soudure est effectué en 7 passes de soudage avec une passe interne suivant la figure IV.3
- La vitesse d'avance du métal d'apport est réglée par l'opérateur de telle manière à obtenir optimisation de l'arc de soudage.
- Les valeurs de L'intensité du courant et la tension sont déterminé selon DMOS (description de mode opératoire de soudage).

Le choix du courant, de la tension et la polarité du courant est donné sur Tableau IV.6.

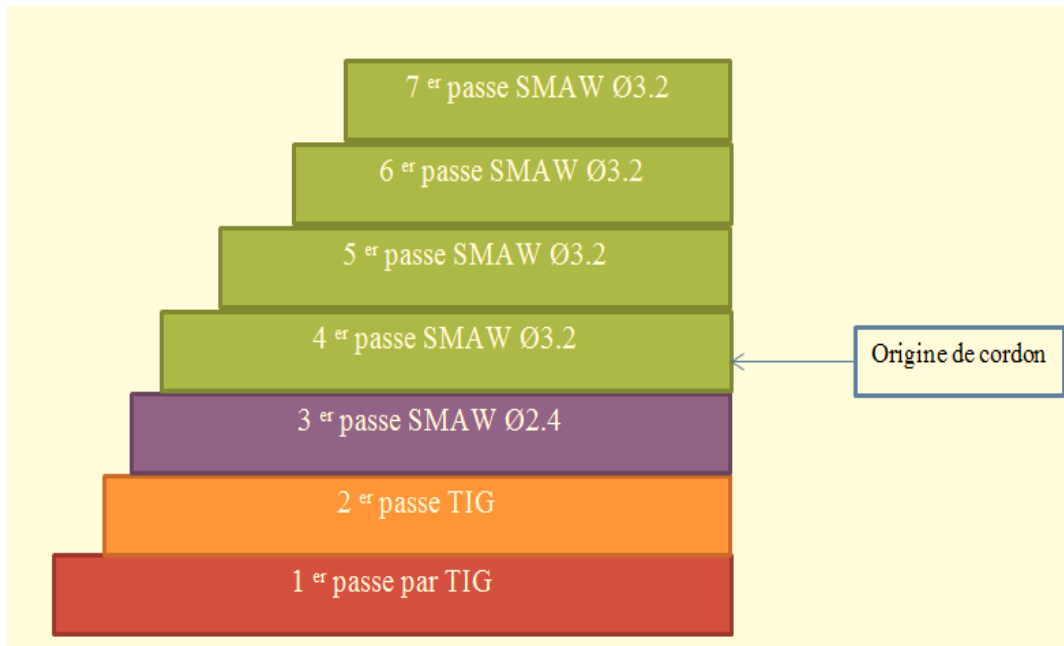


Figure IV.3 schéma de l'enchaînement des passes de la maquette étagée

Le soudage des cordons a été réalisé suivant le mode opératoire de soudage Tableau IV. 6 :

Passes	Pénétration	Bourrage	Finition
Procédé de soudage	Soudage TIG (GTAW)	Soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)	Soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)
Courant & Polarité	DC (-)	DC (+)	DC (+)
Métal d'apport	ER 70S-6	E 7018-1	E 7018-1
Ø Electrode (mm)	WT 20 dia 2,4	3,2-4	3,2-4
Ø Fil (mm)	2,4	-	-
Gamme d'intensités(A)	100-130	90-130	110-150
Gamme de tension (V)	10-14	22-25	22-25
Vitesse d'avance (cm/min)	5-7	10-14	9-13
Energie Max (kj/cm)	21,84	16,5	25
Gaz	99,99% Ar	-	-
Débit (l/min)	10-20	-	-

Tableau IV.6 Paramètres opératoires de soudage de pipeline .

IV.4 Préparation des éprouvettes soudées

IV.4.1 Prélèvement d'échantillons

Nous avons créé une virole hors d'un tube. Ensuite, en utilisant cette virole, nous avons créé deux plaques : une transversale par rapport à la virole, qui ne contient le cordon de soudure (Figure IV.4.).



Figure IV.4 Prélèvement des plaques : transversales au cordon de soudure

IV.4.2 Coupage des éprouvettes pour les essais de traction

Après le soudage des tôles avec le procédé de TIG puis de soudage par électrode enrobée, afin d'atteindre un joint de soudure multi passe, on fait le découpage des éprouvettes avec une meule à main. Les dimensions de l'éprouvette de traction $350 \times 25 \times 12.7$ pour les assemblages soudés selon la norme internationale EN 10002-1 [45] suivant la figure IV..5.

