

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

**Ténacité, K_{Ic} de L'acier API-5L X52 pour le
transport des hydrocarbures produit à AMPTA
Annaba : Etude comparative**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : MECANIQUE DES MATERIAUX

PRESENTE PAR : IKHLEF ABDELMALEK

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Pr. AMIRAT ABDELAZIZ

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : Mr. BOULANOUAR LAKHDAR

Pr

EXAMINATEURS : Mr. CHAOUI KAMEL

Pr

Mr. BELHAMZAOUI ABDELAZIZ

MAA

Année: 2015/2016

Résumé

Ce travail est une contribution à la détermination du facteur d'intensité des contraintes critique KIC et des principales caractéristiques mécaniques de l'acier API-5L X52 produit par la société Arcelor Mittal pipe et tube Algeria'' AMPTA'' et destiné à la fabrication de tubes aciers sans soudure pour la pose des pipelines pour le transport des hydrocarbures.

Dans un premier temps les différentes manipulations expérimentales pour déterminer les propriétés du matériau sont présentées tout en respectant les conditions de prélèvement des éprouvettes de traction et des éprouvettes de résilience et les conditions d'essais.

Dans un second plan, les résultats des essais de traction sur une série de 17 essais, montrent que toutes les courbes conventionnelles contrainte-déformations sont pratiquement identiques et conformes à l'acier de construction avec une partie linéaire jusqu'à la limite d'élasticité et puis avant le passage vers la région de plasticité une région de yielding apparaît. La courbe rationnelle a été déterminée sur la base de la moyenne des résultats de traction et confirme le comportement de l'acier X52 à la résistance à la traction. Une comparaison des résultats avec ceux de la littérature pour le même acier mais pour les tubes aciers obtenus par soudage en spirale a été réalisée. Elle a permis de révéler l'effet du soudage sur les caractéristiques mécaniques.

Enfin le comportement à la rupture fragile de l'acier X52 est exposé ainsi que les principaux modèles de corrélation KIC – Kv disponibles. Les résultats montrent une transition de la région fragile à la région ductile pour la gamme de température allant de -30° à 0° C et la ténacité se stabilise au-delà de 0°C. Les résultats donnent un facteur d'intensité des contraintes KIC de 98(MPa. \sqrt{m}) pour l'acier X52 à une température de -30°C. Les résultats sont conformes aux résultats de la littérature.

Mots Clés : tube, acier, sans soudure, gazoduc, contrainte élastique, ténacité,

Table des Matières

Dédicaces

Remerciements

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction Générale 1

Chapitre I : Etude bibliographique sur la production des pipelines en acier.... 3

I.1 Généralités sur les Pipelines 3

I.1.1 Historique du transport par canalisation 3

I.1.2. Composants des réseaux de transport par canalisation 5

I.1.3. Mise en place d'un système de transport par canalisation 6

I.1.4 Sécurité industrielle du transport par canalisation 7

I.1.5 Transport par oléoducs et gazoducs 7

I.1.5.1 Les oléoducs 7

I.1.5.2 Les gazoducs 8

I.2. Modes de production de tubes aciers pour pipeline 8

I.3 Micrographies de tubes aciers pour pipeline 9

I.4. Contrôle qualité du tube acier pour pipeline 10

I.4.1 Essai de traction 11

I.4.2 Essai de résilience 'Charpy' 14

I.5 Conclusion chapitre I 17

Chapitre II : Production des tubes sans soudure au niveau de « AMPTA » 18

II.1 Présentation de l'entreprise 18

II.1.1 Bref rappel historique du complexe sidérurgique 18

II.1.2 Bref rappel historique de l'atelier Tubes Sans Soudure 18

II.1.3 L'atelier Tubes Sans Soudure aujourd'hui « AMPTA » 19

II.1.3.1 FICHE TECHNIQUE 19

II.1.3.1.1 Principaux indicateurs	19
II.1.3.1.2 Moyens de production	19
II.1.3.1.3 Gammes de produits	19
II.1.3.1.4 Principaux clients	20
II.2. Séquence de fabrication	20
II.2.1 LAMINAGE LAT	21
II.2.1.1 Parc à lingots.....	21
II.2.1.2 Table d'alimentation	21
II.2.1.3 Four à sole	22
II.2.1.4 Presse à percer	22
II.2.1.5 Four à plateau	23
II.2.1.6 Laminoir oblique (L – O)	23
II.2.1.7 Laminoir à pas de pèlerin	24
II.2.1.8 Scie à chaud	24
II.2.1.9 Four à longerons	25
II.2.1.10 Calibreur	25
II.2.1.11 Dresseuse	26
II.2.1.12 Control et actions complémentaires.....	26
II.2.1.12.1 - Zone CND	26
II.2.1.12.2 Zone réparation.....	27
II.2.1.12.3 Deuxième visite	27
II.2.1.12.4- BEH.....	27
II.2.1.12.5- RESTELLINI	27
II.2.1.12.6- BARDONS.....	27
II.2.1.12.7- Recette	27
II.2.2 PARACHEVEMENT PAT	27
II.2.2.1 Les tubes reçus du laminage au parachèvement sont.....	28
II.2.2.2 Description du parachèvement.....	28
II.3 Equipements, désignations, explications, actions.....	28
II.3.1- Grille d'enfournement	28

II.3.2- Four de trempe.....	29
II.3.3- Four de revenue	30
II.3.4- Calibreur	30
II.3.5- Dresseuse	30
II.3.6 - Zone billage	31
II.3.7 - Bardons (tronçonneuses)	31
II.3.8 - Rôle du processus « manchons »	32
II.3.8.1 Définitions	32
II.3.8.1.1 Manchon	32
II.3.8.1.2 Nipple	33
II.3.8.1.3 Bague	33
II.3.9- Banc d'épreuve hydraulique B.E.H.....	33
II.3.10- Zone de conditionnement	33
II.3.11 – Bascule.....	33
II.3.12 – Zone MPI.....	34
II.4 Laboratoire des essais mécaniques a l'AMPTA.....	34
II.3.1 Types d'essais réaliser dans le laboratoire d'AMPTA	34
II.4 Conclusion chapitre II.....	35
Chapitre III : Etude expérimentale : Propriétés mécaniques et KIC	36
III.1 Matériau	36
III.2 Protocole d'essais mécaniques	37
III.2.1 Détermination des propriétés mécaniques.....	37
III.2.1.1 Géométrie de l'éprouvette de traction	37
III.2.1.2 Prélèvement des éprouvettes de traction	38
III.2.1.3 Essai de traction	39
III.2.2 Détermination de la ténacité du matériau.....	39
III.2.2.1 Géométrie de l'éprouvette de résilience.....	39
III.2.2.2 prélèvements des éprouvettes de résilience	40
III.2.2.3 Essais de résilience.....	41

III.3 Conclusion chapitre III.....	41
Chapitre IV : Analyse des résultats et discussion.....	42
IV.1. Propriétés mécaniques du X52.....	42
IV.1.1 Les courbes de tractions	42
IV.1.2 Analyse statistique des résultats d'essais de traction	43
IV.1.3 Analyse comparative avec des aciers pour les tubes pour pipeline.....	44
IV.1.3.1 Cas des courbes conventionnelles.....	44
IV.1.3.2 Cas des courbes rationnelles	45
IV.1.3.2 Effet du soudage sur la résistance du tube	47
IV.1.3.2.1 Métal de base-Métal de base	48
IV.1.3.2.1 Métal de base-ZAT	49
IV.2 Comportement à la rupture fragile de l'acier X52	49
IV.2.1 Détermination de l'énergie de rupture KV.....	49
IV.2.2 Ténacité JIC et facteur d'intensité de contrainte critique KIC.....	51
IV.2.2.1 Critère énergétique pour déterminer la ténacité à partir d'essai Charpy	51
IV.2.2.2 Modèles de calcul de la résilience.....	52
IV.3 Analyse de la corrélation KIC et JIC pour l'acier X52	53
IV.4 Effet du soudage sur la résilience du tube	54
IV.4.2 Métal de base-ZAT	55
IV.4.1 Métal de base-Métal de base	55
IV.5 Conclusion Chapitre IV.....	56
Conclusion Générale	57
Références bibliographique.....	58
Annexe A.....	60

A mes parents
A ma famille
A mes Amis

Remerciements

Je remercie mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi et toute ma famille pour m'avoir toujours soutenue.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon Directeur de mémoire le Professeur AMIRAT Abdelaziz Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je remercie aussi tous mes enseignants du département de Génie-Mécanique avec qui j'ai appris tant de choses.

J'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je remercie tous mes Amis qui m'ont encouragé.

Liste des Figures

Liste des figures

Chapitre I : Etude bibliographique sur la production des pipelines en acier	3
Figure I.1 : Pipeline pour le transport de pétrole	5
Figure I.2 : Composants d'un réseau de transport par canalisation	5
Figure I.3 : Gazoducs de gaz naturel russe vers l'Union européenne en 2009	6
Figure I.4 Micrographie de l'acier d'un tube	10
Figure I.5 : a) Machine de traction Type Zwick Roell 300 KN. b) Eprouvette prélevées d'un tube acier.....	11
Figure I.6 : Caractéristiques d'un diagramme contrainte – déformation d'un acier pour tube.....	11
Figure I.7 Courbe contrainte-déformation. Deux matériaux avec rigidité et ductilité différentes.....	13
Figure I.8 Courbe contrainte-déformation. Ténacité = surface sous la courbe	14
Figure I.9 : principe du mouton pendule de Charpy et chambre thermique	15
Chapitre II : Production des tubes sans soudure au niveau de « AMPTA »	18
Figure II. Schéma qui résume les étapes de fabrication.....	20
Figure II.1 parc à lingots	21
Figure II.1.1 table d'alimentation	21
Figure II.1.2 four à sole.....	22
Figure II.1.3 presse à percer	22
Figure II.1.4 laminoir oblique	23
Figure II.1.4.1 pré enfilement.....	23
Figure II.1.5 laminoir à pas de pèlerin	24

Figure II.1.6 scie à chaud	25
Figure II.1.7 Four à longerons.....	25
Figure II.1.8 calibreur.....	26
Figure II.1.9 dresseuse	26
Figure II.1.10 Réparation des tubes affectés de défauts réparables (intérieur et extérieur)	27
Figure II.2 grille d'enfournement.....	29
Figure II.2.1 four de trempe	29
Figure II.2.2 four de revenue.....	30
Figure II.2.3 calibreur	30
Figure II.2.4 dresseuse	31
Figure II.2.5 contrôle du diamètre extérieur du tube.....	31
Figure II.2.6 bague ,nipple et manchon.....	32
Figure II.2.7 manchon	32
Figure II.2.8 Banc d'épreuve hydraulique	33
Figure II.4 laboratoire des essais mécaniques d'AMPTA.....	34
Chapitre III : Etude expérimentale : Propriétés mécaniques et KIC	36
Figure III.1 Epreuve de traction selon la norme API 5L	37
Figure III.2 Méthode de prélèvement des éprouvettes de traction.....	38
Figure III.4 Position des éprouvettes de résilience dans une virole d'un tube	39
Figure III.3 Epreuve de résilience avec une entaille en V	40
Chapitre IV : Analyse des résultats et discussion.....	41
Figure IV.1 : Série de Courbes de la contrainte en fonction de la déformation pour l'acier X52 API	42
Figure IV.2 : Courbe conventionnelle de la contrainte en fonction de la déformation pour l'acier X52 API 5L.....	42
Figure IV.3 Histogramme de l'évolution de la limite élastique et de la contrainte maximale en fonction de la section de l'éprouvette.....	43
Figure IV.4 : Comparaison des courbes de tractions des aciers X52, N80 et P110	44

Figure IV.5 : Courbes contrainte-déformations conventionnelle et réelle	45
Figure IV.6 Courbe "contrainte-déformation" conventionnelle et rationnelle de l'acier "API-X52".....	46
Figure IV.7 : Comparaison des courbes rationnelles des aciers API 5L-X52, API 5CT-N80, et API 5CT-P110.....	47
Figure IV.8 Courbe de transition de Kv pour l'acier X52	50
Figure IV.9 Courbe représentant KIC en fonction de la température T_c	54
Figure IV.10 évolution de Kv en fonction de T_c	56

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Chapitre I : Etude bibliographique sur la production des pipelines en acier	3
Tableau I.1 caractéristiques et dimensions du mouton pendule.....	16
Chapitre III : Etude expérimentale : Propriétés mécaniques et KIC	36
Tableau III.1 Propriétés mécaniques de l'acier API 5L Grade B, X52.....	36
Tableau III.2 La composition chimique pour l'acier API 5L grade B, X52	36
Tableau III.3 dimensions des éprouvettes de résilience suivant l'épaisseur et l'entaille « V ou U »	40
Chapitre IV : Analyse des résultats et discussion.....	42
Tableau IV.1 : Propriétés mécaniques de l'acier X52	43
Tableau IV.2 : Valeurs moyennes et écart type des propriétés mécaniques pour le X52 API 5L	43
Tableau IV.3 : Comparaison entre les propriétés mécaniques sur un tube sans soudure et un tube soudé.....	48
Tableau IV.4 : Energie de rupture de l'acier X52 en fonction de la température	50
Tableau IV.5 : Quelques modèles de corrélation KIC – Kv.....	52
Tableau IV.6 : résultats obtenues dans différentes température.....	53
Tableau IV.7 : Comparaison entre les résultats d'essai Charpy d'un tube sans soudure et un tube soudé.....	55

Introduction Générale

Introduction Générale

Le transport du pétrole et du gaz par canalisation reste le moyen le plus économique et le plus sûr pour les sociétés de transport d'hydrocarbures. Les fortes demandes énergétiques mondiales nécessitent d'élever le débit des réseaux de distribution en augmentant soit la pression de service, soit les diamètres des canalisations ou bien les deux. Ainsi, l'installation de nouveaux réseaux nécessite une augmentation de la résistance des conduites dont les caractéristiques mécaniques et chimiques doivent être améliorées. Par contre pour les réseaux existants, il n'existe pas d'opportunités de les remplacer mais plutôt de les fiabiliser en fonction de leur état de santé après plusieurs années de service. Différentes nuances d'aciers ont été utilisées pour fabriquer les tubes pour la pose des pipelines. Des réseaux de transports des hydrocarbures sont composés d'une dizaine de nuances différentes (Grade A, Grade B, X42, X46, X52, X56, X60, ..., X120), tout en sachant que le Grade BX52 et le X60 représentent environ 70% de la diversité de ces réseaux. [1]

De même différentes techniques de fabrication de tubes ont été employées. La multiplicité des diamètres et des épaisseurs de tubes et le développement, avec le temps, de leurs techniques de fabrication, constituent les raisons de la diversité des réseaux de distribution des hydrocarbures. On y trouve des tubes non soudés, des tubes soudés en spirale, des tubes soudés longitudinalement.

Le présent travail s'inscrit dans ce cadre et propose une analyse des caractéristiques mécaniques et de la ténacité d'un acier pour tube acier destiné pour la fabrication de gazoduc. Il vient en complément d'un stage de fin d'études, réalisé au niveau de l'unité de production des tubes aciers sans soudures d'Arcelor Mittal Pipe et Tube Algeria « AMPTA » sise à Annaba.

Il faut savoir que la fabrication des tubes sans soudure est obtenue par laminage. Le laminage modifie la structure cristalline primaire du lingot, affine le grain, homogénéise la composition et améliore les caractéristiques, surtout dans le sens longitudinal, en raison de l'orientation donnée aux structures cristallines. Dans le laminage à chaud, la température du matériau est choisie de façon à obtenir les caractéristiques plastiques optimales. Les tubes laminés sans soudure sont obtenus par laminage à chaud et sont utilisés pour les faibles diamètres jusqu'à un maximum de 16" à 24" (406.4mm à 609.6mm), selon les pays.[2]

L'étude s'est orientée d'abord sur la détermination des caractéristiques mécaniques ainsi que la ténacité KIC de l'acier API-5L X52, en cours de production et puis sur une analyse des résultats et de les exploiter et les rapprocher de ceux obtenus sur d'autres nuances d'aciers produites par AMPTA et ceux de la littérature.

Le présent mémoire est divisé en 4 chapitres.

Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur les tubes en acier pour la fabrication de pipelines. Les conditions d'utilisation y sont présentées et les éventuelles défaillances qui

peuvent affecter la durée de vie du pipeline y sont exposées. Lors du processus de fabrication des tubes, le contrôle qualité est orienté vers le contrôle non destructif, le contrôle visuel et dimensionnel et le contrôle destructif, L'objectif étant principalement de mettre en évidence le contrôle destructif sur la fiabilité et la durée de vie des pipelines.

