

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة غرداية
Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الآلية و الكهرومكانيك
Département d'automatique et électromécanique

Memoire
Pour l'obtention du diplôme de mester

Domaine : sciences et technologies
Filière : électromécanique
Spécialité : maintenance industriel

Theme :
Etude du comportement mécanique du pipeline de
Catégorie API5 L X70
Fabrique par "ALFAPIPE Ghardaia"

Soutenu publiquement le 02/6/2022

Par
BOUMIDOUNA ABD ELKARIM
DAOUDI NOUREDDINE

Devant le jury composé de:

Bendaoui Messaoud	MCB	Univ.Ghardaïa	Encadreur
Mouats Sofiane	MAA	Univ.Ghardaïa	examineur
Akermi Faouzi	MAA	Univ.Ghardaïa	examineur

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Je remercie Dieu Tout-Puissant de nous avoir appris ce que nous ne savions pas Et s'il nous donne la santé, la force et la patience pour faire cet humble travail.

Nous remercions mon encadrant Dr : BENDAOUI MESSAOUD.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres famille pour les soutenir et les aider Nous tenons à remercier les personnes qui nous ont aidés à le réaliser travail.

Nous tenons également à remercier toute l'équipe d'ALFAPIPE GARDAIA et Professionnels responsables de nos formation Merci à tous.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui nous ont aidés faire ce travail.

Dédicaces

Louange à Dieu qui a illuminé nos chemins et nous a inondés d'innombrables bénédictions.

Et les prières et la paix soient sur le Prophète et sa famille et ses compagnons
Dieu soit loué, qui m'a donné la volonté et la force de valoriser cette étape de notre cheminement d'étude par un mémoire, fruit de l'effort et de la réussite.

Je dédie ce modeste travail à celui à qui je dois ma vie et ma Réussite Mes très chers parents qui m'ont donné la vie, l'espoir, l'amour et m'ont soutenu durant mes études.

Que dieu m'aide à leur rendre un peu de tout ce qu'ils ont fait pour moi.

A mes très chers frères et sœurs pour leurs aides et encouragements et pour leur soutien morale A toute la famille Boumidouna

Et A mes amis avec lesquelles j'ai partagé les meilleurs moments de ma vie Et à mes professeurs distingués.

Et à tous les autres qui étaient là pour moi et à tous les autres que je les connais bien.

Boumidouna Abdelkarim

Dédicaces

Tout d'abord, nous voudrions remercier Dieu Tout-Puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir Ce modeste travail

Je dédie ce modeste travail

A Ma très chère Mère qui a été toujours à mes côtés.

A Mon Père qui m'a toujours guidé et soutenu.

A tous mes frères et sœur pour leur soutien morale A mes amis avec lesquelles j'ai partagé les meilleurs moments de ma vie et mes amies qui ont toujours encouragé ;

A mes amis de la résidence universitaire Ghardaïa : Zakaria guettaf,

Abdel Rahman daoudi Et surtout à mon binôme Boumidouna Abd elkarim A toutes la famille Daoudi.

Daoudi Nouredine

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est d'étudier les propriétés mécaniques des tuyaux API 5 L X70 fabriqués par ALFAPIPE Ghardaïa et ses collaborateurs pour le transport d'hydrocarbures. Diverses techniques mécaniques ont été utilisées, notamment des essais de traction, des essais de dureté et des essais de résilience à 0 °C sur différentes zones de soudage. L'étude a été complétée par une analyse chimique.

Les résultats mécaniques montrent que l'acier étudié présente de bonnes propriétés de résistance, avec une limite d'élasticité R0.5 égale à 530 MPa, une résistance mécanique Rm égale à 634 MPa et un allongement pouvant aller jusqu'à 37 %. La différence de dureté respecte la norme API 5L et ne dépasse pas 15 %. Les essais de résilience montrent que ce matériau a une bonne résistance au choc, qui augmente proportionnellement avec l'augmentation de la température.

Ces résultats répondent aux exigences essentielles des conditions de travail du pipeline utilisé pour le transport de gaz et sont conformes à la norme API5L.

En conclusion, les tuyaux API 5 L X70 fabriqués par ALFAPIPE Ghardaïa et ses collaborateurs présentent de bonnes propriétés mécaniques et sont adaptés au transport d'hydrocarbures.

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 Paramètre de contrôle visuel.....	23
--	----

Chapitre II :

Tableau II.1 : Aciers ordinaires ou aciers au carbone allie.....	33
---	----

Tableau II.2 : Caractéristiques mécanique de l'acier X70 selon l'API5L.....	34
--	----

Tableau II.3 : Composition chimique de l'acier X70.....	35
--	----

Chapitre III :

Tableau III.1 : Caractéristiques chimiques	49
---	----

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Aux conditions exigé de l'essai de traction par la norme API 5L.....	51
--	----

Tableau IV.2 : Résultats Essai de traction.....	52
--	----

Tableau IV.3 : Résultats expérimentaux de l'essai dureté Vickers (HV 10).....	53
--	----

Tableau IV.4 : L'essai de dureté par la norme API 5L.....	54
--	----

Tableau IV.5 : Résultats Essai de Résilience.....	55
--	----

Tableau IV.6 : La composition chimique de l'acier API 5L X70.....	57
--	----

Listes des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Entreprise ALFAPIPE-GHARDAIA-.....	13
Figure I.2 : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA.....	13
Figure I.3 : Les bandes.....	17
Figure I.4 : fil.....	17
Figure I.5 : flux.....	17
Figure I.6 : Machine de préparation de flux.....	18
Figure I.7 : Machine à souder.....	18
Figure I.8 : Machine de préparation de bobine.....	18
Figure I.9 : Le pont roulant.....	19
Figure I.10 : Processus le Rabotage.....	19
Figure I.11 : Processus dressage.....	19
Figure I.12 : Processus Cisailage.....	20
Figure I.13 : Soudage intérieure.....	20
Figure I.14: Processus Oxycoupage de tube.....	20
Figure I.15 : La zone Oxycoupage de tube.....	21
Figure I.16 : La zone nettoyage de tube.....	21
Figure I.17 : La zone contrôle visuel.....	22
Figure I.18 : Chambre à rayon X1.....	24
Figure I.19 : Film Le contrôle radiographique.....	24
Figure I.20 : Cabine contrôle Hydrostatique.....	25
Figure I.21 : La zone contrôle.....	25
Figure I.22 : Machine ultrasons.....	25
Figure I.23 : Chambre à rayon X1.....	26

Chapitre II :

Chapitre III :

Figure III.1 : Machine de tournage.....	36
Figure III.2 : Scie électrique.....	37
Figure III.3 : Plaque totalement en métal de base.....	37
Figure III.4 : TS traction sur soudure.....	39
Figure III.5 : TN traction normale.....	39
Figure III.6 : Éprouvette de traction normalisée selon L'API 5L.....	40
Figure III.7 : Machine essaie de traction.....	40
Figure III.8 : Machine pour essaie de traction.....	41
Figure III.9 : machine de dureté (Type Vickers).....	42
Figure III.10 : Eprouvettes de durete.....	42
Figure III.11 : Eprouvettes de dureté.....	43
Figure III.12 : Variation de dureté Vickers dans les trois zones.....	43
Figure III.13 : Appareil mesuré la dureté HV.....	44
Figure III.14 : Machine essai de résilience.....	45
Figure III.15 : Éprouvette de résilience.....	46
Figure III.16 : Principe de l'essai de résilienceet géométrie Sché.ma.....	47

Figure III.17 : Machine d'analyse chimique.....	48
Figure III.18 : Machine d'analyse chimique.....	49

Chapitre IV :

Figure IV.1 : Graphe de l'essai de traction	52
Figure IV.2 : Résultats expérimentaux de l'essai dureté Vickers (HV 10).....	53
Figure IV.3 : Graphe de l'essai de dureté pour le métal de base.....	54
Figure IV.4 : Éprouvette Avant rupture	55
Figure IV.5 : Éprouvette après rupture.....	55
Figure IV.6 : Graphe de l'essai de résilience pour le métal de bas.....	56

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
DEDICACES 1	2
DEDICACES 2	3
RÉSUME	4
LISTE DES TABLEAUX	5
LISTE DES FIGURES	6
Introduction Générale	11
CHAPITRE I : FICHE TECHNIQUE DE L'ENTREPRISE ALFAPIPE	
I : Présentation du lieu de stage	12
I.1.Historique :	12
I.1.2 Domaines d'application	14
I.2 Plan de l'usine :	14
I.2.1 Implantation de d'efférentes zones de l'usine	14
I.2.2 Organigramme de l'usine	16
I.3. Procès de fabrication :	17
I. 3.1 Les procédés, les étapes de fabrication :	17
I 3.1.1 Usine de fabrication des tubes :	17
I.4.Opérations pour la fabrication du tube dans Machine à souder :	18
I 5. Contrôles visuels :	21
I.6. Contrôles radioscopique (Rayon x1) :	23
I.7 : Réparation les défauts de cordon de soudure	24
I.8. contrôle aux ultrasons :	25
I. 9. Contrôle Radiographique (Rayon X2) :	26
I.10. Contrôle finale :	26
Conclusion:	26