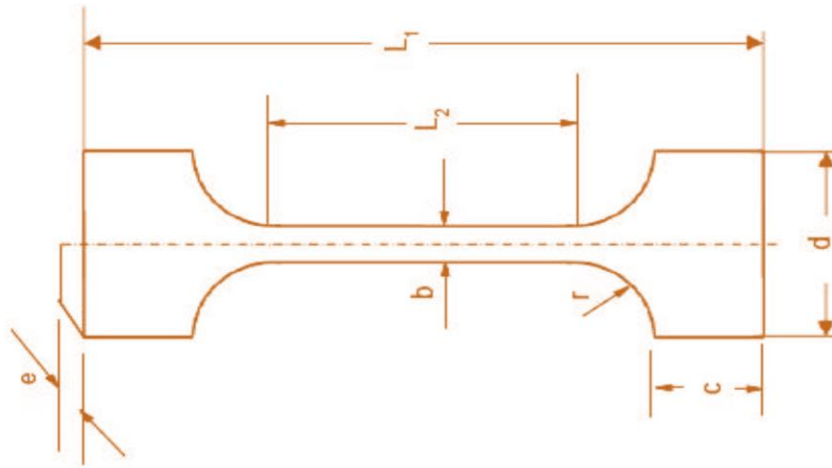


Figure IV.5 dimensions suivant la norme dimensions suivant norme EN 10002-1 [45].

IV.5 Réalisation des essais

IV.5.1 Essai de dureté

La dureté d'un matériau définit la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la

Pénétration d'un poinçon, par exemple une bille en acier trempé (dureté Brinell) ou une pyramide en diamant (dureté Vickers). S'il y résiste bien, il est dit dur, sinon il est dit mou. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré.

Les échantillons destinés aux mesures de dureté ont été extraits dans une zone en régime du joint, perpendiculairement à la direction de soudage, sur une largeur de 30 mm minimum et une épaisseur de 4 mm, et polis jusqu'à une rugosité inférieure à 9 micron.

L'ensemble est ensuite placé dans un dispositif permettant d'assurer un parallélisme suffisant entre la table de la machine de micro dureté et la surface de la pièce à examiner.

IV.5.2 Machine d'essai de dureté Vickers

- ✚ La machine de l'essai de dureté utilisé est une machine de marque Zwick (figure IV.6) qui a les caractéristiques suivantes :

- ✚ La réalisation de différents essais de dureté Vickers, Brinell, et Rockwell (HV, HB, HR).
- ✚ La machine a les charges suivantes (3,10,15kg).
- ✚ La conversion entre les échelles de dureté.
- ✚ Doté avec une loupe qui aide à la réalisation de mis en point.
- ✚ La possibilité de changer le temps d'application de charge selon l'utilisation.



Figure IV.6 microduromètre Vickers.

IV.5.3 Exécution de l'essai de dureté

Dans l'essai de dureté on utilise l'essai Vickers avec une charge de 1kg et le temps d'application de charge 10 s et on prend 45 mesures sur chaque échantillon (figure IV.7) :

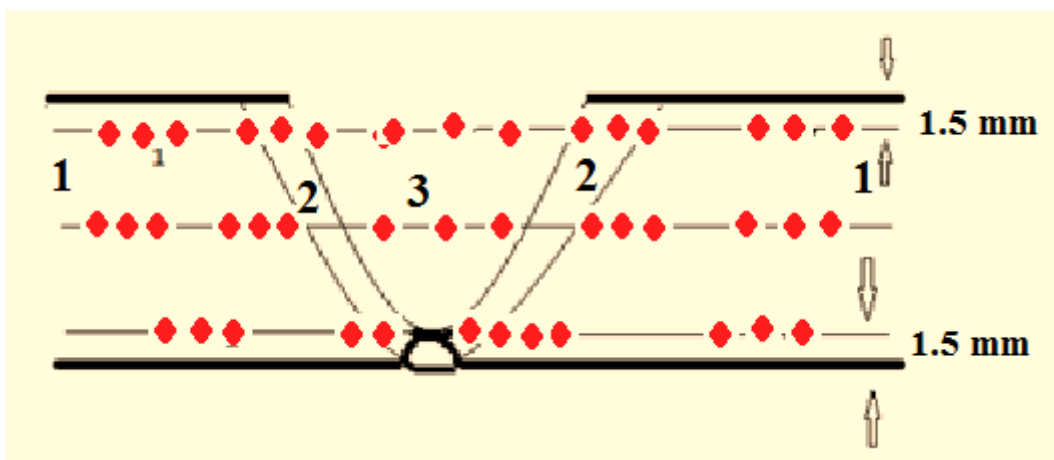


Figure IV.7 Localisation des points à mesurer. 1 la zone 1 : MB , 2 : ZAT et 3 ZF

IV.5.4 Résultats et interprétation de mesure de l'essai de dureté Vickers

L'évolution de la dureté dans le joint soudé est liée aux modifications microstructurales engendrées par le soudage, la densité de dislocations et la distribution de petites particules de composés intermétalliques. [46]

La figure IV.8. Présente les variations typiques de la micro dureté dans la direction perpendiculaire à l'interface de soudure.