Le deuxième chapitre présente la société sidérurgique Arcelor Mittal Pipe et Tube Algeria « AMPTA » et son procédé de fabrication sans soudure. Les étapes du procédé de fabrication du tube sans soudure sont exposées dans l'ordre ainsi que toutes les opérations de contrôle qualité du produit. Enfin, il présente le laboratoire d'essais mécaniques et les essais qui y sont réalisés ainsi que son rôle dans le bon déroulement du processus de production. Le but étant de mettre en évidence les conditions dans lesquelles les tubes sans soudure sont produits pour mieux cerner les éventuelles anomalies et y remédier

Le troisième chapitre présente les différentes manipulations expérimentales pour déterminer les propriétés du matériau X52. Il explique les modes de prélèvement des éprouvettes de traction et des éprouvettes de résilience et donne les conditions d'essais et le plan d'expérience. L'analyse de résultats est réalisée dans le prochain chapitre.

Le quatrième chapitre présente les résultats des essais et les différents comportements observés ; les propriétés mécaniques y sont exposées en premier lieu grâce à des essais de tractions. Le comportement à la rupture fragile de l'acier X52 y est exposé ainsi que les principaux modèles de corrélation KIC – Kv disponibles dans la littérature y sont présentés de même que les résultats obtenus à différentes températures ; le but étant d'analyser les résultats obtenus lors des essais mécaniques et de déterminer la ténacité de l'acier API-5L X52.

Enfin, une conclusion générale récapitule les résultats de l'étude.

Le mémoire est clôturé par des références bibliographiques.

Chapitre I

Etude bibliographique sur la production des pipelines en acier

Chapitre I : Etude bibliographique sur la production des pipelines en acier

I.1 Généralités sur les Pipelines

Un pipeline est un mode de transport des matières fluides réalisé au moyen de conduites constituant généralement un réseau.

Les pipelines sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, ces pipelines s'avèrent coûteux et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés, en zone de risque sismique ou instable. De leur part leur investissement initial, leur utilisation est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur de petites et moyennes distances. [3]

Les principaux systèmes de transport par canalisation concernent :

- le gaz naturel, transporté par gazoduc ;
- les hydrocarbures liquides, dont surtout le pétrole, transportés par oléoduc

I.1.1 Historique du transport par canalisation

Au XIX^e siècle, la civilisation industrielle a vu se développer des installations complexes (haut fourneaux, usines à gaz, centrales de vapeur, etc.) qui comprenaient des systèmes de transport locaux par canalisations en fonte, bois, acier, céramique, d'ampleur modeste.

Le premier concept industriel de transport par canalisation aurait été formulé par le Russe Dimitri Mendeleïev en 1863. Il suggéra une solution technique utilisant des tubes pour transporter du pétrole.

Un autre Russe, Vladimir Choukhov, avec la société Branobel (acronyme de Brothers Nobel) passent pour avoir construit l'un des premiers oléoducs à la fin du XIX^e siècle, en 1878-1880 près de Bakou.

Peu de temps auparavant, un oléoduc reliant un champ de production de Pennsylvanie à une gare de chemin de fer à Oil Creek aurait été construit vers 1860 par la Oil Transport Association. [3]

À l'heure actuelle, le réseau mondial en service atteint plus de 1 million de kilomètres de conduites, dont près des trois quarts sont utilisées au transport du pétrole brut et le reste au transport des produits finis. Les plus importants pipelines se trouvent, pour le transport du

pétrole brut, en ex-U.R.S.S. où le plus long avoisine 5 000 kilomètres pour un diamètre de 48 pouces (environ 122 cm). En ce qui concerne les produits finis, le plus long est installé aux États-Unis (Baton Rouge - Grennsboro) et mesure 6 350 kilomètres. Les débits les plus importants se trouvent au Moyen-Orient, tel le Sumed (Suez-Méditerranée), qui peut atteindre 120 Mt/an.

Les grands réseaux de pipelines sont destinés à couvrir plusieurs types de besoins :

- dans les pays à la fois grands producteurs et grands consommateurs, la fonction essentielle du pipeline est de relier les gisements de pétrole aux raffineries (cas des États-Unis et de l'ex-U.R.S.S.) ;
- dans les pays grands producteurs et exportateurs, le rôle des conduites est principalement de transporter le pétrole brut depuis les gisements jusqu'à des terminaux de chargement pour navires pétroliers ; c'est le cas, notamment, de l'Afrique du Nord, de l'Alaska et du Moyen-Orient, où certains pipelines aboutissent à des ports situés dans des pays étrangers aux pays producteurs d'origine. Diverses considérations stratégiques peuvent également intervenir dans le choix des tracés. C'est ainsi qu'en 2003 un pipeline reliant Doba au Tchad au terminal de Kribi au Cameroun a été mis en service pour acheminer le pétrole tchadien jusqu'à l'Atlantique. Depuis 2005, un pipeline de 1 768 kilomètres relie Bakou, situé en Azerbaïdjan sur la mer Caspienne, à Ceyhan en Turquie sur la Méditerranée, via Tbilissi en Géorgie (pipeline BTC). [4]



Figure I.1 : Pipeline pour le transport de pétrole [5]

I.1.2. Composants des réseaux de transport par canalisation



Figure I.2 : Composants d'un réseau de transport par canalisation [6]

Les réseaux de transport par canalisation sont composés de tronçons de conduites et d'ouvrages connexes remplissant des fonctions précises :

les stations d'injection ou de départ constituent les points d'entrée du réseau de transport. Suivant leur configuration et leur position géographique ce peuvent être des stations d'atterrage, des terminaux, des stations d'entrée ;

les stations de compression (pour les gaz) ou stations de pompage (pour les liquides) sont réparties régulièrement le long des réseaux de transport pour maintenir la pression et la vitesse du fluide dans les canalisations ;

les postes de livraison permettent de mettre la matière transportée à disposition des destinataires intermédiaires ou finaux ;

les postes de sectionnement permettent d'isoler un tronçon de canalisation afin d'assurer sa maintenance ou de limiter les conséquences néfastes en cas de fuite. Ces postes sont parfois équipés de coupure pour introduire et recevoir des pistons racleurs (pig(s) en anglais), destinés à contrôler les différents paramètres d'intégrité de la canalisation : géométrie, propreté, perte de métal, fissuration, etc. ;

La distance entre deux postes de sectionnement consécutifs dépend de la réglementation applicable, selon le fluide transporté et le pays concerné. La distance entre deux postes de coupure (ou de demi-coupure) consécutifs varie d'une dizaine de kilomètres pour de courtes antennes ou points spéciaux, à quelques centaines de kilomètres pour de grandes canalisations de transit [6].

I.1.3. Mise en place d'un système de transport par canalisation

Un système de transport par canalisation nécessite, Figure I.3 :

la construction initiale ou progressive d'un outil industriel constitué par un ensemble de canalisations et d'ouvrages annexes

la mise en place d'un mécanisme de gestion de cet actif industriel, basé sur des jeux de contrats entre fournisseurs de produit, opérateurs de transport et de distribution, consommateurs. [3]



Figure I.3 : Gazoducs de gaz naturel russe vers l'Union européenne en 2009 [7]

I.1.4 Sécurité industrielle du transport par canalisation

Le transport par canalisation mobilise des fluides et des énergies qui représentent, comme toute activité industrielle, un danger. Le risque industriel lié à ce danger est estimé et traité, dans le cadre des réglementations locales et internationales en vigueur, pour être ramené à un niveau résiduel acceptable par la société, représentée par les organismes de contrôle et diverses associations.

Ainsi, au-delà des opérations classiques d'entretien faisant partie de l'exploitation de l'ouvrage, un diagnostic poussé des ouvrages de transport est réalisé périodiquement, en fonction des réglementations nationales et des pratiques locales. En particulier, l'intégrité physique des canalisations est contrôlée par des mesures électriques de surface et par des auscultations électromagnétiques réalisées à partir de pistons instrumentés.

Quel que soit le niveau de sécurité visé et les moyens mis en œuvre pour l'obtenir, l'accident reste toujours possible. Tous les scénarios d'accident se ramènent à une perte de confinement du produit transporté et à une interaction néfaste du produit libéré avec l'environnement inerte ou vivant. Des plans d'urgence sont établis, en relation avec les pouvoirs publics. [3]

I.1.5 Transport par oléoducs et gazoducs

Le transport par canalisation est généralement le moyen le plus économique de transporter du pétrole ou du gaz naturel sur de grandes distances terrestres.

Pour traverser de grandes distances maritimes, bien que des techniques sous-marines existent, le transport maritime par pétrolier ou méthanier est plus économique.

Le transport par canalisation de ces hydrocarbures utilise majoritairement des tubes en acier, soudés bout à bout et revêtus par enrobage pour mieux résister à la corrosion et aux agressions chimiques ou mécaniques.

Le fluide transporté dans les canalisations se déplace généralement sous pression, à des vitesses variant de 1 à 6 m/s. La pression et la vitesse de circulation (ou le débit) sont créés par des pompes (pour les liquides) ou des compresseurs (pour les gaz).

Les oléoducs transportent souvent plusieurs natures de liquides, en séquences appelés « trains ». A l'interface entre deux trains, un mélange partiel de produits se crée. Le bouchon (ou zone) de mélange est éliminé à l'arrivée dans la station de réception.

Les systèmes de gazoducs, au contraire, transportent le plus souvent des fluides gazeux dont la composition reste stable dans le temps. [4]

I.1.5.1 Les oléoducs :

L'oléoduc (du latin *olium*, huile, et *ducere*, conduire) est une canalisation de grandes dimensions destinée au transport du pétrole brut ou raffiné. Elle peut amener le pétrole du forage à la raffinerie, depuis une zone de forage jusqu'à des régions éloignées.

On dit généralement pipeline (mot anglais qui, d'ailleurs, désigne plus généralement une canalisation). [4]

I.1.5.2 Les gazoducs :

La majorité des gazoducs achemine du gaz entre les zones d'extractions et les zones de consommation ou d'exportation. On estime la longueur totale des gazoducs dans le monde à un million de kilomètres, soit plus de 25 fois la circonférence terrestre. Les gazoducs sont en majorité terrestre, soit enfouis à environ un mètre de profondeur dans les zones habitées, soit posés à même le sol en zone désertique, ou en zone à sol dur. Leur diamètre varie entre 50mm (2 pouces) et 1400mm (56 pouces) pour les plus importants. Toutefois, le tarissement des sources de proximité et l'éloignement croissant des zones d'exploitation ont conduit à l'établissement de gazoducs sous-marins. Selon leur nature d'usage, les gazoducs peuvent être classés en trois familles principales. [4]

Gazoduc de collecte :

Ramenant le gaz sorti des gisements ou des stockages souterrains vers les sites de traitement.

Gazoducs de transport ou de transit :

Acheminement sous haute pression le gaz traité (déshydraté, désulfuré ...) aux portes des zones urbaines ou des sites industrielles de consommation.

Gazoducs de distribution :

Répartissant le gaz à basse pression au plus près des consommateurs domestique ou des petites industries.

I.2. Modes de production de tubes aciers pour pipeline

La multiplicité des diamètres et des épaisseurs des tubes et le développement avec le temps de leurs techniques de fabrication, constituent les raisons de la diversité du réseau de transport gazier algérien. On retrouve :

Les tubes soudés sous la forme spirale

Les tubes soudés sous forme longitudinale

Les tubes formés sans soudure

La sélection de tuyaux soudés, soudés et extrudés ou sans soudure est un processus complexe. Les soudures longitudinales peuvent être sujettes à des défauts, ce qui est totalement inacceptable dans des applications d'importance critique. Pour obtenir un tuyau soudé, une bande est laminée et ses deux côtés sont réunis par une soudure longitudinale. La surface de soudure a des dimensions irrégulières par rapport à la bande, produisant ainsi des zones de concentration de stress, en particulier en ce qui concerne les tuyaux soumis à haute pression interne. De plus, les fissures ou les zones de concentration de stress existant des deux côtés de la soudure sont sujettes à la corrosion à cause des résidus qui sont piégés. Ces fissures peuvent engendrer des fractures pouvant se propager et causer la rupture du tuyau soudé. Les techniques de fabrication de tuyaux soudés sont nombreuses avec pour résultat de grandes variations dans le produit final. Les fabricants ont l'option d'utiliser la soudure au tungstène, au laser ou à haute fréquence. Certains fabricants utilisent ensuite des processus variés pour essayer de minimiser les variations de dimensions et d'intégrer la soudure : le tuyau brut de soudure peut-être alors soumis au laminage, à un batteur de pneu, il peut être forcé à travers une matrice ou extrudé sur un mandrin ou bouchon. Ces produits sont connus sous de nombreuses appellations - soudés et extrudés, sans soudure et à soudure intégrée. La ré-extrusion de tuyaux bruts de soudure avec une matrice et un bouchon et le traitement thermique subséquent aident à homogénéiser la soudure. Pour homogénéiser complètement la soudure, ces opérations doivent être répétées plusieurs fois, ce qui augmente les frais généraux. [8]. Compte tenu que ce travail est centré sur les tubes sans soudures, nous ne présenterons que le mode de fabrication de tubes sans soudure qui sera présenté dans le chapitre II.

I.3 : Micrographies de tubes aciers pour pipeline

L'objectif de cette rubrique est de montrer du point de vue micrographie la structure des tubes obtenus sans soudure, tube avec soudure en spirale et tube forcé soudé. En effet, l'observation micrographique révèle des structures complètement différentes. Sur le tube sans soudure, la microstructure est homogène et ne présente de discontinuité Figure I.4.a Le tube soudé et forcé présente deux régions bien distinctes, région du métal de base et région de cordon de soudure. De plus, la déformation du cordon de soudure et du métal de base due à la force de d'assemblage montre bien qu'il y a pratiquement emboîtement des deux matériaux, le métal de base et le métal d'apport, Figure I.4.b. Sur le tube soudé en spirale, les deux bouts du métal de base sont assemblés par le métal d'apport qui forme un cordon de soudure, Figure I.4.c et qui doit répondre aux normes de soudure. [8]

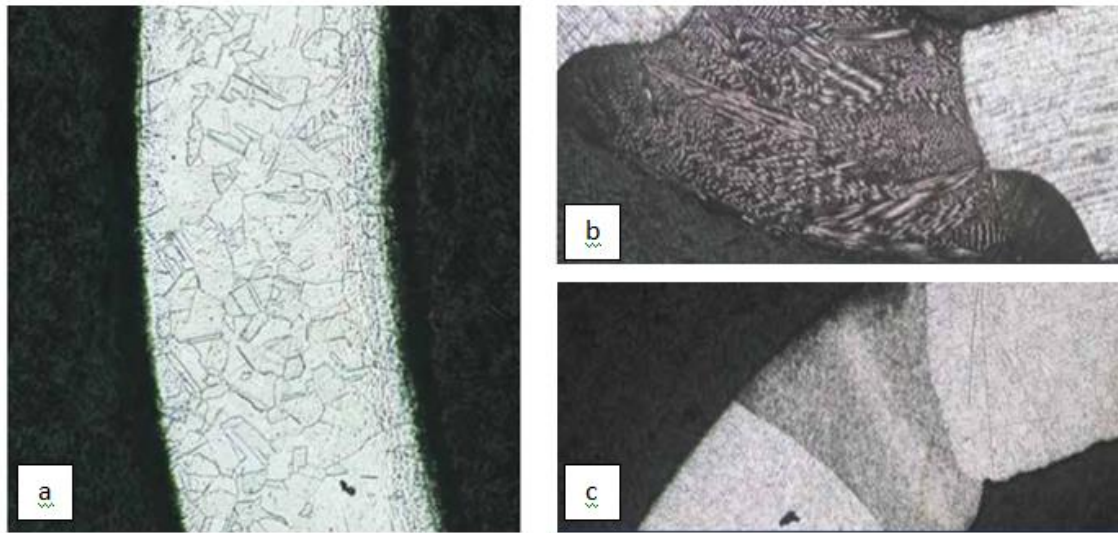


Figure I.4 Micrographie de l'acier d'un tube

obtenu par laminage à chaud sans soudure, b) forcé e soudé, c) soudé en spirale [8]

I.4. Contrôle qualité du tube acier pour pipeline

Au cours de sa fabrication le tube subit plusieurs contrôles qui se résument en contrôle non destructif (CND), contrôle visuel et dimensionnel et contrôle destructif.

Le CND est utilisé par passage sous tuboscope rayons x, et ultrason, pour lever tout doute sur les défauts de fabrication telles que les fissures internes, les soufflures, les cavités et autres défauts non apparents.

Le contrôle visuel et dimensionnel permet de vérifier les aspects visuels : rectitude, longueur, diamètre épaisseur, chanfrein etc...

Le contrôle destructif est destiné pour contrôler les propriétés du matériau et le comportement à la rupture fragile du matériau. Dans ce chapitre, nous présentons les différents essais destructifs pour contrôler les propriétés physiques et mécaniques du matériau destiné pour la fabrication de tube acier pour pipeline. Les principaux essais destructifs sont l'essai de traction et l'essai de résilience.