Chapitre II : les aciers

1. Introduction.....	27
2. Histoire Acier.....	27
3. Classification des aciers.....	28
4.Fabrication de l'acier.....	28
5. des matières premières à l'acier liquide :.....	29
5.1 Filière fonte et aciérie à l, oxygène.....	29
5.2- Filière ferrailles et four électrique.....	30
6. DE L'ACIER LIQUIDE AUX DEMI-PRODUIT.....	30
6.1. La coulée en lingots :.....	30
6.2. La coulée continue :.....	30
7. DES DEMI-PRODUITS AUX PRODUITS FINIS.....	31
7.1. Les produits plats.....	31
7.2. Les produits longs.....	31
8. Les aciers au carbone :.....	32
9. Essais utilisés pour la caractérisation :.....	33
10. Les aciers à haute limite élastique :.....	33
11. Composition chimique.....	32
12. Aciers HLE de grade X70:.....	32
13. Avantage des aciers HLE	35
Conclusion.....	35

CHAPITRE III: L'ETUDE EXPERIMENTALE REALISES ALFAPIPE

III.1. Contrôle destructive.....	36
1. Introduction.....	36
2. Prélèvement de l'échantillon:.....	37
3. Essais réalisés:.....	37
4. Essais utilisés pour la caractérisation.....	38
4.1 Essai de traction:.....	38
4.2 Essai la dureté.....	41
4.3 Essai de résilience :.....	44
4.4 Analyses chimiques:.....	47
Conclusion:.....	50

CHAPITRE IV: RESULTATS EXPERIMENTAUX

1. Introduction:.....	51
2. Propriété mécanique:.....	51
2.1 La traction:.....	51
2.2 La dureté:.....	52
2.3 La résilience:.....	55
3 . Analyse chimique:.....	56
4. Conclusion:.....	58
Conclusion générale :.....	59
Référence Bibliographies:.....	60

Introduction Générale

L'acier avec ses propriétés physiques, chimiques et mécaniques jouent un rôle important dans l'acier dans l'industrie des métaux ferreux. Tuyau en acier soudé à haute résistance Les produits laminés à chaud sont utilisés dans de nombreux domaines :

Gros tubes Transport de gaz liquéfié et d'hydrocarbures, comme moyendetransport de l'eau Agriculture dans les barrages et eau potable dans les grandes villes Sud Actuellement, le transport par pipeline représente un grand intérêt et constitue unUnélément fondamental du transport des hydrocarbures. En acier utilisé pour la fabrication Construction, on trouve l'acier API 5L X70 qui a une place très importante dans l'industrie Mécanique, et surtout pétrole.

Cet acier a fait l'objet de nos travaux, dédiés à Rechercher et caractériser ALFAPIPE GHARDAIA au niveau de l'entreprise.

Le développement industriel des tubes acier HLE doit être parfaitement maîtrisé processus de fabrication pour assurer la qualité du produit Pour mieux comprendre le comportement de cet acier, nous avons mené une étude Théorie et expérience de l'évolution et de la résistance des tuyaux en acier HLE Grade X70 API et soncomportement après le processus de soudage, où nous décrivons De nombreuses pièces sont liées à la fabrication de tuyaux en acier et aux essais destructifs livré auclient.

• Organisation du mémoire

Le présent mémoire, comprend une introduction générale, quatre chapitres, une conclusion générale. Il est structuré comme suit :

Le premier chapitre I, est consacré la présentation du lieu de stage, l'entreprise ALFAPIPE GHARDAIA.

Le chapitre II : traite généralités sur les aciers.

Le chapitre III : les tubes sont soumis à des tests mécaniques, Pour que l'on vienne, vous expliquer tout ce qui concerne des essais mécaniques (analyse chimique, dureté résilience, traction).

Le chapitre IV : Nous évaluons les résultats expérimentaux mécaniques, nous Comparez les résultats obtenus avec la norme US API 5L et les exigences clients. Enfin, nous expliquons quelques conclusions sur les résultats obtenus.

CHAPITRE I :
FICHE TECHNIQUE
DE L'ENTREPRISE ALFAPIPE

I : Présentation du lieu de stage.

I.1 : Historique

Les puits de pétrole et de gaz se trouvent à proximité de Hassi R'mel et Hassi Massoud, la tuberie spirale d'El-Hadjar (Annaba) ne peut pas seule satisfaire les gros besoins de SONATRACH en matière de transport des hydrocarbures. Il a été décidé de créer cette même unité similaire. La mise en chantier de l'unité a démarré en Avril 1974 par une allemande, et celle entrée 2^{1^{er}} en production en 1977 d'une capacité de 120000 tonnes annuelle, d'une équivalence de tube de 42 pouces de diamètre 374 km.

Les machines installées dans cette usine peuvent produire des tubes de 16 à 64 pouces de diamètre 7,92 à 15mm d'épaisseur et d'une longueur de 7 à 13m.

Les bobines sont transportées par voie ferroviaire de Annaba à Touggourt ou elles stockées dans un dépôt d'une capacité de 40000 tonnes, pour être transporté par camion SNTR jusqu'au GHARDAIA (350km).

Le transport constitue pour limiter un goulot d'étranglement qui gêne par fois les paramètres de production. [1] [9]

ALFAPIPE **Algérienne de Fabrication de Pipe**



Certifiée TUBERIE SPIRALE GHARDAIA
API Q1 et ISO 9001

BP 78 Z.I. BOUNOURA. GHARDAIA, ALGERIA Fax : (213).029.87.33.00
Email : ghardaia@alfapipe-dz.com



Figure I.1 : façade d'Entreprise ALFAPIPE-GHARDAIA-

ALFAPIPE GHARDAIA, Implantée à la zone industrielle de Bounoura à Ghardaïa, à 10 km du chef-lieu de wilaya, l'usine occupe une superficie de 230 000 m² et son effectif s'élève en moyenne à 700 employés. En production depuis 1977.

Sa spécialité est la fabrication de tubes en acier soudés en spirale (de diamètre 16 à 64 pouces, d'épaisseur 7,92 à 15 mm et d'une longueur de 7 à 13 m), adéquats à différents buts d'utilisation :

- La construction de pipelines (gazoducs et oléoducs).
- Les grands transferts d'eau entre les barrages et les agglomérations.
- Les activités des travaux publics.



Figure I.2 : Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA. [4]

I.1.2 : Domaines d'application : [9]

✓ Entendue de la spécification :

La présente spécification définit les exigences techniques concernant la fabrication, le contrôle (destructif et non destructif) et la fourniture des tubes en acier, destinées à la construction des ouvrages de transport d'hydrocarbures en service non corrosif. L'usine fabriquant les tubes devra bénéficier des certifications API Q1 et API, iso. Les tubes sont fabriqués et revêtus selon les normes internationales et spécifiquement techniques du client. Le règlement algérien de sécurité pour les canalisations de transport d'hydrocarbures.

✓ Les normes de Confiant :

En dehors des dérogations ou des exigences particulières de la présente spécification et/ou de la Commande, tous les tubes seront rigoureusement conformes aux :

API 5L -45^{ème} Edition : American Petroleum Institute Standards specification for line Pipe.

ISO 21 809 : International Organization for Standardisation for external coating pipelines.

API RP 5L : Recommended practice for internal coating pipelines.

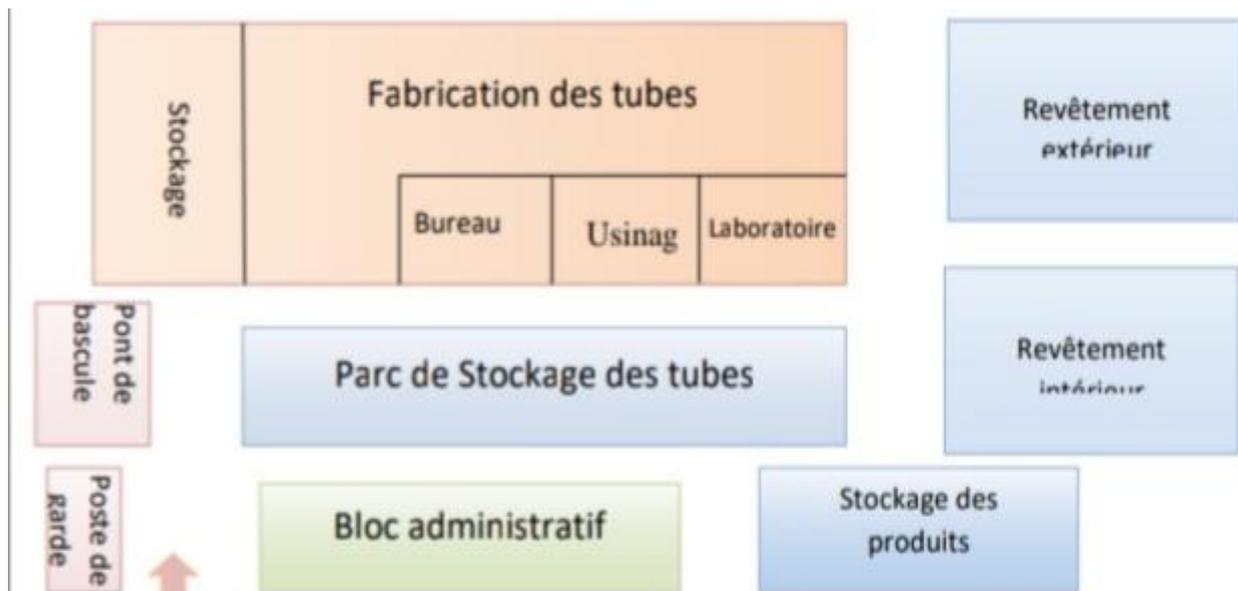
✓ ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa est certifiées :

_ API Q1 et ISO 9001 depuis janvier 2001.