Les résultats montrent un changement distinct de dureté le long de l'acier. Les trois profils de micro dureté des joints FSW présentent une même forme. La dureté la plus faible est dans le noyau de la région soudée, cependant les valeurs de dureté les plus élevées sont en HAZ et en TMAZ.

En remarque aussi la dureté la plus grand dont centre de joint para port extrémité extérieur et intérieur du a la température maximal dans le centre de joint soudure (zone fondue).

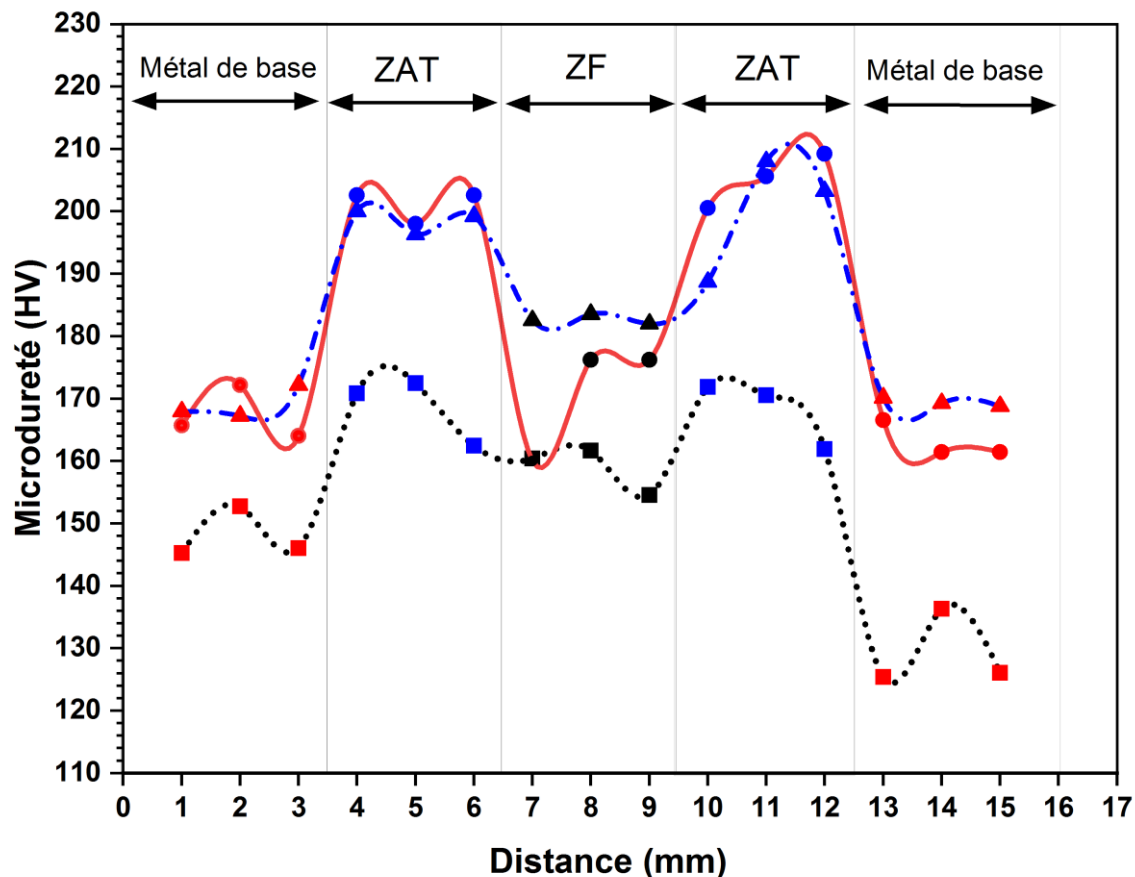


Figure IV.8 micro dureté dans le joint soudure multi passe

Concernant notre acier la distribution de la dureté dans les différentes zones est montrée dans la Figure 86. Les mesures ont été effectuées à partir de trois lignes du cordon sous une charge de 1000g. L'effet de soudage sur les différentes régions des aciers soudés, il a été reporté que les essais de dureté représentent une approche fiable sur les propriétés mécaniques de ces différentes zones, mais l'information obtenue est limitée [47]. Dans d'autres recherches le test de dureté est le chemin simple et rapide pour l'obtention des informations importantes des propriétés mécaniques de l'acier soudé [48]. Cependant, d'autres facteurs peuvent contribuer à cette augmentation de valeur de dureté tel que, les dimensions des grains, la composition de la phase et les inclusions métalliques.

D'après l'analyse de la micro dureté le joint multi passe, la soudure par fusion à l'arc électrique se décompose en trois zones principales (ZF, ZAT, MB), Comme rapporté dans les travaux (figure IV.9) [49].