I.4.1 Essai de traction

L'essai le plus fréquemment utilisé afin de déterminer le comportement mécanique d'un matériau est l'essai de traction. Cet essai est caractérisé par sa facilité de mise en œuvre et par la richesse des informations fournies. On exerce une force de traction sur un barreau de dimension

standardisée, jusqu'à sa rupture, en suivant un processus de mise en charge à une vitesse de déformation constante. 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. La Figure I.5 illustre des éprouvettes prélevées d'un tube acier destinées pour être testées sur une machine de traction. [9]



Figure I.5 : a) Machine de traction Type Zwick Roell 300 KN. b) Eprouvette prélevées d'un tube acier
En enregistrant la force appliquée à l'éprouvette par la machine de traction et son allongement progressif on obtient un diagramme contrainte-déformation Figure I.6.

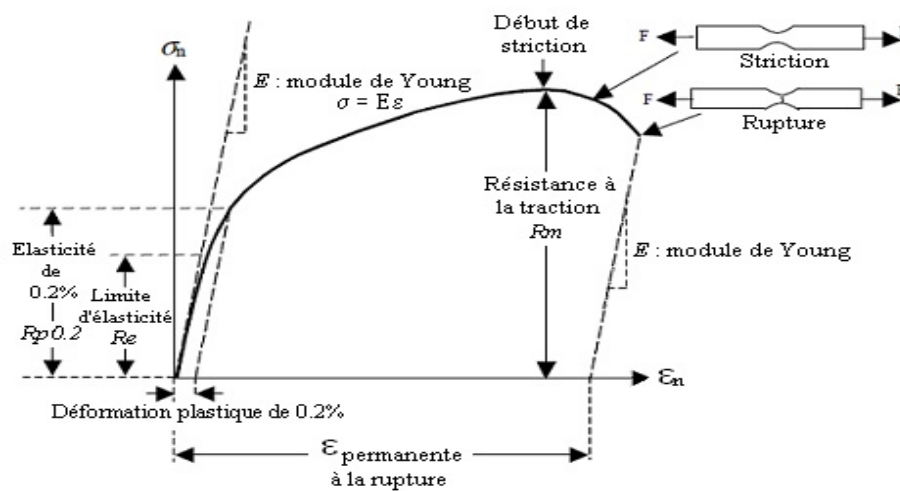


Figure I.6 : Caractéristiques d'un diagramme contrainte-déformation d'un acier pour tube [9]

L'application d'une force provoque initialement une déformation élastique de l'éprouvette. Cela se traduit sur le diagramme par une droite car la déformation est proportionnelle, pour un métal, à la contrainte (loi de HOOKE)

Cette déformation élastique est réversible. Si la contrainte est annulée, l'éprouvette revient instantanément à sa forme initiale. Cette déformation élastique est suivie d'une déformation irréversible (permanente) appelée déformation plastique, qui se traduit sur le diagramme par une courbe qui se termine au moment de la rupture de l'éprouvette.

Différents paramètres sont remarquables :

- Le module d'élasticité E (ou module de YOUNG) donné par la pente du domaine élastique du diagramme contrainte-déformation.

Si l'on raisonne, par simplification, sur un corps parallélépipédique supposé à une seule dimension dans un essai de traction dans un seul axe (uniaxiale, selon l'axe des x), l'éprouvette subit un allongement (figure I.6). Pour les petites déformations, il existe une relation linéaire entre la contrainte et la déformation :

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x = E \Delta L / L_0 = E (L - L_0) / L_0$$

E est le module d'élasticité ou module de YOUNG

En réalité, l'éprouvette se déforme dans les 3 directions.

Dans le sens O_x il y a un allongement, dans les sens O_y et O_z il y a raccourcissement. Dans ce cas de traction simple, si les contraintes σ_y et σ_z sont nulles, les déformations ε_y et ε_z ne le sont pas. Les 3 déformations sont reliées par le coefficient de POISSON.

$$\varepsilon_x = -\varepsilon_y / \mu = -\varepsilon_z / \mu \quad \mu \text{ est le coefficient de POISSON}$$

- La limite d'élasticité R_e correspond à la contrainte à partir de laquelle le matériau commence à se déformer plastiquement. En pratique, bien que la définition soit simple, cette limite est difficile à apprécier car le passage du domaine élastique au domaine plastique se fait de façon progressive. La difficulté de lecture donnerait des interprétations erronées de cette limite d'un laboratoire à l'autre. Pour s'en affranchir, on a déterminé une limite conventionnelle d'élasticité à 0,2% ($R_{e0,2\%}$). C'est la contrainte pour laquelle on mesure une déformation plastique de 0,2%.

- La résistance à la traction R_m se définit comme la contrainte maximale atteinte durant l'essai de traction.

- L'allongement à la rupture ϵ_r que l'on peut lire sur le diagramme ou sur l'éprouvette rompue.

On peut également définir certaines caractéristiques déterminées par l'essai de traction :

- la rigidité est fonction de l'énergie des liaisons entre les atomes ou les molécules constituant le matériau. On mesure la rigidité principalement par le module d'YOUNG. Plus ce module est élevé, plus le matériau est rigide.

- la résistance caractérise la contrainte maximale qu'un matériau supporte avant de se rompre. Cette résistance est fonction de l'intensité des liaisons mais également de la forme des pièces ou de ses défauts.

- la ductilité correspond à la capacité d'un matériau à se déformer de façon permanente avant de se rompre. Plus l'allongement à la rupture est élevé, plus le matériau est considéré comme ductile. A l'opposé, lorsque la déformation permanente est très réduite ou nulle, on parle d'un matériau fragile. Un matériau fragile peut présenter une résistance très élevée (figure I.7).

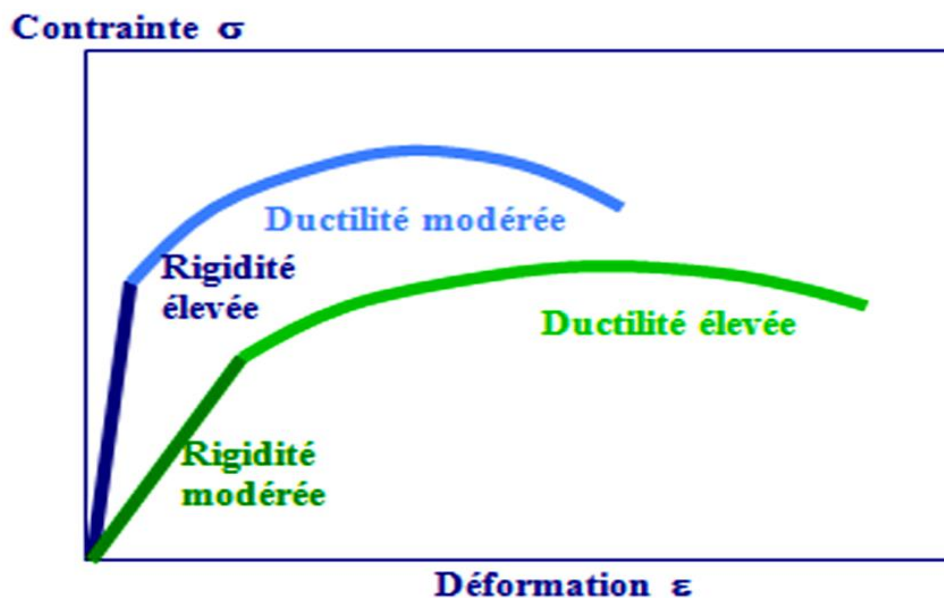


Figure I.7 Courbe contrainte-déformation. Deux matériaux avec rigidité et ductilité différentes [10]

- la ténacité qui représente la quantité d'énergie absorbée à la rupture par un matériau. Elle caractérise la résistance à la propagation brutale de fissures. Sa valeur est égale à l'aire de la surface sous la courbe contrainte-déformation, Figure 1.8. Cette caractéristique est importante pour les céramiques. [10]

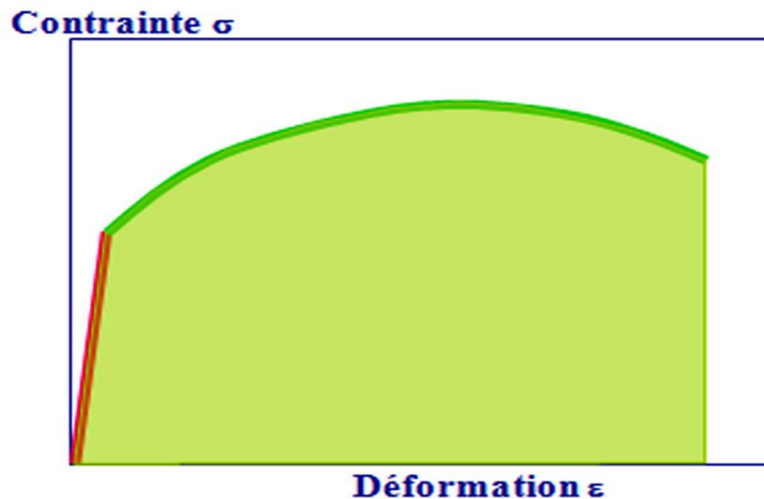


Figure I.8 Courbe contrainte-déformation. Ténacité = surface sous la courbe [10]

I.4.2 Essai de résilience 'Charpy'

L'essai de résilience sert à caractériser la fragilité des matériaux. Il permet de déterminer le Facteur d'Intensité de Contraintes Critique. La grandeur mesurée dans ces essais est la résilience KCV, correspondant à une énergie absorbée par unité de surface. La résilience KCV est définie comme étant le travail de rupture par unité de surface. Elle est exprimée par la valeur critique de la ténacité J_{Ic} du paramètre énergétique J .

La détermination de la résilience se fait le plus souvent selon des corrélations empiriques spécifiques à chaque type de problème. L'emploi de ces corrélations s'avère donc peu recommandé dans le domaine industriel, compte tenu de la variété des paramètres qui le caractérise. Il s'agit donc d'établir la relation résilience- ténacité à l'échelle industrielle en utilisant une corrélation mathématique entre les deux grandeur KCV et K_{Ic} , se référant au critères de rupture.

L'essai de Charpy est considéré comme un essai dynamique lent, qui donne l'influence de la vitesse de déformation sur les propriétés mécanique des matériaux, et plus particulièrement la ténacité. Cette influence est le résultat de l'emploi du critère de plasticité thermiquement activé

associé au critère local de rupture. Celle-ci est décrite par la variation de la distribution des contraintes dans les zones de discontinuités géométriques, compte tenu de la forme d'entaille et pour différents types d'éprouvette Charpy. [11]

L'essai de résilience consiste à faire rompre une éprouvette entaillée posée sur deux appuis sous l'action du marteau d'un pendule qui vient la solliciter en son centre sur la face opposée Figure I.9. [11]

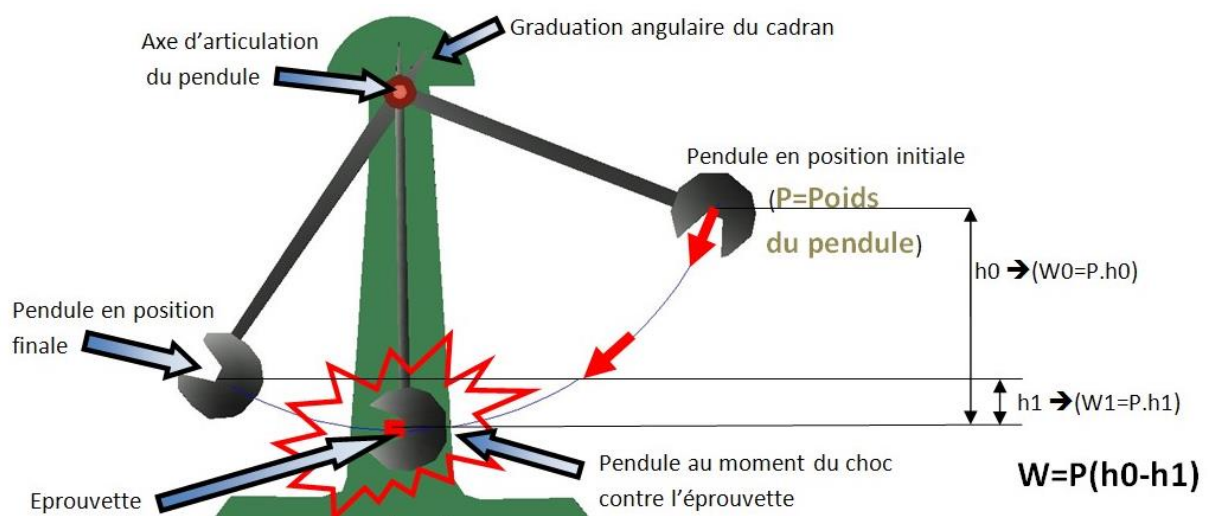


Figure I.9 : principe du mouton pendule de Charpy et chambre thermique [11]

La grandeur obtenue est une énergie qui est la différence entre l'énergie initiale et finale du pendule. Après correction des pertes dues au frottement, on obtient l'énergie nécessaire à la déformation et à la rupture de l'éprouvette, dont on déduit la résilience KCV, qui est l'énergie de la rupture, divisée par la section nominale au droit de l'entaille. Cette grandeur s'exprime en Joules par cm². La résilience n'est pas une grandeur intrinsèque du matériau, elle est fonction de la géométrie de l'entaille.

L'énergie de rupture W est représentée par l'expression suivante :

$$W = PM \cdot h_i - PM \cdot h_f - E_{\text{frot}} - E_{\text{appuis}} - E_{\text{cin}}$$

Avec :

hi : Hauteur initiale du marteau,

hf : Hauteur finale du marteau,

E_{frot} : Energie absorbé par le frottement du pendule,

E_{appui} : Energie absorbé par la déformation des appuis,

E_{cin} : Energie cinématique absorbé par l'éprouvette,

PM : Poids (marteau + bras).

Les principales dimensions caractéristiques du Mouton pendule de Charpy, selon les normes NF EN 10045-1 et 100045-2 [AFNOR, 1990, AFNOR, 1992], sont présentés dans le tableau

Principales dimensions caractéristiques d'un mouton pendule :

Caractéristiques du mouton - pendule	Dimensions
Distance entre appuis	40 mm
Rayon des appuis	1 mm
Angle au sommet du couteau du mouton	30°
Rayon de l'arête du couteau	2 mm
Masse de mouton- pendule	18,75Kg
Longueur de pendule (rayon de rotation)	825 mm

Tableau I.1 caractéristiques et dimensions du mouton pendule [11]

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. Cette énergie est classiquement, dans le cas de la norme européenne, de 300 joules.

L'énergie absorbée est obtenue en comparant la différence d'énergie potentielle entre le départ du pendule et la fin de l'essai. La machine est munie d'index 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 :

$$K = m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot h'$$

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]

$K = m \cdot g \cdot (h - h')$

m = masse du mouton-pendule [kg]

g = Accélération terrestre. [$m \cdot s^{-2}$] (9,80665)

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

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

La graduation de la machine permet généralement d'obtenir directement une valeur en joules. [11]

I.5 Conclusion:

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les tubes en aciers pour la fabrication de pipeline. Elle montre en premier lieu l'importance du transport des hydrocarbures par canalisation, l'ampleur des réseaux de distribution dans le monde. Deuxièmement, elle introduit les modes de production des tubes et les différences qui existent entre les tubes obtenus sans soudure, des tubes forcés et soudés et enfin les tubes soudés en spirale.

Les conditions d'utilisation sont présentées et les éventuelles défaillances qui peuvent affecter la durée de vie du pipeline sont exposées. Lors du processus de fabrication des tubes, le contrôle qualité est orienté vers le contrôle non destructif, le contrôle visuel et dimensionnel et le contrôle destructif. Dans ce travail l'axe est orienté vers le contrôle destructif qui est réalisé pour vérifier les propriétés mécaniques du matériau et les caractéristiques de fragilisation du matériau qui sont déterminées en utilisant respectivement les essais de traction et les essais de résilience.

L'objectif donc de ce chapitre est de mettre en évidence le contrôle destructif sur la fiabilité et la durée de vie des pipelines.

Compte tenu que le stage pratique est réalisé au niveau de l'entreprise AMPTA de Annaba, le second chapitre est dédié à la production des tubes sans soudure au niveau de l'AMPTA.

Chapitre II

**Production des tubes sans soudure au niveau
de « AMPTA »**

Chapitre II : Production des tubes sans soudure au niveau de « AMPTA »

II.1 Présentation de l'entreprise

II.1.1 Bref rappel historique du complexe sidérurgique

Le complexe sidérurgique d'El Hadjar a été réalisé par la Société Nationale de Sidérurgie (S.N.S) créée en septembre 1964 à la suite de la Société Bônoise de Sidérurgie (S.B.S) héritée de l'ère coloniale et à laquelle était confiée de la construction d'une usine sidérurgique.

Cette usine dont le démarrage est intervenu en 1969 sous l'égide de la S.N.S a pris, cependant, l'envergure d'un complexe intégré ayant pour mission la production de produits sidérurgiques dont la gamme suffisamment variée devait essentiellement répondre aux besoins du pays dans le cadre de la mise en œuvre de ses différents plans de développement.