_ Le pipeline fabriqué par les deux (02) unités est certifié API 5L.

I.2 : Plan de l'usine :

I.2.1 : Implantation de différentes zones de l'usine



Domaine d'activité de l'entreprise :

L'entreprise ALFA PIPE transforme les bobines en tubes spirales pour transporter le pétrole, le gaz, l'eau et tous autres liquides sous haute pression.

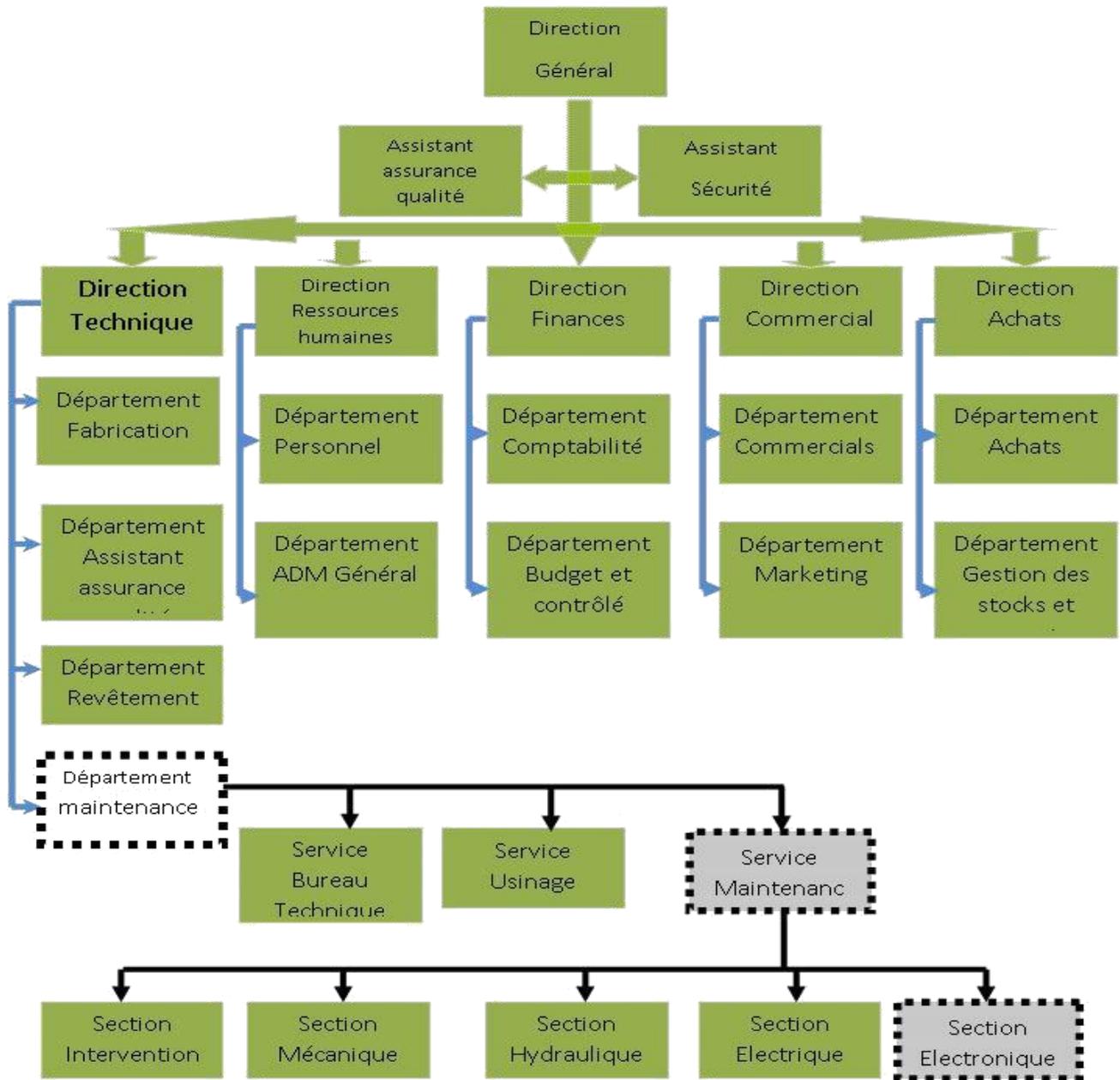
➤ Pipe-line :

- Oléoducs (transport du pétrole).
- Gazoducs (transport du gaz).

➤ Hydraulique :

- Transport d'eau.
- Infrastructure hydraulique.
- Assainissement (Ségou).
- Drainage

I.2.2 : Organigramme de l'usine



Procès de fabrication : I_3 :

I.3.1 Les procédés, les étapes de fabrication :

Le processus et l'étape de la fabrication de tube se font à travers trois des unités :

➤ I.3.1.1 Unité de fabrication des tubes :

1. Fabrication de tube : Prépare les matières premières



Figure I.3 : Les bandes



Figure I.4 : fil



Figure I.5 : flux

Tout d'abord, il est préparé de flux dans Machine de préparation de flux Pour qu'il soit chauffé sous température entre (250 C°- 350 C°) Une heure



Figure I.6 : Machine de préparation de flux

La TUBERIE spirale dans d'ALFAPIPE GHARDAIA dispose de quatre :(04) A – B – C – D machines à souder identiques anciennes et une nouvelle machine, qui permettent la réalisation de plusieurs opérations pour la fabrication du tube.



Figure I.7 : Machine à souder

I.4 : Opérations pour la fabrication du tube dans Machine à souder :

A. Les bobines sont préparées :

Par Machine de préparation de bobine, À travers divers processus jusqu'à atteindre le processus de soudage.

Cette machine est alimentée en bobines à axe horizontal par le pont roulant, la bobine ainsi placée est déroulée sur une certaine longueur pour subir plusieurs opérations.



Figure I.8 : Machine de préparation de bobine



Figure I.9 : Le pont roulant

B- Le Rabotage :

C'est une opération qui consiste à couper, avec l'oxycoupeur, la fine bande sur la machine et de raccorder le bout de la précédente bobine à la nouvelle par un soudage automatique sous flux. La durée de l'opération dure environ 30mins.



Figure I.10 : Processus de Rabotage

C- Dressage de bande :

Un train de rouleaux dresseurs assurent une parfaite planéité et contribuent au guidage de la bande.



Figure I.11 : Processus de dressage

D- Cisailage :

Des cisailles de rive permettant la mise en largeur définitive de la bande.



Figure I.12 : Processus Cisailage

E- Processus de soudage spiral :

(Soudage sous flux en poudre(SAW)) par Machine à souder Utilisation de matières premières préparées.



Figure I.13 : Soudage intérieure

F- Oxycoupage de tube :

Le tube formé est coupé à la longueur voulue par un chariot d'oxycoupage prévu à cet effet.



Figure I.14 : Processus Oxycoupage de tub



Figure I.15 : La zone Oxycoupage de tube

G- nettoyage de tube :



Figure I.16 : La zone nettoyage de tube

I.5 : Contrôles visuels :

L'examen visuel est le plus simple et le premier des contrôles devant être mise en œuvre. Il permet de déceler les défauts de formes aux autres défauts débouchant en surface des joints soudés.

L'inspection est faite sous un niveau d'éclairage d'un moins de 350 lux. L'évaluation métrologique soudée à l'arc sous flux en poudre comporte les paramètres suivants. A ce niveau, les des tubes opérations suivantes sont réalisées :

Contrôle de l'aspect visuel de la tôle et du cordon.

- Contrôle dimensionnel (longueur, diamètre, épaisseur).
- Elimination par meulage de certains types de défauts.
- Transcription de ces informations sur la carte suiveuse du tube. (Signalisation des opérations qui sont réalisé sur le tube).



Figure I.17 : La zone contrôle visuel

Tableau I.1 Paramètre de contrôle visuel

PARAMETRE	METHODE DE MESURE
Diamètre (mm)	Micromètre (ruban gradué)
Epaisseur de la paroi (mm)	DM2 (micromètre)
Longueur (mm)	Double décimètre
Rectitude (mm)	Fil à plomb et règle
Equerrage des extrémités de tube (mm)	Equerre
Effet de toit (mm)	Comparateur
Dénivellation (décalage de soudure) (mm)	Comparateur
Hauteur du cordon de soudure (mm)	Calibre d'élévation
Largeur de cordon de soudure (mm)	Règle
Angle de chanfrein (mm)	Compas de chanfrein réglable
Talon de chanfrein (mm)	Règle
Enfoncement (mm)	Règle

I.6 : Contrôles radioscopique (Rayon x1) :

Ce contrôle est basé sur l'absorption différentielle du rayonnement X1. Les différences de Rayonnement émergeant de la pièce engendrent sur le film une « image latente ». Le contrôle radiographique des soudures est effectué dans deux chambres à rayon X1. Le cordon de soudure est visualisé en totalité par radioscope. Toute fois le repérage de défaut est sanctionné par une prise de clichés.