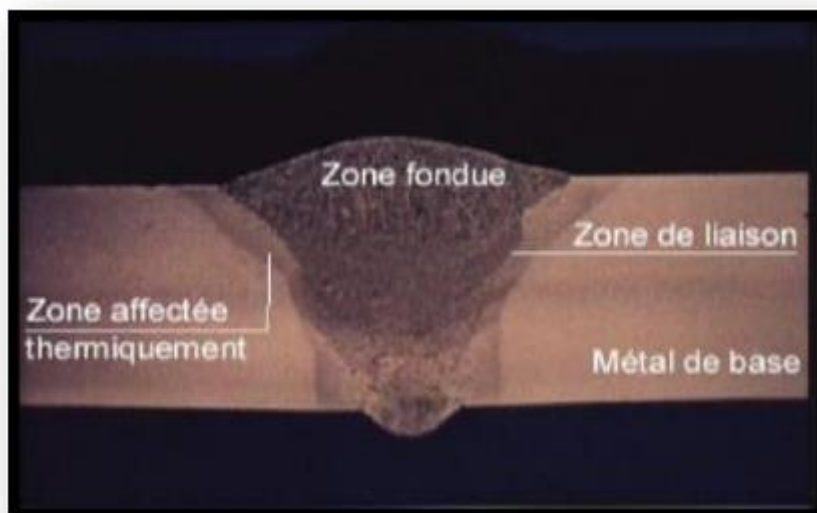


Figure IV.9 Présentation macrographique d'un joint soudé [49].

a) **Zone Fondue (ZF)** : zone où l'état liquide est prépondérant où la structure métallurgique obtenue après solidification dépend du cycle de refroidissement. On distingue des gradients de concentration de la partie la plus fondue vers la moins fondue. Il est donc possible d'examiner les variations de dureté [50].

b) **Zone Affectée Thermiquement (ZAT)** : zone adjacente à la zone fondue sur une largeur plus ou moins étendue qui a été soumise à l'élévation de température sans être portée à la fusion. Le chauffage, la composition chimique et la vitesse de refroidissement de cette zone génèrent des modifications plus ou moins importantes de la structure métallurgique.

Zone de Liaison (ZL) : zone située entre la ZF et la ZAT, correspond à la surface sur laquelle la solidification du métal fondu a commencé.

d) **Métal de Base (MB)** : au-delà de la ZAT, l'élévation de la température est insuffisante pour engendrer une quelconque transformation structurale. Il est à signaler que le métal de base, tout comme le joint de soudure global, peut être un site de concentration des contraintes résiduelles (transversales et longitudinales), dépendant du degré de rétreint imposé à la soudure [51].

En soudage, le gradient thermique et la vitesse de croissance évoluent fortement le long de la ligne de fusion, c'est-à-dire des bords de la soudure à la ligne centrale. Le gradient est maximal sur le bord du bain et diminue en se rapprochant de la ligne centrale tandis que la vitesse est minimale au bord du bain et maximale au niveau de la ligne centrale. [51].

Ces valeurs de la dureté varient entre **145-209 HV**, En effet ces résultats sont en accord avec la littérature. La dureté maximale se trouve dans la ZAT. Mais dans la présente étude, la variation des propriétés mécaniques à travers la soudure peut être attribuée à plusieurs facteurs, principalement aux contraintes internes résiduelles piégées au cours du soudage. D'autre part, GUL. et al. [52] a trouvé que les valeurs de la dureté mesurées sont maximales dans la région de soudure (ZF).

Ont noté que : La dureté de joint soudure par fusion est presque toujours inférieure le métal de base mais dans le soudage par multi passe la dureté est supérieurs a le métal de base du le traitement thermique affecté par le multi passe de soudage

IV.6 Essai de traction

IV.6.1 But de l'essai

Nous avons utilisé l'essai de traction pour déterminer les courbes charge– déformation et les propriétés mécaniques de l'acier A 333 Gr 6, l'éprouvette d'essai est prélevée dans le matériau à caractériser et usinée à des dimensions normalisées, afin d'assurer une meilleure comparaison des essais effectués dans différents laboratoires. Pour chaque type de matériau, il existe un type d'éprouvette spécifique [53]

IV.6.2 La machine d'essai

Les essais de traction sont réalisés au laboratoire d'essai mécanique sur une machine universelle de type Zwick comme montre dans la figure IV.10. Les résultats sont recueillis par acquisition numérique, les données sont traitées puis affichées sur un écran d'ordinateur.