Ce complexe a connu en 1982 une nouvelle organisation suite au lancement de la politique de restructuration organique du secteur industriel décidée par les pouvoirs publics et a vu la reconversion de la S.N.S en société SIDER et l'érection, au titre d'une filialisation des activités, de l'ex. Atelier « Tubes Sans Soudure » en société par actions.

II.1.2 Bref rappel historique de l'atelier Tubes Sans Soudure

La naissance de l'activité de production de tubes sans soudure est essentiellement liée à la politique de développement de l'industrie des hydrocarbures et la mise en œuvre d'importants programmes d'exploration et d'exploitation des gisements pétroliers et gaziers.

Aussi, et compte tenu de ce facteur de développement et des besoins de l'industrie en général, il fut confié, en 1973 à la S.N.S, la mission de lancement d'une activité de cette nature laquelle a débuté par l'implantation d'une aciérie électrique d'une capacité de production conforme de l'ordre de 110.000 tonnes / an de lingots destinés à la fabrication de ce type de tubes. Cet atelier a réalisé sa première coulée en décembre 1974 ; son entrée en production en cycle continu a débuté en 1976.

II.1.3 L'atelier Tubes Sans Soudure aujourd'hui « AMPTA »

L'atelier tubes sans soudure – communément appelé TSS – est connu depuis le 07 mars 2007 sous le nom de Société par Actions **Arcelor Mittal Pipes & Tubes Algeria « AMPTA »**.

II.1.3.1 FICHE TECHNIQUE [12]

II.1.3.1.1 Principaux indicateurs

- Effectif permanent : 352 salariés
- Effectif en sous-traitance : 16 agents
- Capacité de production : 45 000T / an
- Tonnage tubes réalisé en 2012 : 6438 T
- Chiffre d'affaires réalisé en 2012 : 668 MDA

II.1.3.1.2 Moyens de production

- 02 laminoirs de 6 pouces destinés aux applications de Tubing (remontée du pétrole et du gaz).
- 01 laminoir de 14 pouces destiné aux applications Casing (Coffrage des puits) et Line Pipe (Transport des fluides) qui lui a une capacité de 45 000 Tonnes par an.

[12]

II.1.3.1.3 Gammes de produits

- 3 types de tubes à l'heure actuelle :
tube CASING servant au coffrage des puits,
tube TUBING servant de conduite à l'intérieur des puits pour la remontée des hydrocarbures liquides et gazeux,
tube PIPE LINE servant de transport entre le puits et le centre de collecte.
- Caractéristiques techniques
filetage API (rond, buttress), premium joint : nuances Grades B - X42 -X52 - X60 pour les pipelines et J55 - K55 - N80 - P110 pour le casing (traité et non traité)

II.1.3.1.4 Principaux clients

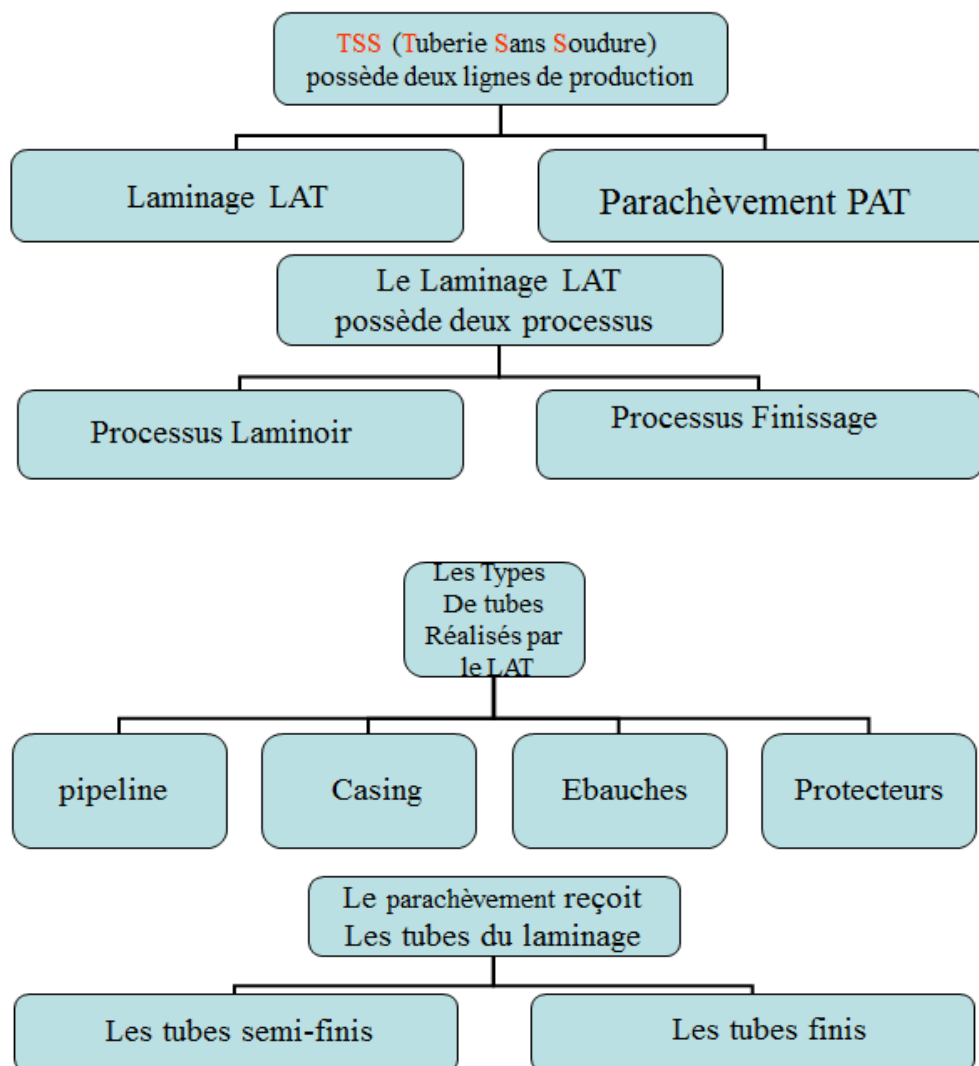
- Hydrocarbures
SONATRACH,
NAFTAL,

- Energie
SONELGAZ,
- Métallurgie
ALTUMET,
- Hydraulique
ANABIB.

[12]

II.2. Séquence de fabrication

Figure II Schéma qui résume les étapes de fabrication [12]



II.2.1 LAMINAGE LAT

II.2.1.1 Parc à lingots

Action : alimentation de la table d'enfournement en lingots dodécagonaux – ronds. Selon l'ordre de marche, le GP doit mentionner sur le tableau d'enfournement toutes les

spécifications de chaque coulée (\emptyset - Nuance – poids- longueur –N° OM- N° Coulée) et ce, afin d'éviter le mélange de coulées

Figure II.1 parc à lingots



II.2.1.2 Table d'alimentation :

Action : charger la table et la chaîne en lingots dodécagonaux – ronds à température ambiante ; ce dernier doit maintenir une cadence de chargement suivant la marche du laminoir.

Figure II.1.1 table d'alimentation



II.2.1.3 Four à sole :

Action : l'enfourneur du four à sole est appelé à enfourner des lingots de différents \emptyset pour subir une chauffe et atteindre une température de 1300 c°, l'enfourneur doit maintenir une cadence d'enfournement suivant la marche du laminoir.

Figure II.1.2 four à sole



II.2.1.4 Presse à percer :

Action : L'opérateur de presse est chargé de percer les lingots, de forme dodécagonale en provenance du four à sole en doigts de gant à une T° de $1300c^{\circ}$.

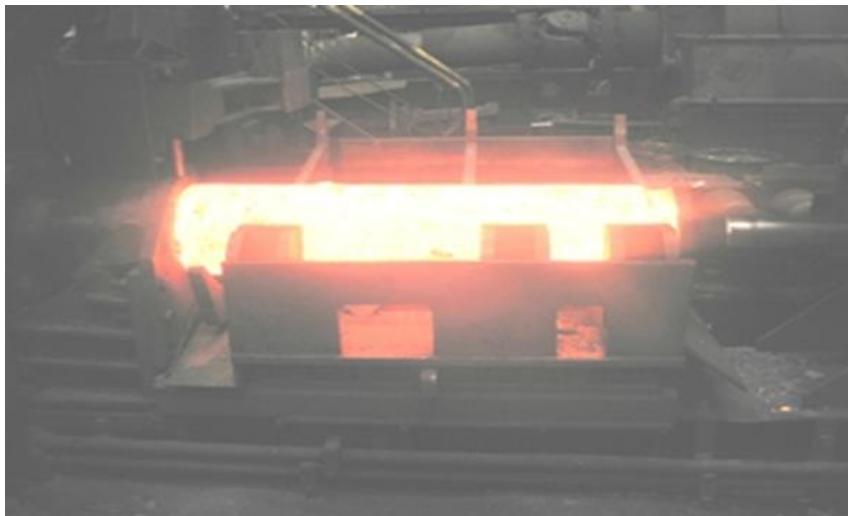


Figure II.1.3 presse à percer

II.2.1.5 Four à plateau

Actions :

- enfourner les ébauches presse en provenance de la presse à percer à une T° de $1150c^{\circ}$,

- enregistrer les ébauches entrant sur le disque répéteur avec son N° de coulée,
- défourner les ébauches à une T° de 1300c°.

II.2.1.6 Laminoir oblique (L - O)

Actions : - Transformer les ébauches presse en ébauche à paroi épaisse par entraînement de produit entre deux cylindres latéraux inclinés, et une tête qui fait l'office d'un cylindre intérieur monté sur une tige L- O maintenue par deux serres - barre dans l'axe de la machine



Figure II.1.4 laminoir oblique

- Pré enfilement : enfiler le mandrin après l'avoir graphité à l'intérieur de la bague et l'ébauche à chaud pour alimenter le L P.



Figure II.1.4.1 pré enfilement

II.2.1.7 Laminoir à pas de pèlerin

Actions : - Transformer les ébauches tabulaires en provenance du L- O en tube à une T° de 1050 c° environ.

- éliminer les défauts sur cylindre L P.
- préparer une solution de graphite dont le mélange est composé d'eau, de graphite et de colle,
- il doit alimenter les trains selon la cadence des laminoirs.

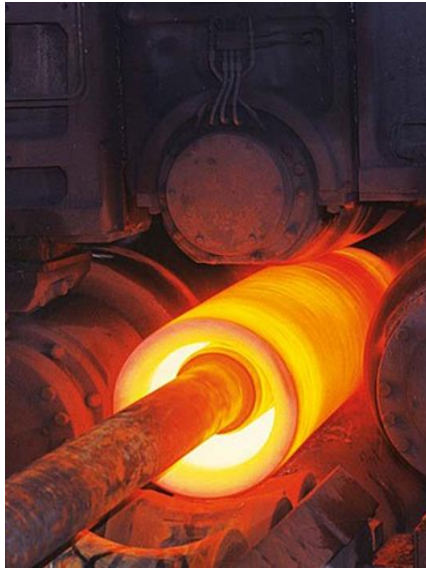


Figure II.1.5 laminoir à pas de pèlerin

II.2.1.8 Scie à chaud

Action: coupe du balai et pavillons.

Coupe en deux des tubes DL en provenance du L P à une T° environ 700c°.

Procéder au dégagement de la benne à chute et au changement de la lame de scie.



Figure II.1.6 scie à chaud

II.2.1.9 Four à longerons

Actions:

- enfournement des tubes en provenance du laminoir,
- respect du temps de chauffe,
- défournement des tubes à une T° de 850c° environ
- recalibrage - redressage des tubes

Figure II.1.7 Four à longerons



II.2.1.10 Calibreur

Action: Obtenir un diamètre à chaud dans les tolérances, ceci s'effectue par réduction successive dans une série de cages calibreuses alternées de 90° l'une par rapport à l'autre.

La température de calibrage est comprise entre 850c° et 900c°

Figure II.1.8 calibreur



II.2.1.11 Dresseuse

Action: Obtenir une rectitude admissible sur le tube provenant du calibreur après avoir refroidis sur deux chaînes refroidisseur à l'air libre.

La température de dressage est de 80c°



Figure II.1.9 dresseuse

II.2.1.12 Control et actions complémentaires

II.2.1.12.1 - Zone CND:

Passage tuboscope, levée de doute MPI

II.2.1.12.2 Zone réparation:

Figure II.1.10 Réparation des tubes affectés de défauts réparables (intérieur et extérieur).



II.2.1.12.3 Deuxième visite:

Contrôle aspects visuels : rectitude, longueur, diamètre épaisseur, chanfrein.

II.2.1.12.4- BEH :

Éprouver les tubes réparés et coupés et les soumettre sous pression selon OE.

II.2.1.12.5- RESTELLINI :

Chanfrein API sur les tubes line pipe ayant un $\varnothing \leq 219.1$ provenant du BEH.

II.2.1.12.6- BARDONS :

Tronçonner des tubes casing et exécution du chanfrein API sur les tubes pipeline ayant un $\varnothing > 219.1$

II.2.1.12.7- Recette :

Refaire tout le control visuel et dimensionnel des tubes portant le marquage OK tuboscope . Marquage selon API (N° tube, nom de l'entreprise, dimension, N° de coulée, N° de commande client) .

II.2.2 PARACHEVEMENT PAT**II.2.2.1 Les tubes reçus du laminage au parachèvement sont:**

- les tubes ébauches pour la réalisation des manchons,
- les tubes Casing destinés au coffrage des puits pétroliers,
- les tubes Line pipe qui nécessitent un traitement (transport des hydrocarbures),
- les tubes protecteurs pour la réalisation des Nipples et Bagues

II.2.2.2 Description du parachèvement

Le parachèvement possède trois processus de production:

- le processus Traitement Thermique (TTh / CND).
- le processus Manchons.
- le processus Filetage - Finition tubes (FIL- FIN TUB).

II.3 Equipements, désignations, explications, actions

II.3.1- Grille d'enfournement :

L'enfourneur a pour tâches

- de recevoir les tubes du LAT,
- d'indiquer, sur des Feuilles d' Enfournement, l'identification des tubes,
- d'enfourner les tubes selon l'O. M et la cadence du four.



Figure II.2 grille d'enfournement

II.3.2- Four de trempe:

Le four de trempe assure le chauffage et le maintien de la température du tube de (900 à 930) °c

A la sortie du four, le tube subit une trempe à l'eau (un refroidissement brusque à l'eau, d'une pression P=4 bars, à partir de l'Installation de Trempe).

Ce refroidissement rend le tube dur, fragile et diminue l'allongement A%.

L'Installation de Trempe sert aussi à décalaminer les tubes, à une pression $P=110$ bars



Figure II.2.1 four de trempe

II.3.3- Four de revenue :

Son rôle est d'améliorer les effets de trempe en amenant le métal à un équilibre mécanique (disparition des tensions internes).



Figure II.2.2 four de revenue

II.3.4- Calibreur :

Le rôle du calibreur est de faire la correction des diamètres extérieurs des tubes selon

les tolérances exigées à chaud.

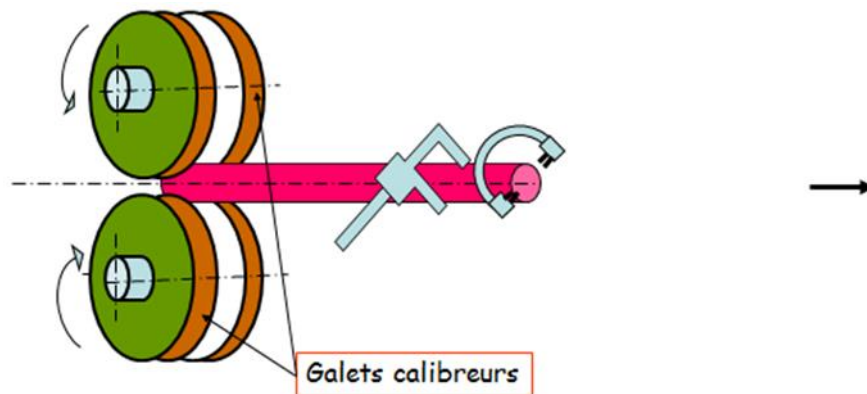


Figure II.2.3 calibreur

II.3.5- Dresseuse :

La dresseuse a pour rôle, de rendre le tube droit.



Figure II.2.4 dresseuse

II.3.6 - Zone billage :

- identification des tubes à partir des feuilles d'enfournement selon l'ordre d'exécution,
- contrôle de la rectitude des tubes.
- contrôle du diamètre extérieur du tube.
- prélèvement des viroles des tubes de chaque coulée, destinées aux essais mécaniques (E.M) **au laboratoire d'essais mécaniques.**



Figure II.2.5 contrôle du diamètre extérieur du tube.