Figure I.18 : Chambre à rayon X1



Figure I.19 : Film Le contrôle radiographique

I.7 : Réparation les défauts de cordon de soudure :

En cas de pannes : Ces défauts sont corrigés par soudage manuel, signalés en amont par le contrôle visuel et contrôle Rayon X1.

Teste Hydrostatique :

Chaque tube subit l'épreuve hydrostatique au niveau de l'installation relative à ce test (banc d'épreuve hydrostatique) avant tout test non destructif final. Les tubes sont testés à 90% de leur limite élastique selon API 5L et la spécification du client, en respectant la réglementation algérienne (DDP). Chaque tube doit être maintenu à la pression d'essai pendant au moins 15 secondes et pression de test 117 bars. Les étapes de l'épreuve sont enregistrées automatiquement à l'aide des courbes.



Figure I.20 : Cabine contrôle Hydrostatique



Figure I.21 : La zone contrôle

I.8 : contrôle aux ultrasons :

Est testé par deux palpeurs à ultra-son, disposés de part et d'autre du cordon de soudure, à une distance de 15 cm environ. Ces deux palpeurs gérés par une carte électronique, procèdent par un cycle d'émission et de réception de signaux, pour enfin signaler l'existence ou non d'un défaut de soudure.

Dans le cas où un défaut de soudure existe, un signal est envoyé par la carte électronique vers une Pompe à peinture craché sur l'endroit du défaut.



Figure I.22 : Machine ultrasons

I.9 : Contrôle Radiographique (Rayon X2) :

Ce contrôle est basé sur l'absorption différentielle du rayonnement X2.

Les différences de rayonnement émergeant de la pièce engendrent sur le film une « image latente »

Le contrôle radiographique des soudures est effectué dans deux chambres à rayon X2.

Le cordon de soudure est visualisé en totalité par radioscope. Toute fois le repérage de défaut est sanctionné par une prise de clichés.

Le processus de lecture se déroule dans CHAMBRE NOIRE.



Figure I.23 : Chambre à rayon X1

En cas de pannes : Ces défauts sont corrigés par soudage manuel, signalés en amont par contrôle Rayon X2, Ensuite, nous répétons Contrôle Radiographique (Rayon X2).

I.10 : Contrôle finale :

À ce stade, les mesures sont vérifiées (Longueur, épaisseur et diamètre...).

Conclusion :

La qualité des tubes soudés en spirale fabriqué par ALFAPIPE- GHARDAIA - est basé sur le Processus de fabrication et le bon réglage des machine par un contrôle périodique et mini eux dès la réception de la matière première (bobine) jusqu'au produit fini (tube). Le respect des procédures de Contrôles, des normes, des références et des spécifications du client a permis à ALFAPIPE GHARDAIA - de réserver sa place en tant que fournisseur potentiel dans le domaine de fabrication de canalisation soudée pour hydrocarbure du moins au niveau nation.

Chapitre II :
L'étude bibliographique
Les aciers

1 Introduction :

L'acier de par ses propriétés physiques, chimiques et mécaniques occupe une place importante dans l'industrie des métaux ferreux, d'où son utilisation dans divers domaines comme dans le transport par canalisations des hydrocarbures (Pétrole et gaz Naturel).

Il est utilisé pour la fabrication des pipelines (gazoducs et oléoducs) pour acheminer des Quantités importantes d'hydrocarbures sur de grandes distances depuis leurs gisements vers les zones de consommation et de transformation. A nos jours il existe plus d'un million de Km de réseau de pipelines en exploitation dans le monde.

Le réseau en Algérie est évalué à plus de 19599 Km pour des diamètres allant de 8 à 48 pouces (203.2 à 1219.2 mm). Pour leur efficacité ces canalisations doivent répondre des impératifs de rentabilité et de sécurité. Plus de 95% des aciers utilisés pour les pour les gazoducs sont des aciers Microalliés à haute résistance.

2. Histoire des Aciers

En 1400 avant JC, les Hittites (nouvelle Turquie) ont découvert comment fabriquer du fer et des armes en fer.

Lorsque le monde atteignit le Xe siècle av. J.-C., la plupart des civilisations anciennes à cette époque avaient accès aux techniques de fabrication du fer, et c'est ainsi que Commença l'âge du fer.

Les fours d'extraction de fer de base n'étaient pas profonds.

Vers 700 après JC, les fabricants de fer de la région de Catalogne (récemment le nord-est de l'Espagne) ont réussi à trouver la meilleure image d'un four d'extraction de fer. Ce four était connu sous le nom de Courctelane.

Les entreprises de fabrication de fer ont réussi vers 1200 après JC à chauffer, former et refroidir du fer extrait pour la production et la fabrication de fer forgé, ce qui est très similaire aux propriétés de l'acier au carbone produit à l'ère moderne car il contient une petite quantité de carbone.

À la fin du 18^e siècle, Abraham Darby et son petit-fils ont pu améliorer la technologie du coke initiée par le chef de famille. Les actions de cette famille ont conduit à la révolution industrielle qui a commencé en Grande-Bretagne pour produire de la fonte puis pour l'utiliser dans des bâtiments et des machines.

La révolution industrielle apparaît grâce à la mise au point de nouvelles méthodes de fabrication et conversion de la fonte en acier.

En 1856, le procédé Bessemer, est capable d'élaborer directement l'acier à partir de la fonte. Son amélioration par Thomas et Gilchrist permet sa généralisation.

Ces découvertes, mènent à la Fabrication en masse d'un acier de qualité (pour l'époque). Enfin, vers la seconde moitié du XIX^e siècle, Dimitri découvre les transformations polymorphes de l'acier et établit le diagramme binaire fer/carbone, faisant passer la métallurgie de l'état d'artisanat à celui de science.

L'acier:

Le fer est l'élément chimique de numéro atomique 26, de symbole Fe. Un acier est un alliage métallique constitué de carbone (dans des proportions comprises entre 0,02 % et 2 % en masse pour le carbone) et de fer.

C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés de l'acier. Il existe d'autres alliages à base de fer qui ne sont pas des aciers, comme les fontes et les ferroalliages.

L'acier est un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (de 0,008 à environ 2,14 % en masse).

La teneur en carbone a une influence considérable assez complexe sur les propriétés de l'acier, l'alliage est plutôt malléable et on parle de " fer " à très basse teneur en carbone.

Au-delà de 2,14 %, les inclusions de carbone sous forme graphite fragilisent la microstructure et on parle de fonte.

Entre ces deux valeurs, l'augmentation de la teneur en carbone a tendance à modifier la résistance mécanique.

3. Classification des aciers :

Du fait du nombre élevé d'éléments ajoutés au fer et de la gamme étendue de leur teneur, les aciers présentent un très grand nombre de nuances différentes.

On peut classer les divers types d'alliages à base de fer selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation.

L'adoption de cette dernière nous permet de recenser quatre familles d'aciers

- Les aciers au carbone d'usage général
- Les aciers de traitements thermiques, alliés ou non
- Les aciers à outils
- Les aciers inoxydables

Dans notre étude on s'est intéressé aux aciers au carbone, utilisé pour la fabrication des tubes. Bonnes caractéristiques mécaniques, l'épaisseur du pipeline peut être inchangée mais la pression interne est alors accrue et, par là même, la quantité de gaz convoyée. [11]

4. Fabrication de l'acier :

La sidérurgie du début du 21^{ème} siècle est très différente de ce qu'elle était il y a encore 40 ans grâce à un effort constant de recherche et d'innovation. Seul point commun :

les principes métallurgiques de base.

En revanche, d'importants sauts technologiques (par exemple, la coulée continue) ont radicalement transformé les procédés de fabrication ; le développement considérable de l'informatique a permis de généraliser les équipements d'automatisation et de contrôle. [6]

UN PROCESSUS DE TRANSFORMATION EN 03 ÉTAPES

1- des matières premières à l'acier liquide : ajuster la composition chimique de l'acier.

* filière «fonte» .

* filière «ferrailles».

2- de l'acier liquide aux demi-produits : solidification de l'acier et ébauches de formes deux procédés:

* coulée continue principalement.

* mais aussi coulée en lingots.

3- des demi-produits aux produits finis : mise en forme et mise à dimensions par laminage, finitions diverses avant la livraison deux familles de produits:

*Les produits plats : tôles fortes, tôles minces laminées à chaud, tôles laminées à froid

* les produits longs : barres, fils machine, ronds à tubes, profilés moyens et lourds rails.

5. des matières premières à l'acier liquide:

Cette première étape vise à combiner, selon des dosages précis, les composants chimiques de l'acier: fer et carbone (composants de base) et éventuels additifs qui vont différencier les qualités de l'acier en fonction de son utilisation future.

5.1. Filière fonte et aciérie à l, oxygène

Une succession d'opérations visant à :

Rendre le minerai assimilable par haut fourneau Le minerai brut est chargé dans Additifs (chaux, calcaire) et Carburant (poudre de coke, anthracite). Après avoir brûlé, il a la consistance du clinker poreux : c'est un minerai Panneaux de particules.