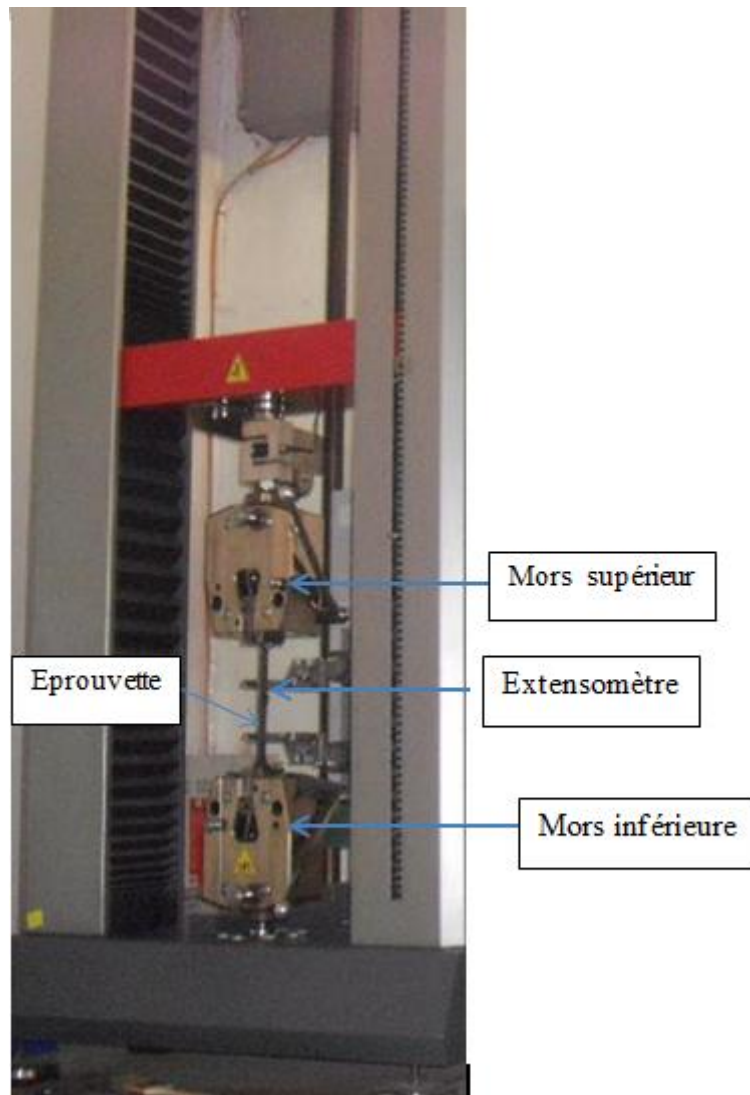


Figure IV.10 Machine de traction type Zwick.

IV.6.3 Exécution de l'essai de traction

L'essai de traction est réalisé comme suit : Fixer l'éprouvette normalisée entre les mors Inférieurs et supérieurs de la machine. Appliquer un effort de traction jusqu'à la rupture de l'éprouvette. La machine enregistre simultanément les efforts(F) et les allongements ($L-L_0$).

Est après en déterminer résistance maximale

IV.6.4 Résultats et interprétation de l'essai de traction

Les résultats importants obtenus après les essais sont résumés dans le tableau IV. 7 Le matériau utilisé présente une contrainte maximale de résistance à la traction de l'ordre de 602Mpa, avec une déformation longitudinale de l'ordre de 50%.

On remarque que la propriété '*résistance à la traction*' est conservée même après le soudage. Tandis que la déformation est devenue plus faible. La cause de cette diminution de l'allongement est dû à l'effet du traitement thermique qu'a subit la zone affectée thermiquement (ZAT) et au changement microstructural qu'a subit la zone fondue (ZF) de l'acier, qui est devenue une structure dendritique contenant une proportion de ferrite plus dure de Hv élevé.

Eprouvette	Charge max [KN]	Résistance à la traction <i>Rm</i> [MPa]	Allongement A (%)
Métal de base		415	30
Soudée1	158761.20	606.87	
Soudée2	156948.50	598.69	
Moyenne soudée	158785.485	602.78	

Tableau IV.7 Résultats des essais traction

IV.6.5 Calcul du coefficient d'efficacité des joints soudés :

Ce coefficient est défini comme le rapport entre la résistance à la traction de l'assemblage soudé et la résistance à la traction du métal de base [54] :

$$\begin{aligned} \text{Coefficient de joint} &= \frac{R_m \text{ du métal de joint soudée}}{R_m \text{ du métal de base}} [\%] \\ &= 602.78 / 415 = 1.45 \end{aligned}$$

D'après la bibliographie, la soudure est de qualité acceptable pour un coefficient compris entre 0.6 et 1.0. Pour un joint un seul passe.

Le coefficient d'efficacité obtenu pour le matériau étudié est de l'ordre de **1.45**. Qui représente une qualité de soudure très satisfaisante. Pour ce matériau, l'assemblage de multi passe par soudage à l'arc électrique enrobé puis avec tungstène inerte gaz soudé par TIG permet de garder de bonnes caractéristiques mécaniques après soudage. Ce qui Permet d'éviter le surdimensionnement des pièces, de diminuer les épaisseurs des éléments Assemblés et d'alléger le poids de l'ensemble.