II.3.7 - Bardons (tronçonneuses) :

Le tronçonnage des extrémités des tubes est effectué par un groupe de deux machines à tronçonner, placées en amont de la grille de billage

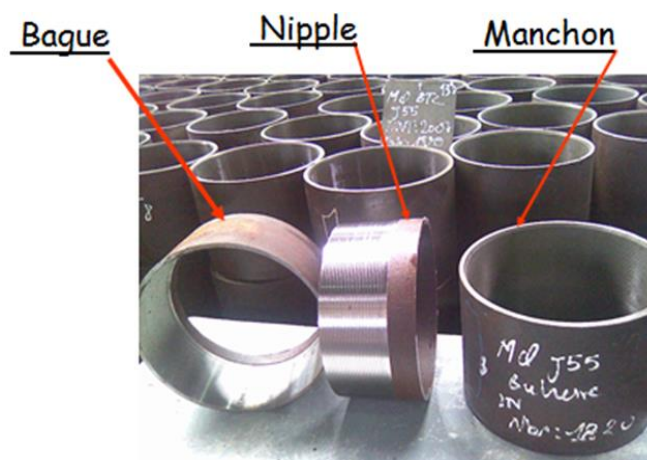
La fonction principale :

- couper les mauvais bouts de tube,
- couper des viroles pour les essais mécaniques (E.M).

II.3.8 - Rôle du processus « manchons »

- couper les tubes ébauches en viroles, pour fileter les manchons.
- couper les tubes protecteurs en viroles, pour fileter les bagues et les Nipples.

Figure II.2.6 bague ,nipple et manchon



II.3.8.1 Définitions :**II.3.8.1.1 Manchon :**

Pièce cylindrique fileté de l'intérieur, assurant le raccordement de deux tubes.



Figure II.2.7 manchon

II.3.8.1.2 Nipple :

Pour la protection du filetage du manchon.

II.3.8.1.3 Bague :

Pour la protection du filetage du tube.

II.3.9- Banc d'épreuve hydraulique B.E.H

Les tubes sont soumis sous pression hydraulique, à 80% de leurs limites élastique, après avoir été rendus étanches par une tête d'épreuve fixe et une tête d'épreuve mobile.



Figure II.2.8 Banc d'épreuve hydraulique

II.3.10- Zone de conditionnement

La peinture du tube nécessite son passage par la brosseuse et la laveuse, afin d'obtenir une bonne adhérence sur son corps extérieur.

II.3.11 - Bascule

- le pesage des tubes répond aux tolérances exigées par la norme API.
- le marquage au pochoir (papier perforé), pour identifier les tubes.

II.3.12 – Zone MPI

- contrôle des tubes, en utilisant l'MPI.
- contrôle de la rectitude des tubes.
- expédition des tubes au Parc PAT.

[12]

II.4 Laboratoire des essais mécaniques a l'AMPTA

Le Département Qualité de la société « AMPTA » dispose d'un laboratoire d'essais mécaniques qui lui assure la vérification des caractéristiques mécaniques par le biais d'essais de traction, de résilience et de dureté et la bonne interprétation des résultats devant permettre de déterminer la

conformité du produit aux normes et spécifications de fabrication avant sa libération pour utilisation.



Figure II.4 laboratoire des essais mécaniques d'AMPTA

II.3.1 Types d'essais réalisés dans le laboratoire d'AMPTA

Le laboratoire réalise trois types d'essais :

Essais de traction

Essais de résilience

Essais de dureté

II.4 Conclusion chapitre II

Ce chapitre présente la société sidérurgique Arcelor Mittal pipe et tube Alegria « AMPTA », et son procédé de fabrication sans soudure. Il montre en premier lieu l'historique du complexe en général et l'évolution de l'entreprise au fil du temps ainsi que sa capacité de production annuelle, en second lieu il expose les principaux moyens de fabrication ainsi que les gammes de produits disponibles et leurs domaines d'utilisation.

Les étapes du procédé de fabrication du tube sans soudure sont présentées dans l'ordre ainsi que toutes les opérations de contrôle qualité du produit. Enfin il présente le laboratoire d'essais mécaniques et les essais qui y sont réalisés ainsi que son rôle dans le bon déroulement du processus de production. Après essais hydraulique à une pression 1.5 à 2 fois la pression de service, chaque livraison de tubes est accompagnée par une fiche de contrôle des tubes qui doit répondre aux normes et qui atteste que le tube est conforme aux exigences du clients.

L'objectif de ce chapitre est d'exposer les conditions dans lesquelles les tubes sans soudure sont produits pour mieux cerner les éventuelles anomalies et y remédier.

Le chapitre III est dédié à l'étude expérimentale qui portera la production d'une commande de tubes aciers produits au sein d'AMPTA.

Chapitre III

Etude expérimentale : Propriétés mécaniques et KIC

Chapitre III : Etude expérimentale : Propriétés mécaniques et KIC

III.1 Matériau

Le matériau utilisé dans ce travail est un acier API 5L Grade B, X52, produit par l’AMPTA (Arcelor Mittal pipe et tube Alegria). D’après la dite norme, les propriétés mécaniques et la composition chimique sont données dans les tableaux :

Nuance	σ_e min	σ_r min	E	A%
X52	358 MPa	455 MPa	210 GPa	34

Tableau III.1: Propriétés mécaniques de l’acier API 5L Grade B, X52

0,14	1,30	0,20	≤	≤	≤	≤	≤	≤	0,018	≤	≤	≤	≤
0,16	1,36	0,30	0,024	0,014	0,050	0,050	0,025	0,040	0,040	0,080	0,010	0,050	0,039
C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V	Nb	Al	Cu	Sn	Ni	Ti
0,15	1,33	0,26	0,005	0,007	0,014	0,008	0,001	0,008	0,025	0,035	0,003	0,012	0,003
0,15	1,32	0,25	0,006	0,008	0,015	0,009	0,001	0,007	0,025	0,034	0,003	0,013	0,003

Tableau III.2 : La composition chimique pour l’acier API 5L grade B, X52

L’annexe A1 donne le résumé des normes de tubes produits à AMPTA Annaba.

III.2.1 Détermination des propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques de l'acier API 5L, Grade X52, ont été déterminées en utilisant des essais de traction. Les éprouvettes de tractions sont prélevées d'une virole d'un tube dans le sens longitudinale selon la norme API 5L.

III.2.1.1 Géométrie de l'éprouvette de traction:

La géométrie de l'éprouvette et ses dimensions sont représentées dans la figure 2.1.

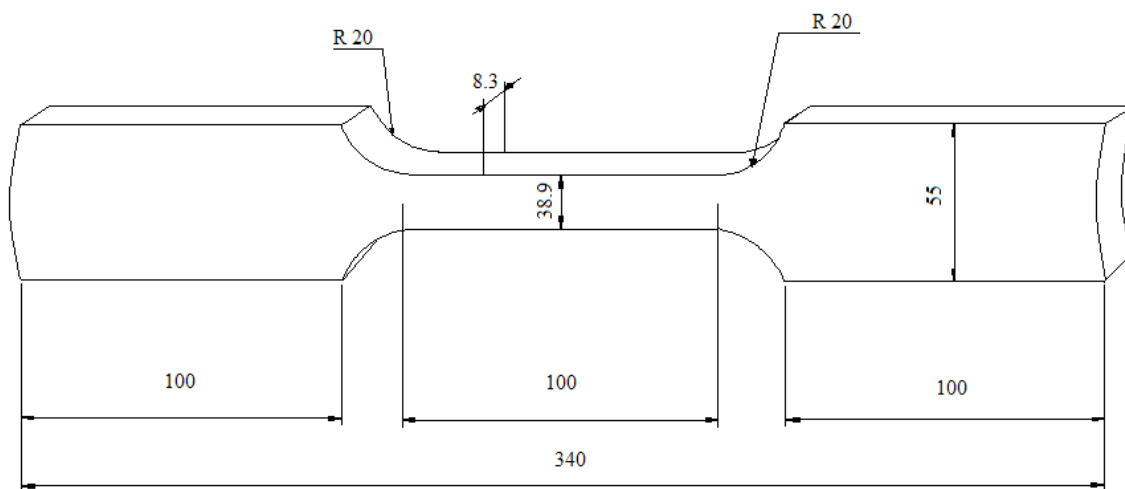


Figure III.1 : Eprouvette de traction selon la norme API 5L

III.2.1.2 Prélèvement des éprouvettes de traction:

La Figure 2.2 montre la méthode de prélèvement des éprouvettes longitudinales du tube sans soudure. Une virole de 1.5 à 2 fois le diamètre du tube est découpée du bout du tube ; puis une languette dans le sens longitudinale est sciée le long de la virole. Et enfin l'éprouvette est usinée selon la configuration en figure 2.1, sur une fraiseuse horizontale.

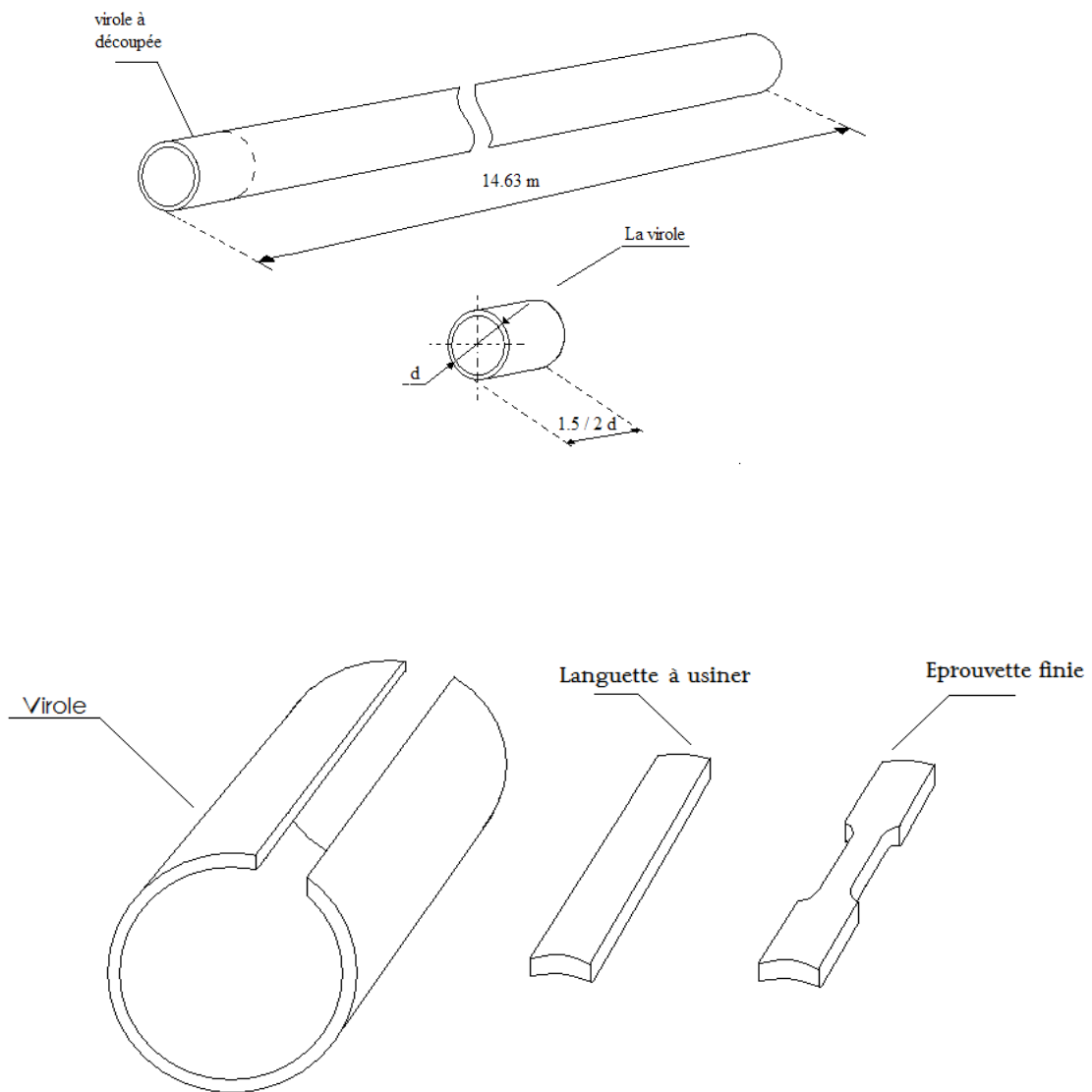


Figure III.2 : Méthode de prélèvement des éprouvettes de traction

III.2.1.3 Essai de traction :

Les essais de tractions ont été réalisés sur une machine de traction Zwick/Roell model Y de 1200 kN au niveau du laboratoire de mécanique de AMPTA. Une série de 6 essais a été effectuée pour vérifier la reproductibilité des résultats et la qualité de l'acier ainsi façonné en tube.

III.2.2 Détermination de la ténacité du matériau

La ténacité du matériau est déterminée par le biais de l'essai de résilience. Il s'agit de déterminer l'énergie de rupture K_v en fonction de la température qui permettra de déterminer soit la ténacité JIC ou bien le facteur d'intensité de contrainte critique KIC.

III.2.2.1 Géométrie de l'éprouvette de résilience:

La géométrie des éprouvettes de résilience dépend de l'épaisseur du tube et selon la norme API 5L elle doit suivre les recommandations données dans le tableau 2.3. Dans notre cas les dimensions des éprouvettes sont 10 mm x 7.5 mm x 55mm avec une entaille en V, Figure III.3.

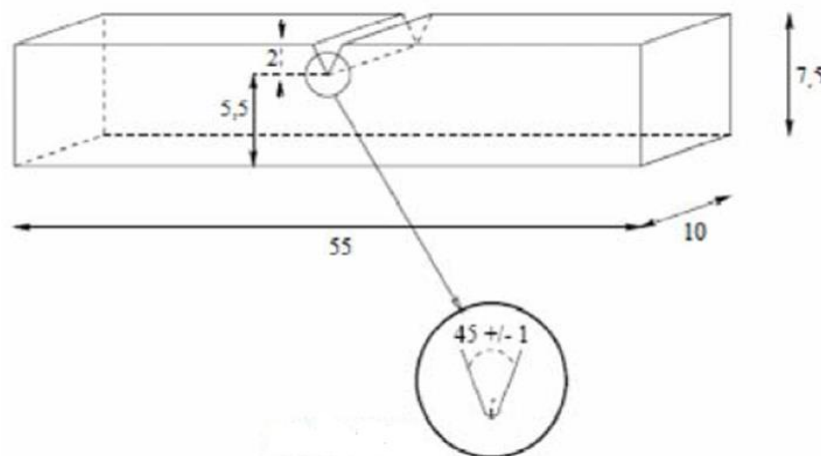


Figure III.3 Eprouvette de résilience avec une entaille en V

Entaille en V = 2 mm	Entaille en U = 5 mm
10 X 10 = 0.80 cm ² = S ₀	10 X 10 = 0.50 cm ² = S ₀
10 X 7.5 = 0.60 cm ² = S ₀	10 X 7.5 = 0.375 cm ² = S ₀
10 X 6.7 = 0.536 cm ² = S ₀	10 X 6.7 = 0.335 cm ² = S ₀
10 X 5 = 0.40 cm ² = S ₀	10 X 5 = 0.25 cm ² = S ₀
10 X 3.3 = 0.264 cm ² = S ₀	10 X 3.3 = 0.163 cm ² = S ₀
10 X 2.5 = 0.20 cm ² = S ₀	10 X 2.5 = 0.125 cm ² = S ₀

Tableau III.3 dimensions des éprouvettes de résilience suivant l'épaisseur et l'entaille « V ou U »

III.2.2.2 : prélèvement des éprouvettes de résilience

Les éprouvettes de résilience sont prélevées d'une virole d'un tube dans le sens transversal. La Figure 2.4 montre la position d'une éprouvette dans la virole.

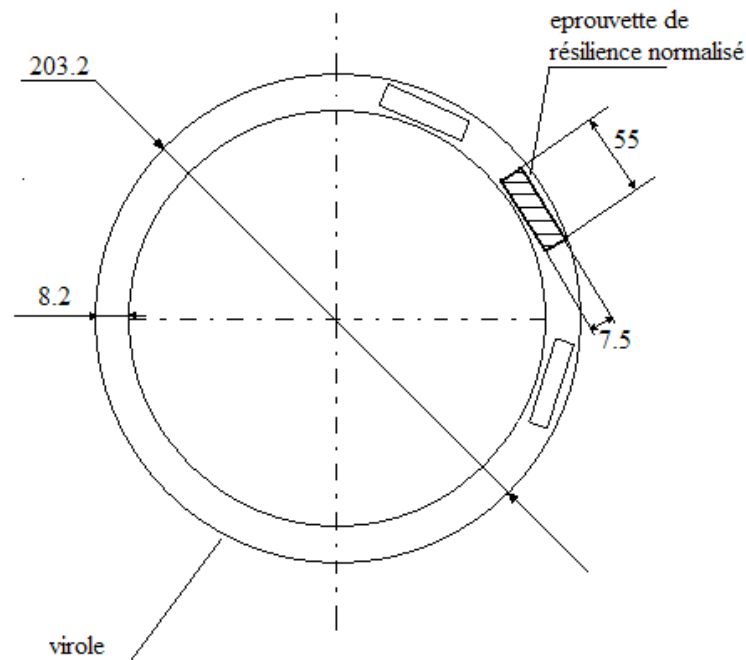


Figure III.4 : Position des éprouvettes de résilience dans une virole d'un tube

III.2.2.3 : Essais de résilience

Les essais de résilience ont été réalisés sur le mouton pendule Charpy, Zwick/Roell. Une série de 21 éprouvettes a été soumise à de basses températures allant de -30 à 30 °C, afin de déterminer la transition ductile-fragile du matériau.