Extraire le fer de son minerai pour obtenir un mélange liquide à base de fer : la fonte L'aggloméré comme le minerai d'origine, est un mélange d'oxydes de fer et de gangue

Il est versé dans le haut-fourneau en couches alternées avec du coke. De l'air chaud (jusqu'à 1250 °C) est injecté par des tuyères en partie basse, ce qui active la réduction des oxydes de fer par le carbone de coke. Dans la partie basse, appelée creuset, on obtient.

La fonte liquide qui contient :

94 à 96 % de fer,

* 3 à 5 % de carbone (reste de coke non brûlé).

* 1 à 2 % d'éléments non ferreux (soufre, silicium, phosphore, etc.) contenus dans les matières enfournées.

Une partie du coke peut être remplacée par du charbon pulvérisé injecté au niveau des tuyères du haut-fourneau.

La gangue liquide est séparée de la fonte en raison de sa petite densité, et constitue un sous-produit de valeur : le laitier de haut-fourneau. La fonte liquide récupérée en fond de haut fourneau est emmenée à l'aciérie dans une camionnette. Éliminer les éléments indésirables de la fonte afin d'obtenir l'acier à l'état liquide.

La conversion de la fonte en acier s'effectue dans une cornue géante, le convertisseur. Versez de la fonte brute liquide dans un convertisseur pour un montant de Chaux et déchets.

Respirez de l'oxygène et brûlez les éléments presque complètement indésirables (carbone, silicium, phosphore, etc.).

Idem pour les oxydes Le laitier formé est fixé par la chaux et forme le laitier évacué souligné.

Fer presque pur.

Cette combustion fait augmenter la température du bain De 1250°C (fonte liquide) à plus de 1600°C (acier liquide)

Ajuster la composition chimique de l'acier pour lui donner sa pureté optimale Outil de ces ultimes opérations : le four de métallurgie secondaire. Les réactions chimiques ont lieu sous vide ou sous atmosphère contrôlée, pour tout ou partie des opérations :

* Ajouter des éléments d'alliage ;

* Divers traitements pour améliorer la pureté et la qualité Métaux (dégazage, homogénéisation, etc.).

5.2. Filière ferrailles et four électrique:

Matière première : l'acier.

Produit fini : l'acier...

Un processus court qui consiste à:

Préparer les ferrailles : tri, calibrage, broyage...

* du recyclage sélectif de l'acier contenu dans les biens en fin de vie (véhicules, bâtiments...) et les déchets ménagers.

* des chutes d'acier ou de fonte récupérées chez les sidérurgistes ou les transformateurs.

Fondre la matière première.

Des ferrailles de choix et des additions de métaux divers sont fondues dans un four par des arcs électriques puissants qui jaillissent entre des électrodes (3 en général).

Ajuster la composition chimique de l'acier pour lui donner sa pureté optimale.

La «matière première» a déjà une composition très élaborée, mais il faut le plus souvent modifier celle-ci pour adapter l'acier à sa nouvelle destination.

Les opérations se déroulent selon les mêmes modalités que pour les aciers élaborés à l'oxygène.

6. DE L'ACIER LIQUIDE AUX DEMI-PRODUIT

A la fin de l'opération d'élaboration de l'acier (acier «à l'oxygène» ou acier «électrique»), celui-ci est recueilli à l'état liquide dans une poche métallique garnie de réfractaires et transporté ainsi jusqu'au lieu de coulée.

6.1. La coulée en lingots :

L'acier est coulé et solidifié dans des moules en fonte : les lingotières.

Une fois la solidification terminée, les lingots sont démoulés.

Après un réchauffage à 1200 °C, ils sont écrasés dans un gros laminoir pour être transformés en:

Brames, ébauches de produits plats (slabbing) .•

• Blooms, futurs produits longs (blooming).

Ils peuvent aussi être directement livrés au client, forgeron par exemple.

–Lingots :

Masse : en général, entre 3 et 40 tonnes. Mais elle peut descendre, pour certaines pièces, jusqu'à 400 ou 500 kg, ou au contraire monter jusqu'à plusieurs centaines de tonnes (grosses pièces de forge).

Longueur : environ 2 mètres

6.2. La coulée continue

Ce procédé permet d'obtenir directement les demi-produits sans l'étape de laminage, blooming ou slabbing, qui suit la coulée en lingots.

La coulée continue a supplanté la coulée classique en lingots en raison des gains de matière et de productivité générés.

En 2011, 95 % de l'acier brut produit dans le monde a été coulé en continu Principe L'acier liquide est coulé dans une lingotière en cuivre de section Carrée, ronde ou rectangulaire selon le demi-produit fabriqué.

Le métal commence à former une Peau solide dans la lingotière énergiquement refroidie à l'eau. Tiré vers le bas par un jeu de rouleaux, le produit achève de se solidifier.

A la base de l'installation, on extrait une barre solide, qui est découpée en tronçons à la longueur désirée. Les demi-produits sont réchauffés dans des fours avant de passer à l'étape suivante (laminage).

7. DES DEMI-PRODUITS AUX PRODUITS FINIS

Cette transformation consiste principalement aux minéraux demi-produits, c'est-à-dire étirer et écraser le métal pour lui donner les dimensions et formes souhaitées

7.1 Les produits plats

- Plaque, généralement plus épaisse que 10 mm. Ils sont utilisés pour produire des biens d'équipement, navires, plates-formes offshore, pipelines Tuyaux, mâts d'éoliennes. Leurs largeurs sont généralement différentes entre 2,5 et 5 mètres ; leur épaisseur commune est 15 et 25 millimètres.
- Épaisseur de la plaque chauffante, de la feuille ou du rouleau Entre 1 et 25 millimètres. Ils sont principalement utilisés pour la production biens d'équipement chaudronnerie, énergie), mais aussi Biens de consommation tels que jantes ou Pièces de châssis automobiles, bouteilles de gaz Marchandises domestiques, boule Roulante
- Les produits plats laminés à froid (épaisseur inférieure à 3 mm), éventuellement revêtus, disponibles sous la forme de feuilles ou de bobines. Ils ont de très nombreuses utilisations, particulièrement pour la fabrication de biens de consommation comme l'automobile, le bâtiment, l'électroménager, les emballages métalliques...

7.2. Les produits longs

Il existe plusieurs types de produits longs : Rails, poutres, palplanches, fils, ronds Béton, Bar Marchand. Ceux-ci incluent une Large gamme de produits de petites sections : profilés Rondes, carrées, hexagonales ; barres plates ; profils en "T" et en "U", angle etc...

Les produits longs sont utilisés dans tous les secteurs industriels, mais particulièrement dans la construction métallique et dans l'industrie mécanique.

Le laminage

Le laminage s'effectue d'abord à chaud, entre 800 et 1200 °C. Certains produits plats subissent ensuite un amincissement complémentaire, effectué par laminage à froid.

Laminage à chaud

Un principe simple : conduire et broyer la fonte chaude (lingots, produits semi-finis issus du laminage ou de la coulée continue) entre deux Un cylindre qui tourne dans

Le sens opposé. Cylindre lisse Pour produits plats, rainures pour produits longs. En répétant l'opération plusieurs fois, on obtient un produit maigrir (ou maigrir) Et Allongez-vous de plus en plus jusqu'à la forme souhaitée.

Exemple : à partir d'une brame de 10 m de long, 25 cm d'épaisseur et 2 m de large, on obtient une bobine de tôle de plus d'1 km de long et de 2 mm d'épaisseur.

Après le laminage à chaud, les produits peuvent faire l'objet d'un parachèvement comme: traitement thermique (afin d'homogénéiser leurs caractéristiques mécaniques), planage, dressage, découpage, conditionnement, etc.

• Laminage à froid

Plus de la moitié des tôles laminées à chaud sont ensuite laminées à froid pour en réduire encore l'épaisseur.

Transformation finale

Opérations de recuit pour conférer des propriétés aux métaux Utilisation souhaitée (surtout emboutissabilité). • Un revêtement éventuel pour protéger le métal des Oxydation : Zinc (tôle galvanisée) ou étain (fer blanc). Ces feuilles enduites peuvent également être peintes ou plastifiées.

Résultats:

De meilleurs produits, de qualité mieux maîtrisée, *

*De nouvelles qualifications, de nouveaux métiers dans les usines : l'effort physique disparaît, tandis que se multiplient les tâches d'opérateurs aux compétences techniques élevées, placés aux commandes d'ensembles automatisés complexes,

* une meilleure gestion des flux de produits et des stocks pour livrer les clients juste temps,

* une empreinte environnementale en constante diminution

8. Les aciers au carbone: [11]

L'acier au carbone est l'acier à usage général standard, parfois Indûment appelé acier au carbone.

Ils sont utilisés tels quels sans autre traitement, Elle représente environ 80% de la production d'acier (tableau II.1). Outre le carbone, ces aciers Contiennent des éléments supplémentaires et des impuretés, dont la présence est causée par leur motif Rendement : Manganèse (1,2 %), Silicium (0,6 %), Soufre (% 0,06) Phosphore (0,06 %). Ceux-là Les pourcentages indiquent la teneur limite décès éléments dans ces aciers.