On peut déduire que les cordons sont de bonne qualité et répondent de manière satisfaisante aux exigences des normes en la matière.

IV.7 Essai de résilience

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.

Le test de résilience consiste à rompre d'un seul coup de mouton pendule une éprouvette entaille en son milieu et reposant sur deux appuis. On détermine l'énergie W absorbée exprimée en joule dont on déduit la résilience (énergie exprimée en joule par cm^2 nécessaire pour produire la rupture de l'éprouvette). [55]

IV.7.1 Principe de l'essai

L'essai de flexion par choc sur éprouvette entaillée a pour but de mesurer la résistance d'un Matériau à la rupture brutale. Il est fréquemment appelé essai de résilience Charpy ou même essai Charpy. 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.

L'énergie absorbée est obtenue en comparant la différence d'énergie potentielle entre le départ du pendule et la fin de l'essai. Les nouvelles machines sont munies d'un afficheur numérique Permettant de connaître la hauteur du pendule au départ ainsi que la position la plus haute que le pendule atteindra après la rupture de l'éprouvette. L'énergie obtenue (en négligeant les frottements)est égale à :

$$W = m \times g \times h - m \times g \times h' \Rightarrow W = m \times g \times (h - h')$$

W : l'énergie absorbée (joule).

M : masse du mouton-pendule [kg].

g : Accélération terrestre [m s^{-2}] (9.80665).

h : hauteur du mouton-pendule à sa position de départ [m].

h' : hauteur du mouton-pendule à sa position d'arrivée [m].

IV.7.2 Préparation des éprouvettes

Selon le type d'essai réalisé, les éprouvettes peuvent être disposées de différentes façons sur le bâti et possède ou non une entaille. Il existe plusieurs types d'éprouvette selon le type de matériau testé. Dans notre cas, l'éprouvette normalisée est représentée (figure IV. 11) ainsi la géométrie de l'éprouvette entaillée en V ..

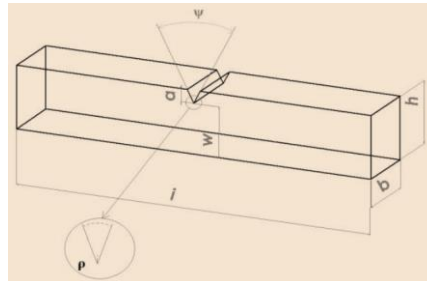


Figure IV.11 Eprouvette normalisée de l'essai de résilience :
 $H = 10\text{mm}$ $b = 10\text{ mm}$, $l = 55\text{ mm}$.

IV.7.3 IV.6.3 Exécution et résultats de l'essai de résilience

L'exécution de l'essai a été faite sur une machine de résilience Charpy. Notant qu'avant l'exécution de l'essai de résilience, il faut refroidir les éprouvettes jusqu'à $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ à l'aide d'un refroidisseur.

Ces essais sont effectués sur une machine Charpy dont la capacité maximale est de 300J. Nous avons effectuée 6 essais [$-29\text{ }^{\circ}\text{C}$] au laboratoire de l'essai mécanique, conformité à la norme de l'Organisation internationale de normalisation, ASTM 333 gr 6: grade de l'acier inoxydable utilisé pour le transport des hydrocarbures sous une pression de service de 300 bars, des exigences obligatoires pour équivalent carbone, la ténacité, la limite d'élasticité maximale et résistance à la traction maximale).

D'après l'analyse de tableaux ci-dessous la résilience de l'acier A333 gr 6 est plus élevée dans la ZAT qu'en ZF qui est d'autant plus élevé que dans le métal de base, comme on peut le voir sur le tableau IV .8 .La variation d'énergie de rupture, Energie absorbé par l'éprouvette, dans les trois zones est très importante, la valeur moyenne la plus importante est obtenue dans la zone ZAT, suivi de celle du métal de base puis de celle de la zone fondue.

éprouvette	Localisation	Déformations de l'éprouvette (mm)	Moyenne d'énergie absorbée (j)
	ZF	10*10	59.50
	ZAT	10*10	186.97

Tableau IV.8 Les résultats de l'essai de résilience pour chaque zone.

Conclusion Générale

Le procédé de soudage d'un cordon de soudure multi passe des pipelines avec deux procédé de soudage semi-automatique TIG et soudage manuelle à l'arc enrobée a été étudié dans ce travail de mémoire de mastère a permis d'obtenir des résultats prometteurs pour l'assemblage l'acier de nuance A333 Gr 6.