III.3 Conclusion chapitre III

Le chapitre III présente les différentes manipulations expérimentales pour déterminer les propriétés du matériau X52. Il introduit la norme API 5L qui recommande les limites minimales au-dessous desquelles, les valeurs des propriétés mécaniques ne doivent tomber ainsi que la composition chimique du matériau. Puis, il diffuse le protocole des essais mécaniques qui sont dédiés aux essais de traction et les essais de résilience. Il explique les modes de prélèvement des éprouvettes de traction et des éprouvettes de résilience. Une batterie d'essais de tractions a été réalisée sur différentes éprouvettes prélevées de viroles découpées des bouts de tubes. Chaque virole appartient à un tube.

L'objectif de ce chapitre est de préciser le mode d'obtention des éprouvettes afin de mieux cerner les résultats des essais. Le prochain chapitre analysera les résultats des essais mécaniques et discutera les différents comportements.

Chapitre IV

Analyse des résultats et discussion

Chapitre IV : Analyse des résultats et discussion

IV.1. Propriétés mécaniques du X52

IV.1.1 : Les courbes de tractions :

La Figure IV.1 montre les courbes conventionnelles obtenues sur une série de 17 essais de tractions. Les courbes sont pratiquement les mêmes et suivent la même tendance. Une partie linéaire exprime l'élasticité du matériau qui donne la limite d'élasticité σ_e , et une partie non linéaire qui montre la déformation du matériau jusqu'à la rupture.

Toutes les courbes ont montré un point yield au début de la plasticité puis les courbes augmentent jusqu'à atteindre la valeur maximum de la contrainte maximale σ_m après la courbe redescend jusqu'à la rupture finale. Néanmoins à cause de certaines imperfections et du glissement de l'éprouvette lors des essais, la contrainte à la rupture diffère légèrement d'un essai à un autre, mais les valeurs restent acceptables pour tous les essais. La moyenne de ces courbes est représentée dans la Figure IV.2.

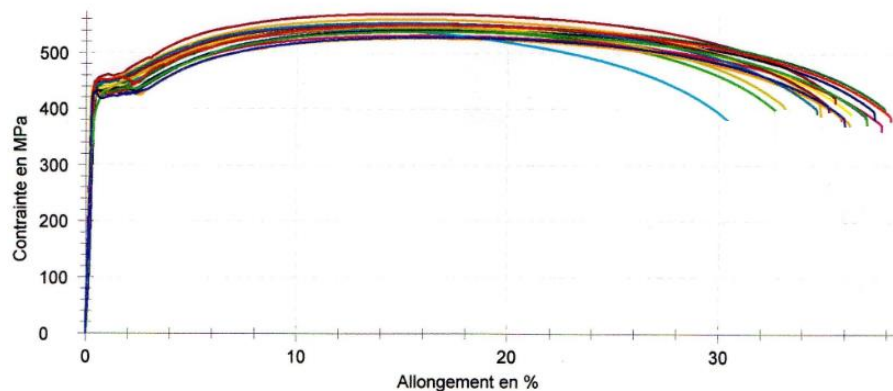


Figure IV.1 : Série de Courbes de la contrainte en fonction de la déformation pour l'acier X52 API 5L

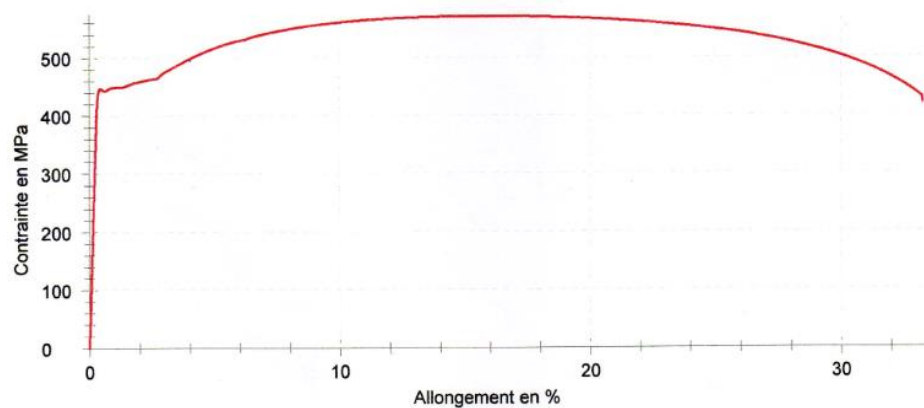


Figure IV.2 : Courbe conventionnelle de la contrainte en fonction de la déformation pour l'acier X52 API 5L

IV.1.2 Analyse statistique des résultats d’essais de traction

Les valeurs de propriétés mécaniques obtenues suite aux essais de tractions sont données dans le Tableau IV.1. Les essais ont été menés à une vitesse de la limite d’élasticité à 60 MPa/s et une vitesse d’essai à 0.0081/s. L’évolution de σ_e et σ_m en fonction de la section S_0 est représentée par la Figure IV.3. Par rapport à la norme API 5L, les valeurs sont dans les normes, et globalement, Il n’y a pas de grandes différences des valeurs trouvées. Cependant, l’effet de la section peut-être étudiée statistiquement pour introduire les incertitudes dans le dimensionnement du pipe.

Tableau IV.1 : Propriétés mécaniques de l’acier X52

N	So mm ²	σ_{e05} Mpa	σ_m Mpa	σ_{e05}/σ_m %	Al %
Max		530	760	69,74%
Min		360	460	78,26%	27
1	345	431	541	79,67%	37,25
2	335	432	543	79,56%	34
3	337	431	538	80,11%	38,28
4	348	423	526	80,42%	37,32
5	351	426	530	80,38%	39,25
6	330	439	541	81,15%	29,99
7	349	437	546	80,04%	37,52
8	335	458	569	80,49%	36,63
9	346	450	549	81,97%	38,49
10	348	428	540	79,26%	38,27
11	340	447	559	79,96%	36,06
12	332	448	552	81,16%	38,07
13	337	446	552	80,80%	35,85
14	317	427	545	78,35%	34,29
15	337	452	549	82,33%	39,45
16	341	426	538	79,18%	39,53
17	338	418	527	79,32%	37,18

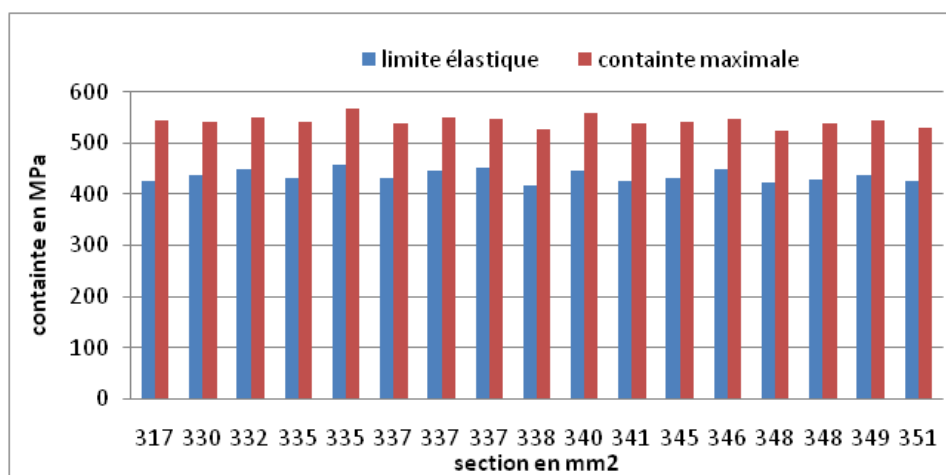


Figure IV.3 Histogramme de l’évolution de la limite élastique et de la contrainte maximale en fonction de la section de l’éprouvette

Compte tenu de la géométrie de l'éprouvette qui est caractéristique aux éprouvettes prélevées de tube pour pipeline, il est pratiquement difficile d'avoir une section constante, donc il y a toujours des incertitudes qui sont introduites. Afin d'éliminer l'effet des incertitudes une étude statistique permet de caractériser ses résultats en valeurs moyennes et leur écart type. Le Tableau IV.2 donne la moyenne et l'écart type des propriétés mécaniques de l'acier X52 API 5L. Les valeurs ainsi trouvées sont très importantes dans d'éventuelles études sur la robustesse du pipeline et de la fiabilité des structures tubulaires.

Tableau IV.2 : Valeurs moyennes et écart type des propriétés mécaniques pour le X52 API 5L

Parametres	S_0 mm ²	σ_e Mpa	σ_m Mpa	A_l %
Moyenne	339,18	436,41	543,82	36,36
Ecart type	8,49	11,76	11,04	2,40

IV.1.3 : Analyse comparative avec des aciers pour les tubes pipeline

IV.1.3.1 Cas des courbes conventionnelles

Les courbes de traction obtenue sur l'acier X52 API 5 L sont comparées avec les courbes de tractions obtenues sur des aciers à haute résistance utilisés pour la production des tubes pour pipeline. Les résultats sont montrés dans la Figure IV.4. La courbe contrainte déformation pour l'acier X52 est basse par rapport aux courbes obtenues pour l'acier N80 et P110 mais l'allongement est plus important. C'est une logique qui montre que plus l'acier est résistant moins l'allongement est long. Néanmoins, le point yield observé dans l'acier X52 n'existe pas chez les aciers N80 et P110. Ceci indique que le X52, bien que moins résistant, il montre une meilleure plasticité. La valeur de la limite élastique a doublé pour l'acier P110 et elle est 1,5 fois supérieure chez l'acier N80.

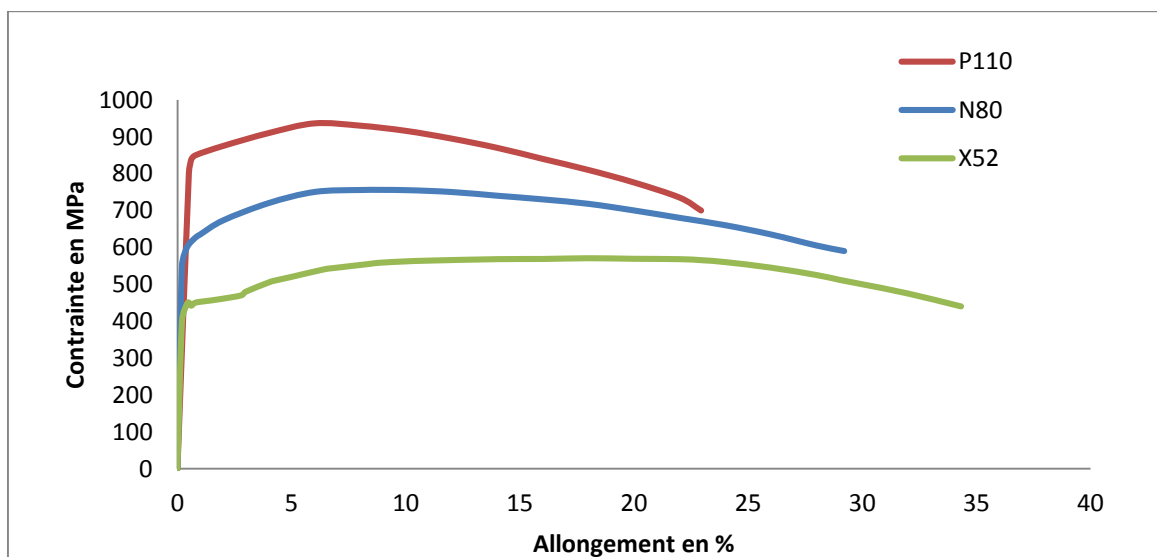


Figure IV.4 : Comparaison des courbes de tractions des aciers X52, N80 et P110

IV.1.3.2 Cas des courbes rationnelles

La courbe conventionnelle suffit pour la plupart des applications. Mais si l'on s'intéresse de manière fine aux phénomènes aux grandes déformations, il faut tenir compte de la modification des dimensions de l'éprouvette [13].

Dans l'essai de traction, on mesure les efforts rapportés à la section initiale de l'éprouvette. Si l'on calcule les efforts rapportés à la section instantanée de l'éprouvette en utilisant les lois de conservation de la matière, on détermine alors les contraintes vraies σ et les déformations vraies ε . La courbe que l'on obtient alors en traçant $\sigma = f(\varepsilon)$ s'appelle la courbe rationnelle de traction Figure IV.5.

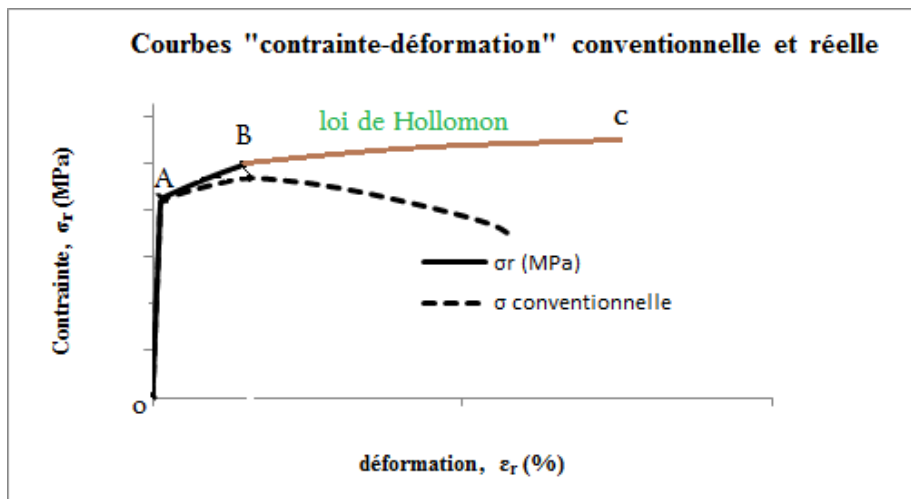


Figure IV.5: Courbes contrainte-déformations conventionnelle et réelle

La Figure IV.5 est représentative pour obtenir la courbe rationnelle. Les valeurs entre les points O et A sont les mêmes pour les deux courbes (conventionnelle et rationnelle), la droite OA représente le domaine élastique du matériau. A partir de la valeur de la limite élastique σ_e au point A jusqu'à la valeur de la contrainte maximale σ_r au point B ce qui correspond aux valeurs du domaine plastique du matériau, on applique les équations suivantes :

Pour obtenir la déformation rationnelle ε_c est donnée par l'équation (IV.1):

$$\varepsilon_v = \text{Ln}(1 + \varepsilon_c) \tag{IV.1}$$

Pour obtenir contrainte rationnelle σ_v est donnée par l'équation (IV.2):

$$\sigma_v = \sigma_c(1 + \varepsilon_c) \tag{IV.2}$$

Avec : σ_v (la contrainte rationnelle en MPa)

σ_c (la contrainte conventionnelle en MPa)

ε_c (la déformation conventionnelle en %)

ε_v (la déformation rationnelle en %)

La loi de Hollomon s'écrit selon l'équation (IV.3) :

$$\sigma = K.\varepsilon^n \tag{IV.3}$$

n : correspond à la valeur de déformations rationnelle quand la courbe atteint le point de contrainte rationnelle ultime σ_{vU}

où « n » s'appelle le coefficient d'érouissage. Il caractérise la propension de l'acier à se durcir au cours de la déformation dans le domaine plastique (plus n est élevé, plus l'acier se consolide vite) à subir une déformation en expansion et à répartir les déformations, [12].

k est le paramètre d'Hollomon

Ainsi : La Figure IV.6 illustre la courbe réelle de l'acier API X52

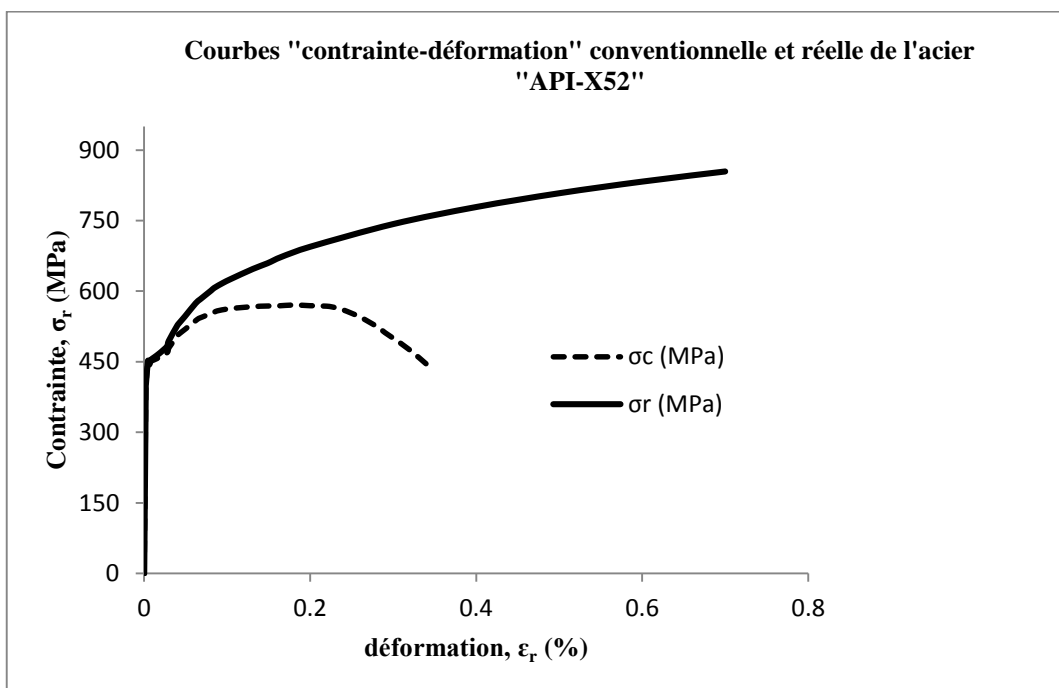


Figure IV.6 Courbe "contrainte-déformation" conventionnelle et rationnelle de l'acier "API-X52"

Relativement aux courbes conventionnelles de comparaison Figure IV.5, la figure IV.6 illustre l'évolution des courbes rationnelles pour les trois matériaux X52, N80 et P110.