Bien qu'on puisse les obtenir avec des propriétés mécaniques variées, les aciers ordinaires ne répondent pas à toutes les exigences d'utilisation.

Les principales propriétés des aciers au carbone susceptibles d'être améliorées sont les suivantes :

Tableau II.1 Aciers ordinaires ou aciers au carbone non alliés

Nuance	Pourcentage de carbone(C)	Résistance R_m (Mpa) Etat recuit	Emplois
Extra-doux	$C < 0.15$	330-420	Tôles pour carrosserie, feuillards, quincaillerie Pièces de forge
Doux	$0.15 < C < 0.20$	370-460	Charpente métalliques, profiles, construction mécaniques, courante, boulons, fils ordinaire
Demi-doux	$0.20 < C < 0.30$	480-550	Pièces de machines pour application mécaniques Pièces ou bâtis moulés, pièces forgées.
Demi-dur	$0.30 < C < 0.40$	550-650	Petites outillage, éléments de machines agricoles, organe de transmission
Dur	$0.40 < C < 0.60$	650-750	Pièces d'outillage d'armement, glissières, rails et bandages, ressorts, coutelleries, pièce moulées et traités
Extra-dur	$0.60 < C$	< 750	Outils d'usinage et découpe, câbles, ressort

- La trempabilité ;
- La soudabilité ;
- La tenue à chaud ;
- La résistance à l'usure et à la corrosion

9. Essais utilisés pour la caractérisation :

La démarche expérimentale se concentre sur Caractérisation du comportement mécanique et à la rupture Acier API 5L X70 pour le transport de gaz.

Nous Commençons par une étude générale des propriétés Les propriétés mécaniques et microstructurales de cet acier, suivies de Description des échantillons et montage expérimental Permettre aux échantillons d'être testés Norme d'étirement.

Études

Charges différentes, fournir une vérification numérique. d'élasticité et de dureté également été produit. Enfin, le test de pliage, ce qui suit.

10. Les aciers à haute limite élastique

Les aciers faiblement alliés à haute limite élastique (HSLA : High Strength Low Alloy) sont un groupe d'aciers à faible teneur en carbone qui utilisent un peu d'éléments d'alliage pour atteindre les limites d'élasticité plus supérieures à 275 MPa en état laminé ou normalisé.

Ces aciers ont des meilleures propriétés mécaniques et améliorent parfois la résistance à la corrosion que les aciers au carbone graphitelamellaire.

D'ailleurs, la haute limite élastique des aciers HSLA peut être obtenue à basse teneur en carbone, la soudabilité des aciers HSLA est comparable ou meilleur à celui des aciers doux.

11. Composition chimique:

L'acier à haute limite d'élasticité (HLE) est un acier contenant du niobium, du vanadium et du titane. Les autres éléments majeurs qui entrent dans la composition chimique de ces aciers sont:

Carbone, Manganèse, Aluminium, Silicium et Molybdène.

Ils sont également communément connus sous le nom des aciers à dispersoïdes relativement aux éléments formant des phases d'insertion stable (Nb, V, Ti).

Les principaux constituants structuraux de ces aciers sont : la ferrite, la perlite, et les phases secondaires qui des carbures, des nitrures et des carbonitrures des éléments dispersives, Ils sont également communément connus sous le nom des aciers à dispersoïdes relativement aux éléments formant des phases d'insertion stable (Nb, V, Ti). Les principaux constituants structuraux de ces aciers sont : la ferrite, la perlite, et les phases secondaires qui des carbures, des nitrures et des carbonitrures des éléments dispersives.

12. Aciers HLE de grade X70 :

Le développement du transport longue distance à grand volume Hydrocarbures nécessaires, dès la première utilisation, types gros diamètre, en pression plus élevée. pour éviter d'atteindre des épaisseurs difficiles à souder et à fabriquer économiser de l'acier, des nouvelles nuances à caractéristiques mécaniques sont améliorées. C'est ainsi qu'on a vu apparaître les grades X60, X65, X70, X80, X100 et même X120.

Propriétés mécanique :

Tableau II.2 Caractéristiques mécanique de l'acier X70 selon l'API5L

Caractéristiques API5L	B (mm)	Re (MPa)	Rm (MPa)	A(%)	Re/Rm
X70	5-25	485-605	570-605	≥ 18	0.90

Avec :

* B : Epaisseur

- Re : la limite d'élasticité.
- Rm : la résistance à la traction.
- A% : le pourcentage d'allongement après rupture

La composition chimique de l'acier HLE de grade X70 :

Elle est obtenue par l'analyse par spectrométrie (mesure d'onde d'élément L'acier X70 contient une faible teneur de carbone (0.085).

La composition chimique est détaillée au tableau suivant :

Tableau II.3 : Composition chimique de l'acier X70

Elément	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Valeur	0.085	0.321	1.52	0.002	0.006	0.033	0.018
Elément	Mo	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V
Valeur	0.003	0.038	0.003	0.013	0.053	0.007	0.063
Elément	W	Sn	B	Fe	V+ Nb	S+D	C eq
Valeur	0.003	0.604	0.001	97.8	/	0.0073	0.36

13 Avantage des aciers HLE :

Du fait de leur très faible teneur en carbone, ils associent une soudabilité améliorée à une bonne formabilité, leur Les propriétés mécaniques facilitent la mise en forme sur les presses et les lignes de production automatisées.

* Ils se caractérisent de plus par une bonne tenue à la fatigue et à la résistance au choc.

* Grâce à leur limite élastique élevée (Re), ils sont particulièrement adaptés Lorsqu'une réduction de poids et recherchée, c'est pourquoi ces aciers s'utilisent Fréquemment en remplacement des aciers de construction.

Conclusion :

Les caractéristiques mécaniques de l'acier API 5 L X70 selon l'exigence des clients sont présentées.

Les différents essais de comportement en traction, la microstructure, la dureté, la résilience et la résistance au pliage montrent quelles propriétés mécaniques sont convenables pour l'utilisation dans le transport des hydrocarbures.

Les résultats expérimentaux sont en bonne accords avec les normes internationales.

La simulation numérique confirme la loi du comportement de notre acier X70 en pliage par validation des différents résultats expérimentaux.

CHAPITRE III
L'ETUDE EXPERIMENTALE
REALISES ALFAPIPE

III ESSAIS UTILISES POUR LA CARACTERISATION

III.1. Contrôle des tractive

1. Introduction

Les essais destructifs sont un outil essentiel dans le cycle de fabrication. En fonction de l'équipement et des compétences internes de l'entreprise.

Contrôle destructive Il consiste à prélever certaines pièces sur un lot de pièces soudées, sur lesquelles seront prélevées des éprouvettes qui subiront des essais destructifs Ces essais sont effectués selon la norme API 5L.

Les contrôles destructifs sont effectués au niveau du laboratoire essais mécaniques et chimiques



Figure III.1 : Machine de tournage



Figure III.2 : Scie électrique

2. Prélèvement des échantillon: [15]

Les échantillons pour les essais destructifs sont prélevés d'un anneau du tube obturé à l'une des extrémités, désigné pour le test. La paire de plaques (métal de base, métal de base soudé) sont prélevés transversalement à l'axe du tube.

L'échantillonnage du test dépend des machines suivantes:



Figure III.3: Plaque totalement en métal de base

3. Essais réalisés:

Les méthodes expérimentales sont axées sur une caractérisation du comportement mécanique et à la rupture de l'acier API 5L X70 utilisé dans le transport du gaz.

Nous avons commencé par une étude générale des propriétés mécaniques et microstructurales de cet acier, suivie d'une description des éprouvettes et du dispositif expérimental ayant permis de mener des essais sur des éprouvettes normalisées de traction.

Une étude de résilience et de dureté a été aussi faite. Enfin, des essais de pliage, suivant différents chargements, est présenté avec une validation numérique.

4. Essais utilisés pour la caractérisation

Les méthodes expérimentales sont axées sur une caractérisation du comportement mécanique et à la rupture de l'acier API 5L X70 utilisé dans le transport du gaz. Nous avons commencé par une étude générale des propriétés mécaniques et microstructurales de cet acier, suivie d'une description des éprouvettes et du dispositif expérimental ayant permis de mener des essais sur des éprouvettes normalisées de traction. Une étude de résilience et de dureté a été aussi faite. Est présenté avec une validation numérique.

4.1 Essai de traction: [17]

L'essai de traction constitue l'essai mécanique le plus classique et le mieux étudié, il consiste à exercer sur une éprouvette, une force croissante ou une déformation constante qui va la déformer progressivement et la rompre.

Essai de traction est une méthode d'essai de matériau mécanique pour la détermination des grandeurs caractéristiques des matériaux. Il est utilisé- en fonction du matériau - comme méthode standard correspondant à une norme définie pour la détermination de la limite d'élasticité, de la résistance à la traction, l'allongement à la rupture et d'autres grandeurs caractéristiques du matériau

4.1.1 But de travail :

L'essai de traction permet de déterminer des caractéristiques normalisées des matériaux, souvent exigées dans les cahiers des charges: limites d'élasticité, charges et allongement à la rupture.