Les objectifs principaux de ce rapport étaient d'évaluer le comportement mécanique d'un joint soudure des pipelines en acier de nuance A333 Gr 6,

Nos principaux résultats sont :

- ✚ Réalisation de joint soudure des pipelines en acier A333 avec de configuration avec 7 passe.
- ✚ D'après l'analyse de la micro dureté le joint multi passe de soudage électrique :
 - la soudure par fusion à l'arc électrique se décompose en trois zones principales (ZF, ZAT, MB).
 - Les valeurs de la dureté variée entre 145-209 HV, La dureté maximale se trouve dans la ZAT. La dureté de joint soudure par fusion est presque toujours inférieure le métal de base mais dans le soudage par multi passe la dureté est supérieurs a le métal de base du le traitement thermique affecté par le multi passe de soudage
- ✚ Les résultats des essais mécaniques de traction et résilience répondent de manière satisfaisante aux exigences des normes les plus sévères en la matière. Ces essais ont permis de déterminer les résistance mécanique essentielles (602 MPa) et le coefficient d'efficacité des joints soudés (1.45 %).
- ✚ Les caractérisations mécaniques selon l'exigence des clients sont Les différents essais de comportement de l'acier A333Gr6 en traction, la dureté et la résilience et montrent que les propriétés mécaniques sont convenables pour l'utilisation dans le transport des hydrocarbures.

A l'issue de ce travail, on peut dégager de nombreuses perspectives de recherche.

1-Continuité de l'analyse de joint soudé par :

- ✚ Le micro scope électronique à bailliage.
- ✚ Mesure des contraintes résiduelles au niveau du joint soudé.
- ✚ Des essais de corrosion pour étudier sa résistance à la corrosion.

Références

- [1] R.Cazes; Procédés de soudage : principes généraux et critères de choix, Technique de l'ingénieur, B7700.
- [2] Symap; Guide soudage/chapitre_1(Les matériels de soudage et de coupage thermique les plus courants).
- [3]H.Granjon; Bases métallurgiques du soudage, Eyroles, Paris(1977).
- [4] H.P.Lieurade, Spécial mécano soudage, CETIM Informations N°118,Septembre1990.
- [5] F.Rossillon. "Influence des conditions de soudage sur le comportement en fatigue d'un acier THR dual phase soudé par point". Thèse de Doctorat, Université balaise pascal.2007
- [6] Document réalisé par le groupe Toxicologie d'Annecy Santé au Travail Actualisé en2009.
- [7] H.GRANJON. Bases métallurgiques de soudage, publications de soudage et des applications1995.
- [8] Fateh Aggoun ; Évaluation de l'endommagement des tubes dans leurs conditions d'exploitation; Thèse de Magister en Génie Mécanique option : Mécanique Appliquée en Engineering; 2010
- [9] Djdid Ibrahim; étude sur les défaillances des aciers API-5LX60 pour pipeline cas de la ligne GZ1; Mémoire de master en génie mécanique option maintenance industriel; Université Tlemcen; 2013.
- [10] Mechernene Abderrahim; Etude du comportement en fatigue des aciers pour pipeline ;Mémoire de master en Génie Mécanique Option Ingénierie des systèmes mécaniques productique; Université Tlemcen 2013.
- [11]Amina Bendjabour; Corrosion localiser des aciers API 5L-X52de la ligne ASR/MP sollicite en sol algérien ; thèse de magister en sciences des matériaux ; Université Tlemcen; 2011.

Références

- [12] Hadjoui Fethi «Etude du comportement en fatigue des aciers pour pipelines à différents grades; thèse de Doctorat en génie mécanique. Université Tlemcen. 2011
- [13] Bouziane Abdelkader ; contribution à la détermination des critères de qualité des tubes soudés soumis à une pression intérieure ; thèse de magister en génie mécanique ; université m'hamed bougara boumerdes; 2008.
- [14] Bellahcen Tassadit ; Etude de la nocivité des défauts dans les canalisations sous environnement hydrogène; Thèse de doctorat de génie mécanique; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou; 2008.
- [15] François ravaline ; développement d'acier pour gazoducs à haute limite d'élasticité et ténacité élevée : mécanique et mécanismes de la rupture ductile à grande vitesse; thèse de doctorat; l'école nationale supérieure de mines de paris en science et génie des matériaux; 1998
- [16] Introduction au transport du pétrole aux quatre coins du monde ;
<http://www.explorecuriocity.org/Portals/2/Themes/Energy/Moving%20Oil%20Around%20the%20World%20Primer-FR.pdf>; le 15/04/2021 à 14h :30min
- [17] Scott Rukke; Pipeline Repair Using Clock Spring, Composite Sleeve Reinforcement, Washington Utilities; Transportation Commission.
- [18] A. Benlekhal ; Rapport sur les procédures de réparation en charge de canalisation de transport d'hydrocarbures par demi-coquilles soudées ; SONATRACH-DRC ; Oran-Arzew; 15 Août 2010.
- [19] Dr.-Ing. Karl Heinz Brensing; steel tube and pipe manufacturing processes; düsseldorf.
- [20] API specification 51 forty-third edition, 49 CFR 192.113, MARCH 2004
- [21] HEBBAZ Mohammed Amine ; Défauts dans Les pipelines et leurs effets sur le Comportement en fatigue; Mémoire de Master option Maintenance Industrielle; Université Tlemcen; 2015.