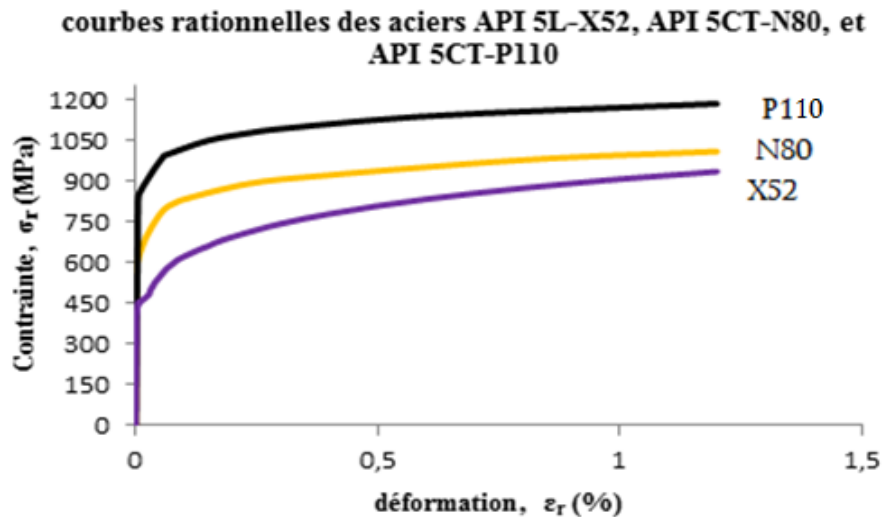


Figure IV.7 : Comparaison des courbes rationnelles des aciers API 5L-X52, API 5CT-N80, et API 5CT-P110

Les trois courbes ont essentiellement la même tendance, cependant, plus l'acier est résistant plus les courbes sont élevées. Les courbes pour le N80 et P110 dans la zone plastique sont pratiquement parallèles. Le P110 montre une résistance plus élevée de 1,4 fois. La courbe du X52 est basse aux valeurs des déformations atteignant 0,2% mais elle a tendance à rattraper la courbe du N80, mais elle reste au-dessous jusqu'aux déformations excédant 1,25%.

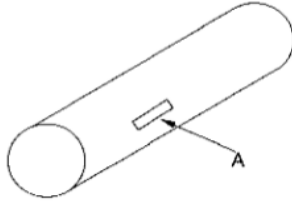
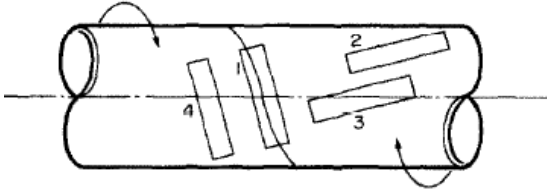
IV.1.3.2 Effet du soudage sur la résistance du tube

Les propriétés mécaniques de tubes obtenus sans soudure sont comparées avec les résultats des tubes obtenus par soudage hélicoïdal.

Le tableau IV.3 donne les propriétés mécaniques déterminées suites aux essais de traction sur un acier de nuance «API 5L-X52 » prélevé de deux sources différentes, l'un destiné à la fabrication de tube sans soudure produit à AMPPTA ANNABA, l'autre à la fabrication de tube soudé en spirale qui sont présentés dans l'étude [18].

Tableau IV.3 : Comparaison entre les propriétés mécaniques sur un tube sans soudure et un tube soudé.

IV.1.3.2.1 Métal de base-Métal de base

API-5L X52 d'un «tube sans soudure »				Localisation des échantillons
Echantillons	σ_e	σ_r	E	Tube sans soudure
A	440 MPa	570 MPa	210 GPa	 <p>Figure 1</p>
API-5L X52 d'un « tube soudé en spirale »				Localisation des échantillons
Echantillons	σ_e	σ_r	E	Tube soudé en spirale
1 ZAT	456 MPa	565 MPa	210 GPa	 <p>Figure 2</p>
2 Métal de base	472 MPa	605 MPa		
3 ZAT	433 MPa	575 MPa		
4 Métal de base	430 MPa	560 MPa		

Les résultats des essais de traction au niveau du métal de base ont été comparés. En fonction du sens de prélèvement des éprouvettes. Les éprouvettes prises dans le sens du laminage avant déformation hélicoïdal et soudure, ont donné des valeurs supérieures que celles obtenus sur les éprouvettes prise dans le sens longitudinal du tube sans soudure. Pour les éprouvettes prises dans le sens perpendiculaire, la limite d'élasticité est inférieure à celle obtenue sur les éprouvettes prises du tube sans soudure. La résistance maximale est pratiquement la même.

IV.1.3.2.1 Métal de base-ZAT

Les résultats des essais de traction au niveau du métal affecté par la soudure ont été comparés. En fonction du sens de prélèvement des éprouvettes. Les éprouvettes prises dans le sens du laminage et affectées par la soudure, ont donné des valeurs supérieures que celle obtenus sur les éprouvettes prise dans le sens longitudinal du tube sans soudure en ce qui concerne la limite élastique. La résistance maximale est quand a elle légèrement inférieure à celle obtenue sur les éprouvettes prises du tube sans soudure.

Pour les éprouvettes prises dans le sens perpendiculaire et affecté par le soudage, c’est le contraire, la limite d’élasticité est bien supérieure mais la résistance maximale est légèrement inférieure à celle obtenue sur les éprouvettes prises du tube sans soudure.

IV.2 : Comportement à la rupture fragile de l’acier X52

IV.2.1 Détermination de l’énergie de rupture Kv

L’énergie de rupture Kv a été déterminée en utilisant l’essai Charpy. 21 éprouvettes normalisées selon la norme API 5L de section 10x7.5 mm² et de longueur 55mm avec une entaille en V ont permis de déterminer la transition du matériau de la zone ductile à la zone fragile à basses températures allant de -30°C à +30°C. Le Tableau IV.4 présente les résultats des essais de résilience qui exprime le travail W en Joules et la section S en cm² en fonction de la température. Pour chaque température 3 essais ont été réalisés pour assurer la reproductibilité des mesures

L’énergie de rupture Kv est calculée par l’équation (IV.4) [15]

$$K_v = W / S \tag{IV.4}$$

Avec : W en (Joules) et S en (cm²)

Tableau IV.4 : Energie de rupture de l’acier X52 en fonction de la température

Conditions		W (J)			Kv J/cm2			Kvm Moyen J/cm2
Température T °c	So (cm2)	1	2	3	1	2	3	
30	0,6	7,6	7,4	7,6	124,25	120,98	124,25	123,16
20	0,6	7,4	7,4	7,4	120,98	120,98	120,98	120,98
10	0,6	6,6	6,8	6,4	107,91	111,1	104,64	107,91
0	0,6	6	6,2	6	98,1	101,37	98,1	99,19
-10	0,6	5,8	5,6	5,6	94,83	91,56	91,58	92,68
-20	0,6	5	4,8	4,8	81,75	78,48	78,48	79,68
-30	0,6	3	2,8	2,6	49,05	45,78	42,51	45,78

L'évolution de K_v en fonction de la température est représentée dans la figure IV.8.

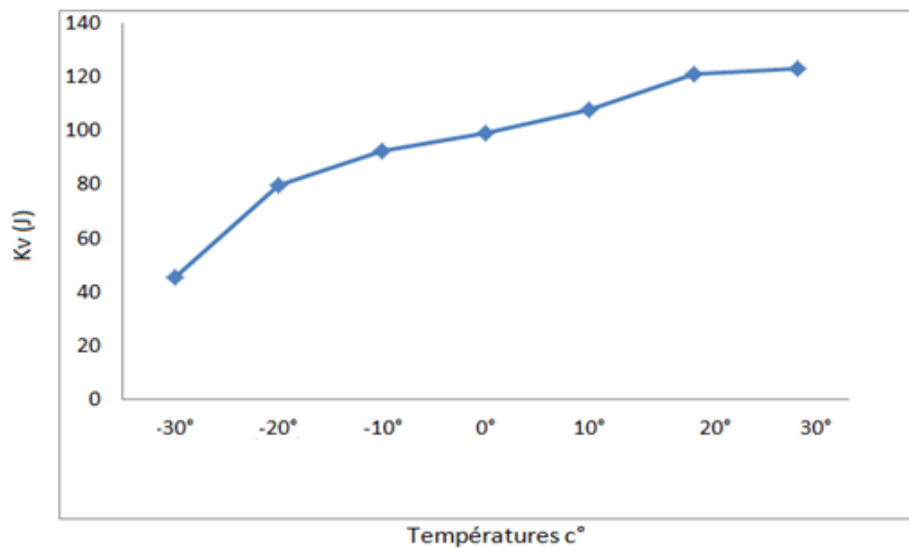


Figure IV.8 Courbe de transition de K_v pour l'acier X52.

L'énergie de rupture K_v augmente en fonction de l'augmentation de la température. A -30°C , elle descend jusqu'à $45\text{J}/\text{cm}^2$ et puis augmente à $99,9\text{J}/\text{cm}^2$ à zéro $^{\circ}\text{C}$. Et à partir de la température ambiante de 20°C , elle se stabilise. Ceci montre que la zone ductile est à température ambiante et la zone fragile est à basse température. La courbe de transition pourrait aller encore plus bas que -30°C . Cependant, à -30°C , les informations sont suffisantes pour adapter une valeur de l'énergie de rupture sur la ligne de transition. En Algérie compte tenu que les températures descendent rarement à -5°C , l'énergie de rupture pourrait être prise pour la température de -10°C et donc la valeur de K_v est de $92\text{J}/\text{cm}^2$.

IV.2.2 Ténacité JIC et facteur d'intensité de contrainte critique KIC

Pour les matériaux fragiles, KIC est toujours le critère le plus efficace et le plus utilisé pour estimer la propagation de la fissure. Ces matériaux ont un comportement quasi linéaire, ce qui correspond aux définitions de Griffith.

Pour les matériaux ductiles, pouvant admettre des déformations plastiques, différents types de critères existent. Le plus utilisé, pour les risques d'amorçages, est l'équivalent de K_{Ic} , le terme énergétique J_{Ic} . L'intérêt est que J caractérise l'énergie en pointe de fissure. Des modèles analytiques permettent d'estimer J à partir de K_I et de la courbe de traction du matériau. [16]

IV.2.2.1 Critère énergétique pour déterminer la ténacité à partir de l'essai**Charpy**

La ténacité est proportionnelle au travail surfacique de rupture. Ce travail surfacique est défini comme étant le travail de rupture U_c par unité de surface au ligament $w.b$ (w est la largeur de l'éprouvette, b le ligament), Ce travail surfacique de rupture est précisément la résilience KCV, équation (IV.5). [17]

$$KCV = U_c / w.b \quad (IV.5)$$

La ténacité, à l'amorçage, est définie par Turner [14] équation (IV.6) :

$$J_{Ic} = \eta U_c / wb = \eta KCV \quad (IV.6)$$

Les valeurs de η sont déterminées par deux méthodes :

- Formule ASTM 813.81 (Norme Américaine): $\eta = 2 + (0.522 b/w)$
- Formule BS (Norme Britannique): $\eta = 1.97 + (0.518 b/w)$

b : Taille du ligament d'échantillon,

w : Largeur d'échantillon

IV.2.2.2 Modèles de calcul du facteur d'intensité de contrainte critique KIC

Les essais de mécanique de la rupture sont longs et coûteux. La nécessité de réaliser un état de déformation plane conduit à utiliser des éprouvettes d'autant plus épaisses que la limite d'élasticité du matériau s'abaisse. A l'opposé, les essais classiques de fragilité (essai Charpy) ainsi que l'essai de traction sont peu onéreux. Le problème de la détermination expérimentale de KIC serait donc considérablement simplifié si l'on relie sa valeur à celles d'autres paramètres tels que la résilience KCV ou la limite d'élasticité σ_e . Plusieurs études ont été menées dans ce but avec plus ou moins de succès. La plupart des relations proposées ne sont valables que dans un domaine restreint de température et pour des matériaux particuliers.

De nombreuses études avaient pour but de corréler l'énergie de rupture K_v à la ténacité KIC. Cependant, en raison de l'importante différence entre les essais de résilience et de ténacité, ces corrélations doivent être utilisées avec beaucoup de précaution.

Les ouvrages donnés en bibliographie montrent que les meilleures corrélations K_{1c}/K_v sont obtenues pour le niveau bas de la transition de résilience. Le tableau IV.5 présente les principales corrélations disponibles dans la littérature. [17]

Identification du modèle	Corrélation entre K _{1c} et K _v	Conditions de validité déterminées par les auteurs
Barsom et Rolf [3,6]	$(\frac{K_{1c}}{Re})^2 = 6.47(100 \frac{K_v}{Re} - 1)$	770 ≤ Re ≤ 1720 96 ≤ K _{1c} ≤ 270 22 ≤ K _v ≤ 121
Barsom et Rolf [3,6]	$\frac{K_{1c}^2}{Re} = 0.222K_v^{3/2}$	Acier à moyenne résistance pour appareils à pression
Barsom [3,6]	$\frac{K_{1c}^2}{E} = 0.65K_v$	Acier de construction à moyenne résistance 250 ≤ Re ≤ 950
Sailors et Corten [3,6]	$K_{1c} = 14.6\sqrt{K_v}$	Acier à moyenne résistance
Sanz [3,6]	$K_{1c} = 19\sqrt{K_v}$	300 ≤ Re ≤ 1000 K _v < 80J Cristallinité ≥ 80 à 85% à Tk28
Girenko et Lyndin [3,6]	$K_{1c} = \sqrt{0.1 \frac{EK_v}{2A}} - 15$	Métal fondu (A : allongement)

Tableau IV.5 : Quelques modèles de corrélation K_{1c} – K_v [17]

IV.3 : Analyse de la corrélation K_{1c} et J_{1c} pour l’acier X52

Les valeurs de ténacité liée à la résilience K_{CV} sont obtenues en appliquant l’équation (IV.6)

Les valeurs du Facteur d’Intensité de Contraintes critique K_{1c} sont obtenues en appliquant le model de Sailors et Corten equation (IV.7) :

$$K_{1c} = 14.6\sqrt{K_v} \tag{IV.7}$$

La valeur de η est déterminée par la Formule ASTM 813.81 (Norme américaine) :

$$\eta = 2 + (0.522 b/w)$$

b : Taille du ligament d’échantillon,

w : Largeur d’échantillon.

Ce qui donne : $\eta = 2,29$.