Références

- [22] Lucinda Jeanette Smart; Review of materials property data for non destructive characterization of pipeline materials; Graduate These sand Dissertations; Iowa State University; 2015.
- [23] Duraid. Alkazraji; A Quick Guide to Pipeline Engineering; 2008.
- [24] Andrew C. Palmer and Roger A. King; Sub sea Pipeline Engineering 2nd Edition; 2008.
- [25] W. Kent Muhlbauer; Pipeline Risk Management Manual Ideas, Techniques, and Resources Third Edition; 2004.
- [26] Henry liu; pipeline engineering ; 2003.
- [27] Travaux de pose d'un gazoduc Séquences de réalisation; GRT gaz ; http://www.grtgaz.com/fileadmin/grands_projets/cyrenee/documents/fr/Travaux_de_pose.pdf. 16:00 h le 25/03/2021.
- [28] https://www.researchgate.net/figure/Metal-arc-welding-technologies-i-gas-metal-arc-welding-GMAW-ii-shielded-metal-arc_fig1_335338259; The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Le 11/03/2021 à 11:00h.
- [29] www.planete-energies.com. Le 11/03/2021 à 11 :30h.
- [30] www.earthtimes.org; . Le 11/03/2021 à 11 :30h.
- [31] www.sciencedirect.com; . Le 11/03/2021 à 12 :30h.
- [32] www.zssteeltube.com; . Le 11/03/2021 à 12 :30h.
- [33] www.rocdacier.com; . Le 10/03/2021 à 11 :30h.
- [34] fr.lksteelpipe.com; . Le 10/03/2021 à 12 :30h.
- [37] www.cours-et-exercices.com; . Le 09/03/2021 à 11 :30h.
- [39] AADS (facebook page) formation sur soudeur pipeline ; . Le 25/05/2021 à 11 :30h.
- [42] J.M. Tanzosh, chapitre A3: Matériaux de tuyauterie, dans le manuel de tuyauterie, New York, McGraw-Hill, (2000).

Références

[43] Norsok standard, Les fiches de données pour la tuyauterie, Ed 6, Industrie pétrolière norvégienne, Norvège (2013).

[44] American Society for Testing et matériaux (ASTM), ASTM A333: Spécification standard pour sans soudure et soudés de tuyaux en acier pour le service à basse température, American Society for Testing et matériaux (ASTM), Washington, (2013).

[45] : Howard B.Cary ; pipe welding guide.

[46] Résultats et interprétation de mesure de l'essai de dureté Vickers ; **These de Doctorat Helel Yazid.**

[47] G. R. STEWART, A. M. ELWAZRI, R. VARANO, N. POKUTYLOWICZ, S. YUE and J. J. JONAS, «Shear Punch Testing of Welded Pipeline Steel» Materials Science and Engineering A, Vol. 420, No. 1-2, 2006, pp. 115-121.

[48] S. LARS-ERIC, «Control of Microstructures and Properties in Steel Arc Welds» Library of Congress Cataloging-in-Published Data, British, 1994.

[49] R. Varisellaz, Soudage, 'Eléments de conception de réalisation ', Duodi, 1987.

[50] Granjon, H. (Mai 1992). "Propos métallurgiques sur le soudage : la zone de liaison". *Ouvrage Procédés, N°3.*

[51] Thomas Billotte. Caractérisation et modélisation des structures de solidification en soudage TIG d'alliages austénitiques. Matériaux. Université de Lorraine, 2017. Français; : [https://fr.made-in-china.com/co_hzdayang/product Mild-Steel-Welding-Electrodes-Aws-A5-1-E7018-1_ersssyyig.html](https://fr.made-in-china.com/co_hzdayang/product_Mild-Steel-Welding-Electrodes-Aws-A5-1-E7018-1_ersssyyig.html). le 05/06/2021 à 12:00h.

[52] A. GÜRAL, B. BOSTAN and A. T. ÖZDEMİR, «HeatTreatment in Two Phase Region and itsEffect on Welding of a LowCarbonsteel» Materials and Design, Vol.28, No. 3, 2007, pp. 897-903; <https://www.exa-soudage.fr/electrodes-enrobees/630-electrode-enrobe-basique-acier-e7018-1-exa-soudage.html>; 22/05/2021 à 10 :00h.

[53] Alfa Pipe Tuberie de Ghardaia, Département assurance qualité, Ordre d'exécute

Références

- [54] Zimmer, S. (2009), Contribution a l'industrialisation du soudage par Friction malaxage
École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Laboratoire de Conception Fabrication
Commande.
- [55] Bounoura et Yousfi .pdf ; le 15/05/2021 à 12 :00h.