Les valeurs obtenues dans différentes températures sont présentées dans le Tableau IV.6 :

Température T °C	Energie absorbée à la rupture Kv (J/cm ²) (EssaiCharpy)	Résilience KCV (MJ/m ²)	Ténacité JIc (MJ/m ²)	Facteur d'intensité de contrainte critique KIC (MPa.√m)
30°C	123.16	1.25	3.62	162.02
20°C	120.98	1.23	2.83	160.6
10°C	107.91	1.1	2.51	151.66
0°C	99.19	1.01	2.31	145.40
-10°C	92.68	0.94	2.16	140.55
-20°C	79.57	0.81	1.85	130.23
-30°C	45.78	0.44	1.06	98.78

Tableau IV.6 résultats obtenues dans différentes température

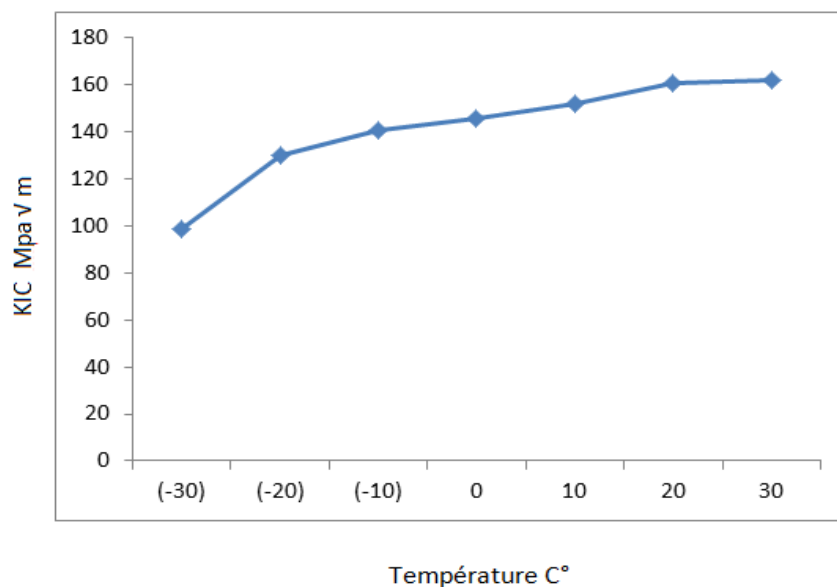


Figure IV.9 Courbe représentant KIC en fonction de la température T °c

Les résultats donnent un KIC de 98 pour l'acier X52 à -30°C.

IV.4 Effet du soudage sur la résilience du tube

Les valeurs obtenues de l'essai Charpy d'un tube sans soudure sont comparées avec les résultats des tubes obtenus par soudage hélicoïdal.

Chapitre IV

Analyse des résultats

Le tableau IV.7 donne l'énergie déterminées suites aux essais de résilience sur un acier de nuance «API 5L-X52 » prélevé de deux sources différentes, l'un destiné à la fabrication de tube sans soudure produit à AMPTA ANNABA, l'autre à la fabrication de tube soudé en spirale qui sont présentés dans l'étude [18].

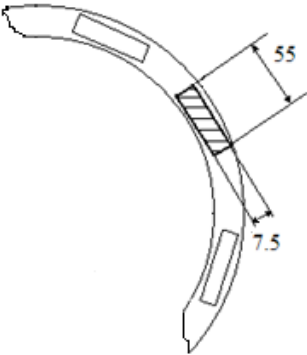
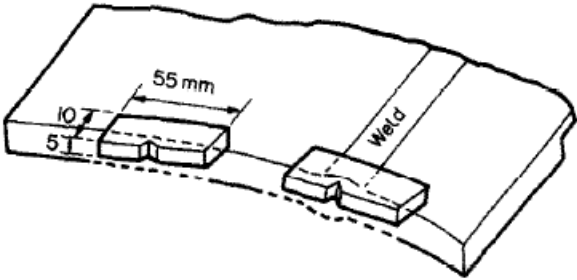
API-5L X52 d'un «tube sans soudure »			Localisation de l'échantillon 1	
Température T °c	So (cm2)	Kv (J/cm2)	Tube sans soudure	
30	0,6	123,16		
20	0,6	120,98		
10	0,6	107,91		
0	0,6	99,19		
-10	0,6	92,68		
-20	0,6	79,68		
-30	0,6	45,78		
API-5L X52 d'un « tube soudé en spirale »				
T °c	So (cm2)	Kv (J/cm2)		Tube soudé en spirale
		zone affectée par la soudure	Métal de base (non affectée)	
10	0.4	67	176	
0	0.4	62	162	
-10	0.4	58	154	
-20	0.4	54	148	
-30	0.4	50	125	
-40	0.4	45	110	
-50	0.4	40	100	
-60	0.4	32	85	
-70	0.4	26	72	
-80	0.4	21	58	

Tableau IV.7 : Comparaison entre les résultats d'essai Charpy d'un tube sans soudure et un tube soudé

IV.4.1 Métal de base-Métal de base

Les résultats des essais de résilience au niveau du métal de base ont été comparés. En fonction des zones affectées ou non par la soudure. Les éprouvettes prélevées du métal de base non affectées par le soudage ont donné des valeurs supérieures à celles obtenus sur les éprouvettes prise dans le métal de base du tube sans soudure.

IV.4.2 Métal de base-ZAT

Les résultats des essais de résilience au niveau du métal de base ont été comparés. En fonction des zones affectées ou non par la soudure. Les éprouvettes prises dans la zone affectée par la soudure ont donné des valeurs très inférieure à celles obtenus sur les éprouvettes prise dans le métal de base du tube sans soudure jusqu'à une température de -30°C

La figure IV.10 montre l'évolution de Kv en fonction de la température pour les tubes sans soudure et les tube soudés en spirale de l'étude [18]

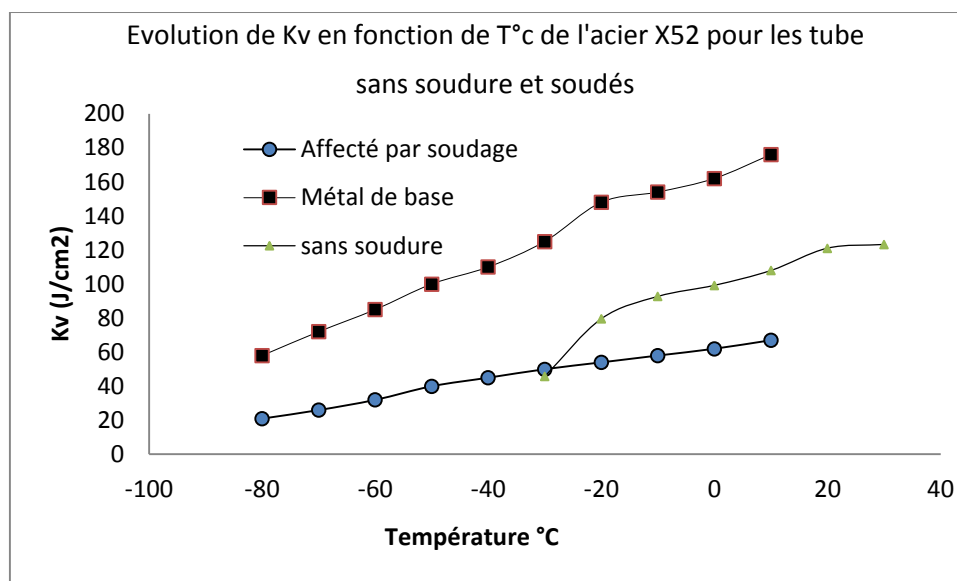


Figure IV.10 évolution de Kv en fonction de T°C

IV.5 Conclusion

Ce chapitre présente les résultats des essais et les différents comportements observés.

Dans sa première partie, les résultats des essais de tractions montrent pratiquement le même comportement des courbes contraintes-déformations sur une série de 17 essais. La courbe rationnelle ou bien réelle est déterminée sur la base de la moyenne statistique de ces essais.

Une analyse comparative a été faite avec d'autres nuances d'aciers pour pipeline, à travers les courbes conventionnelles et les courbes rationnelles. La méthode de détermination des courbes rationnelles y a été démontrée et développée.

Les effets du soudage sur les propriétés mécaniques ont été démontrés par comparaison avec les résultats obtenus sur des éprouvettes prélevées de tubes soudés en spirale en respectant avec les zones non affectées par la température de soudage et les zones non affectées c'est à dire le métal de base. .

Dans la deuxième partie du chapitre, le comportement à la rupture fragile de l'acier X52 est exposé : grâce à l'essai Charpy, l'énergie de rupture a pu être déterminée à différentes températures allant de 30°C à -30°C ainsi que les critères énergétiques pour obtenir la ténacité à partir de cet essai. Les principaux modèles de corrélation KIC – Kv disponibles dans la littérature sont présentés ainsi que les résultats obtenus à différentes températures. Là aussi, les résultats obtenus dans les zones affectées par la soudure ont été comparés au métal de base du tube soudé en spirale ainsi qu'avec celui des tubes sans soudure.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le présent travail a permis de mettre en évidence l'importance des essais mécanique et leurs rôles dans la vérification des caractéristiques mécaniques et les interprétations des résultats qui permettent de déterminer la conformité du produit aux normes et spécifications de fabrication

Nous avons débuté par une étude bibliographique sur les tubes en aciers pour la fabrication de pipeline et ainsi que le rôle du contrôle destructif permettant de vérifier les propriétés mécaniques du matériau et les caractéristiques de fragilisation du matériau.

Pour mieux cerner d'éventuelles anomalies les étapes du procédé de fabrication du tube sans soudure sont présentées dans l'ordre ainsi que toutes les opérations de contrôle qualité du produit.

Les résultats des essais de tractions montrent pratiquement le même comportement des courbes contraintes-déformations sur une série de 17 essais. La courbe rationnelle ou bien réelle est déterminée sur la base de la moyenne statistique de ces essais.

L'analyse comparative réalisée avec des aciers pour les tubes pipeline de nuance N80 et P110 indique que l'acier X52, bien que moins résistant, montre une meilleure plasticité, C'est une logique qui prouve que plus l'acier est résistant moins l'allongement est long. La valeur de la limite élastique a doublé pour l'acier P110 et elle est 1,5 fois supérieure chez l'acier N80

Les effets du soudage sur les propriétés mécaniques de l'acier X52 ont été démontrés par comparaison avec les résultats obtenus sur des éprouvettes prélevées de tubes soudés en spirale en respectant avec les zones non affectées par la température de soudage et les zones non affectées c'est à dire le métal de base. .

Le comportement à la rupture fragile de l'acier X52 est exposé : grâce à l'essai Charpy, l'énergie de rupture a pu être déterminée à différentes températures allant de 30°C à -30°C ainsi que les critères énergétiques pour déterminer la ténacité à partir de cet essai, les principaux modèles de corrélation KIC – Kv disponibles dans la littérature sont présentés ainsi que les résultats obtenus à différentes températures.

L'énergie de rupture Kv a été déterminée en utilisant l'essai Charpy. 21 éprouvettes normalisées selon la norme API 5L avec une entaille en V ont permis de déterminer la transition du matériau de la zone ductile à la zone fragile à basses températures allant de -30°C à +30°C.

Les valeurs du Facteur d'Intensité de Contraintes critique KIC sont obtenues en appliquant le model de Sailors et Cortenequation. Les résultats donnent un facteur d'intensité des contraintes KIC de 98(MPa.√m) pour l'acier X52 à une température de -30°C.

Dans cette étude nous avons essayé d'exploiter les résultats des essais mécanique au maximum afin d'approfondir nos connaissances sur le comportement et les caractéristiques mécanique ainsi que les facteurs de fragilisation de l'acier API-5L X52.

REFERENCES

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIE & WEBOGRAPHIE

[1] Griffith, A. A. (1920). The phenomena of rupture and flow in solids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of Londres*, 221:163–198.

[2] Sedrini Abdelkader, Etude sur le comportement en endommagements des aciers API 5X65 du model weibull, ingénieur mécanique, université Tlemcen, 2007

[3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Pipeline_%28transport_par_canalisation%29

[4]- Pierre HOUSSIN, Georges WESSELS, « PÉTROLE - Le transport », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 15 mai 2016. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/petrole-le-transport/>

[5]DeirdreFulton.<http://www.nationofchange.org/2015/wpcontent/uploads/Pipeline032415.jpeg>
consultée le 29/05/2016

[6] Audrius Meskauskas . Pipeline device.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pipeline_device.jpg?uselang=fr. consultée le 29/05/2016

[7] SamuelBaile.https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Major_russian_gas_pipelines_to_europe.png?uselang=fr
consultée le 29/05/2016

[8] http://handytube.com/sites/default/files/Seamless_vs_Welded_French.

[9] https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_de_traction

[10] <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap4/site/html/3.html>

[11] rocdacier. <http://www.rocdacier.com/ressource.n.165/essai-de-resilience-resistance-au-choc-.html>.consultée le 29/05/2016

[12] Naceur Mohamed Reda, Induction et présentation de la TSS, Réf. NMR08, 2011

[13] <http://nte.mines-albi.fr/SciMat/co/SM6uc1-1.html>

[14] Dominique F. Essais mécaniques et lois de comportement, paris, hermès science publications, 2001, P : 216- 217, 225-226.

[15] Pluinage G. Un siècle d'essai Charpy de la résistance vive à la mécanique de rupture d'entaille, Mécanique & Industries 4, 2003, P : 197-212.

[16] Barthélémy B. Notions pratiques de mécanique de la rupture, editions eyrolles 61, 1980, P : 26-28

[17] MOUSTABCHIR H., EL-HAKIMI A., HARIRI S., HADJ-MELIANI M., ZARI Z. Étude sous pression de tuyaux de transport de gaz, en présence de défauts de type, entaille, 18ème Congrès Français de Mécanique Grenoble, 2007, août 27-31

[18] Y. F. AL-OBAID Faculty of Technological Studies, *Engineering Fracture Mechanics Vol. 43, No. 3, pp. 461-469, 1992*

Annexes

Annexe A1 : Résumé des normes API 5CT & 5L chez AMPTA Annaba

RESUME DES NORMES API 5CT & 5L

CARACTERISTIQUES	API CASING				API LINE-PIPE		
ACIER	H40 - J55 - N80 - L80 C90 - C95 - T95 - P110 - Q125				GrB - X42 à X70 Diamètre : 10,3 à 2032 mm Epaisseur : 1,70 à 39,70 mm		
Composition chimique	Suivant API et Exigences Client						
Caractéristiques physiques	Nuance	E mini	E maxi	R mini	Nuance	E (Mpsa)	R (Mpsa)
	J55	379	552	517	GrB	241	413
	K55	379	552	655	X42	289	413
	N80	552	758	689	X52	358	455
	P110	758	965	862	X60	413	517
Pression d'épreuve	77 à 703 bars				48 à 207 bars		
Tolérance sur Diamètre extérieur	Diamètre 101,6 +/- 0,79 mm				Corps du tube Diam. 48 mm + 0,41 mm - 0,79 mm		
	Diamètre 114,3 1 % - 0,50 %				60,3 Diam. 457 +/- 0,75 mm Diam. 508 mm +/- 1 %		
Tolérance sur diamètre extérieur	Diam. 219,1 d - 3,18 mm 244,5 diam. 339,7 d - 3,97 mm Diam. 406,0 d - 4,79 mm				Extémité tube Diam. 273,1 mm + 1,59 mm - 0,40 mm Diam. 323,8 mm + 2,38 mm - 0,79 mm		
					S - R		
Tolérance sur épaisseur	12,50 %				Diam. 73,0 mm + 15 % - 12,50 % + 15 % Diam. 88,9 mm - 12,50 % + 15 % 106,6 Diam. 457 - 12,50 % + 17,50 % Diam. 508 mm - 10 %		
Extraction	NON SPECIFIEE				NON SPECIFIEE		
Ovalisation	NON SPECIFIEE				Pour Diam. 508 mm 1 % diam. sur 101,6 mm		
Masse	+ 6,5 % - - 3,5 %				+ 10 % - - 3,5 %		
longueur	Range 1 : 4,27 à 7,62 m Range 2 : 7,62 à 10,36 m Range 3 : 10,36 à 14,63 m				90 % 8 m L 13,72 m 10 % 4,27 à 8 m Moyenne totale minimale : 10,67 m		
Profondeur	5 % de l'épaisseur nominale				12,5 % de l'épaisseur nominale		
Etat de surface	Pas de pailles, fissures et défauts 5 % de l'épais. nominale				Pas d'enfoncement, dédoubleures et défauts 12,5 % de l'épaisseur nominale		

GRADES D'ACIER

GROUPES	GRADES	E. mini N/mm ²	R. mini N/mm ²	UTILISATION	NORMES
LINE-PIPE	A25	172	310	TRANSPORT GAZ & PETROLE	API 5L
	Grade A	207	331		
	Grade B	241	413		
	X42	289	413		
	X46	317	434		
	X52	358	455		
	X60	413	517		
GROUPE 1	H40	276	414	CASINGS & TUBINGS	API 5CT
	J55	379	517		
	K55	379	655		
	N80	552	758		
	L80	552	655		
GROUPE 2	C90	620	690	CASINGS & TUBINGS	API 5CT
	C95	655	724		
	T95	655	724		
GROUPE 3	P110	758	862	CASTING & TUB	API 5CT
GROUPE 4	Q125	862	931	CASTING & TUB	API 5CT
Tubes Tarif & Divers	TU37A	215	360	TUBES A USAGE COURANT	AFNOR A : 49111 A : 49112 A : 49115
	TU37B	220	360		
	TU42B	235	410		
	TU34.1	184	320		