- En second lieu, on en déduit la relation entre la contrainte et la déformation. En dépit de sa simplicité, l'essai de traction demande cependant quelques précautions dans sa réalisation et dans son utilisation.

De faire connaître le fonctionnement d'une machine de traction et des capteurs qui y sont :

- La résistance à la traction R_m en MPa.
- Le pourcentage d'allongement après rupture (A %).

4.1.2 Éprouvette de traction: [11]

- La norme API5L exige deux éprouvettes dans l'essai de traction.
- TN traction normale.
- TS traction sur soudure.
- La machine d'essai de traction utilisé MOHR de capacité Max 600 kN.



Figure III.4: TS traction sur soudure



Figure III.5 : TN traction normale

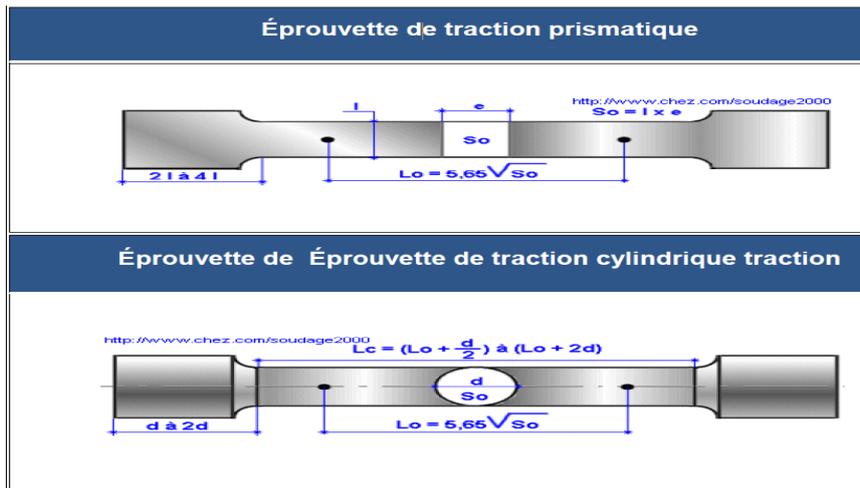


Figure III.6 : Épreuve de traction normalisée selon L'API 5L

4.1.3. Machines d'essais [15]

Une machine de traction moderne dispose d'un entraînement électrique réglable pour effectuer des essais simples ou cycliques à vitesse contrôlée. Elle doit être équipée de capteurs de force et d'allongement, ainsi que d'un système d'amarrage. Grâce aux micro-ordinateurs, le contrôle de l'essai et l'acquisition des données sont devenus très simples. Des capteurs combinés avec des cartes d'acquisition de données, gérés par des logiciels hautement polyvalents.



Figure III.7 : Machine essai de traction

4.1.4 Principe de l'essai

L'essai de traction consiste à appliquer à un échantillon cylindrique ou prismatique, de forme et de dimensions standardisées, un effort de traction F et à mesurer l'allongement correspondant Δl , ou bien à imposer un allongement constant Δl et à mesurer l'effort de traction F .



Figure III.8: Machine pour essai de traction

4.2 Essai la dureté [14] [11]

La dureté caractérise la résistance à la déformation qu'un matériau oppose à la pénétration d'un corps dur. L'essai de dureté, qui généralement s'effectue sur des machines d'essai appelées d'uromètres, a pour but de déterminer la dureté des matériaux. C'est un moyen de contrôle non destructif utilisé dans la production pour un contrôle rapide de la qualité des produits finis car il permet d'évaluer les propriétés d'un matériau tel que sa résistance à la traction, sa ductilité et sa résistance à l'usure. Selon les normes, la dureté est exprimée comme un nombre sans dimension.

4.2.1 Essais Vickers

L'essai consiste à appliquer dans le matériau un pénétrateur diamant en forme de pyramide à basse carrée, d'angle au sommet 136° , sous l'action d'une charge F maintenue pendant 15 secondes, et à mesurer la diagonale d d'une empreinte après enlèvement de la charge.

La dureté Vickers est proportionnelle au rapport F/S . elle s'exprime par un nombre sans unité, HV, suivi de la valeur de la charge.

L'intérêt de choisir une pyramide à base carrée comme pénétrateur est que contrairement à l'essai Brinell ou Rockwell, la dureté Vickers est quasiment indépendante de la charge appliqués.

Cela permet d'établir une gamme de valeurs très large, allant des plastiques jusqu'aux aciers cémentés. Pour pouvoir mesurer d , il faut un système optique, il s'agit donc d'une manipulation relativement longue.

L'essai Vickers convient pour les matériaux homogènes de toute dureté, mais est particulièrement utilisé pour les matériaux les plus durs en couche très mince, car la profondeur de l'empreinte est encore plus petite que pour l'essai Rockwell.



Figure III.9 : machine de dureté (Type Vickers)

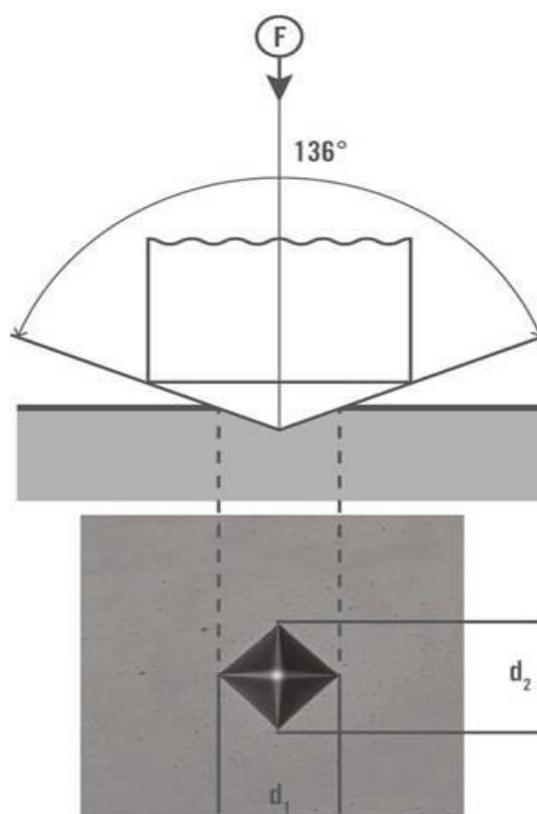


Figure III.10: Eprouvettes de dureté

4.2.3 But de travail: [15]

L'essai de dureté est un outil essentiel de discrimination des matériaux et d'analyse, de développement et d'amélioration des matériaux et des technologies dans le cadre de la recherche fondamentale.

Il permet de collecter des valeurs caractéristiques (valeurs de dureté) qui sont d'une importance décisive pour l'application des matériaux dans l'industrie, pour leur réception dans le cadre de contrôles d'assurance qualité, pour la discrimination des matériaux et pour la clarification en cas de sinistres (analyse des dommages)

4.2.4 Éprouvette de la dureté:

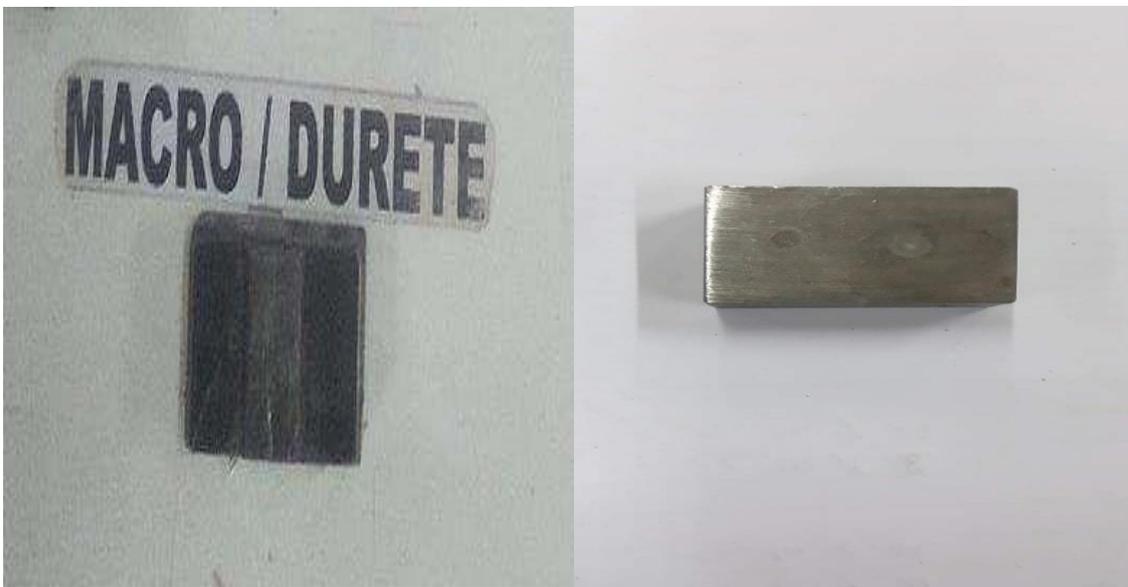


Figure III.11: Eprouvettes de dureté

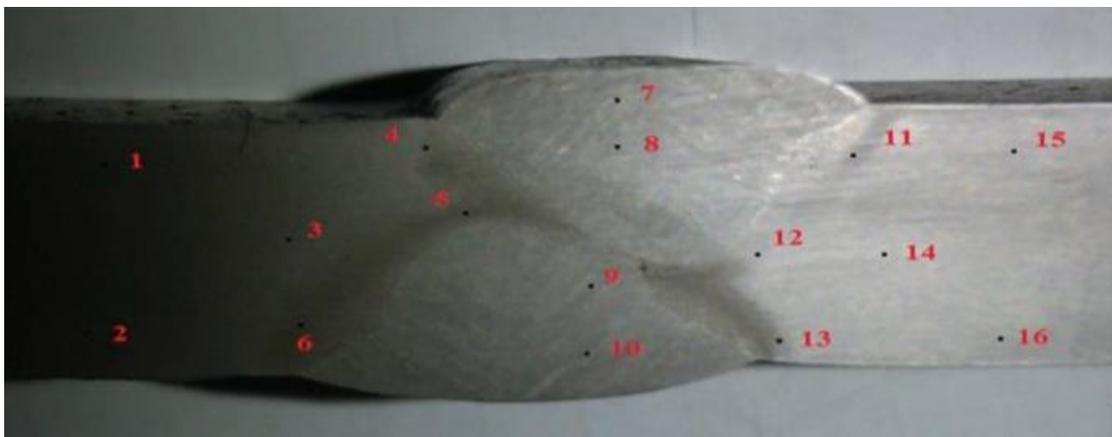


Figure III.12 : Variation de dureté Vickers dans les trois zones

4.2.5 Principe de l'essai:

L'essai de dureté fait aujourd'hui partie des procédés les plus fréquemment utilisés pour les essais mécaniques des matériaux, en particulier pour les métaux.

L'essai de dureté type consiste à presser un objet spécifiquement dimensionné (pénétrateur) avec une charge donnée dans la surface du matériau à tester. La dureté est déterminée par la mesure de la profondeur de pénétration du pénétrateur ou en mesurant la taille de l'empreinte qu'il laisse.

L'essai de dureté permet de contrôler les géométries les plus diverses.

D'une part, cette méthode d'essai permet d'établir des relations qualitatives par rapport à d'autres propriétés du matériau ou au comportement du matériau lors qu'il est soumis à certaines sollicitations.

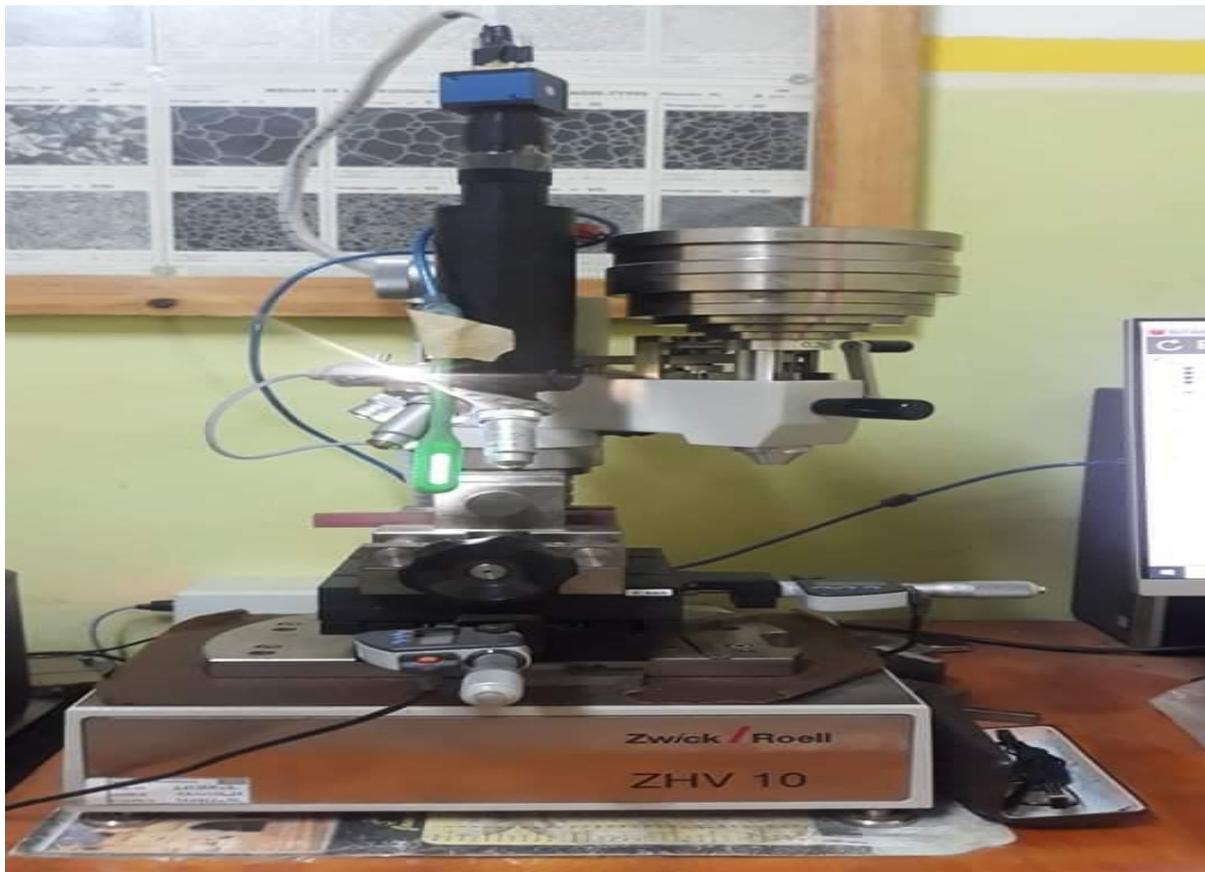


Figure III.13: Appareil mesuré la dureté HV

4.3 Essai de résilience : [15] [11]

La connaissance des caractéristiques mécaniques déduites de l'essai de traction peut être insuffisante, puisque des ruptures peuvent être obtenues en dessous de la limite élastique.

UN des moyens pour caractériser la fragilisation d'un métal sous l'action d'un choc est l'essai de résilience.

L'essai consiste à rompre, d'un seul coup de mouton pendule, une éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur deux appuis. On détermine l'énergie W absorbée dont on déduit la résilience.

La résilience est l'énergie nécessaire pour produire la rupture de l'éprouvette, exprimée en joules par centimètre.

La résilience de l'éprouvette est le quotient

Résilience = Énergie nécessaire / section après entaille

On aura ainsi la formule: $K = W / S$



Figure III.14 : Machine essai de résilience

4.3.1 But de travail:

Pour but de mesurer la résistance d'un matériau à la rupture brutale.

But de l'essai de résilience.

IL s'agit pour le métallurgiste de déterminer la résistance aux chocs de certaines pièces ou de certains matériaux.

La résistance aux chocs est une des caractéristiques primordiales pour le choix d'un matériau notamment dans la construction.

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.

Déterminer le travail nécessaire pour briser l'éprouvette. [13]

4.3.2 Éprouvette de résilience :

L'éprouvette est constituée d'un barreau entaillé par usinage en son milieu. La forme d'entaille la plus fréquente est la forme en V (type A dans la norme [ASTM](#)) d'une profondeur de 2 mm.

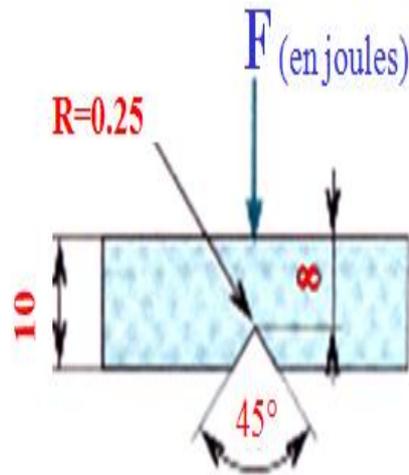


Figure III.15 : Éprouvette de résilience

4.3.3 Principe de l'essai :

L'essai de résilience (encore appelé essai de flexion par chocs) Consiste à rompre d'un seul coup de mouton pendule, une éprouvette qui sera préalablement entaillée en son milieu, afin de faciliter la rupture de la pièce.

Cette éprouvette, reposée sur des appuis.

Au moment où le couteau frappe l'éprouvette on va déterminer l'énergie absorbée qui sera exprimée en joules.

4.3.3.1 Pendule de Charpy [12]

Le pendule Charpy se compose d'un couteau fixé sur un marteau qui oscille dans un plan vertical autour d'un axe. Une partie de l'énergie emmagasinée dans la chute du pendule est utilisée pour rompre l'éprouvette. Le centre de gravité du pendule est toujours très voisin de l'arête du couteau du pendule, Figure Pour exécuter l'essai Charpy, le couteau est écarté de la verticale d'une hauteur h_0 correspondant à une énergie de départ (en général proche de $W_0 = 300$ joules).

On libère le couteau, qui dans sa chute, en passant à la verticale, rompt l'éprouvette.

On mesure alors la hauteur h_1 à laquelle remonte le pendule pour calculer l'énergie non-absorbée W_1 .

L'énergie absorbée par l'éprouvette est représentée par la différence $W_0 - W_1$.

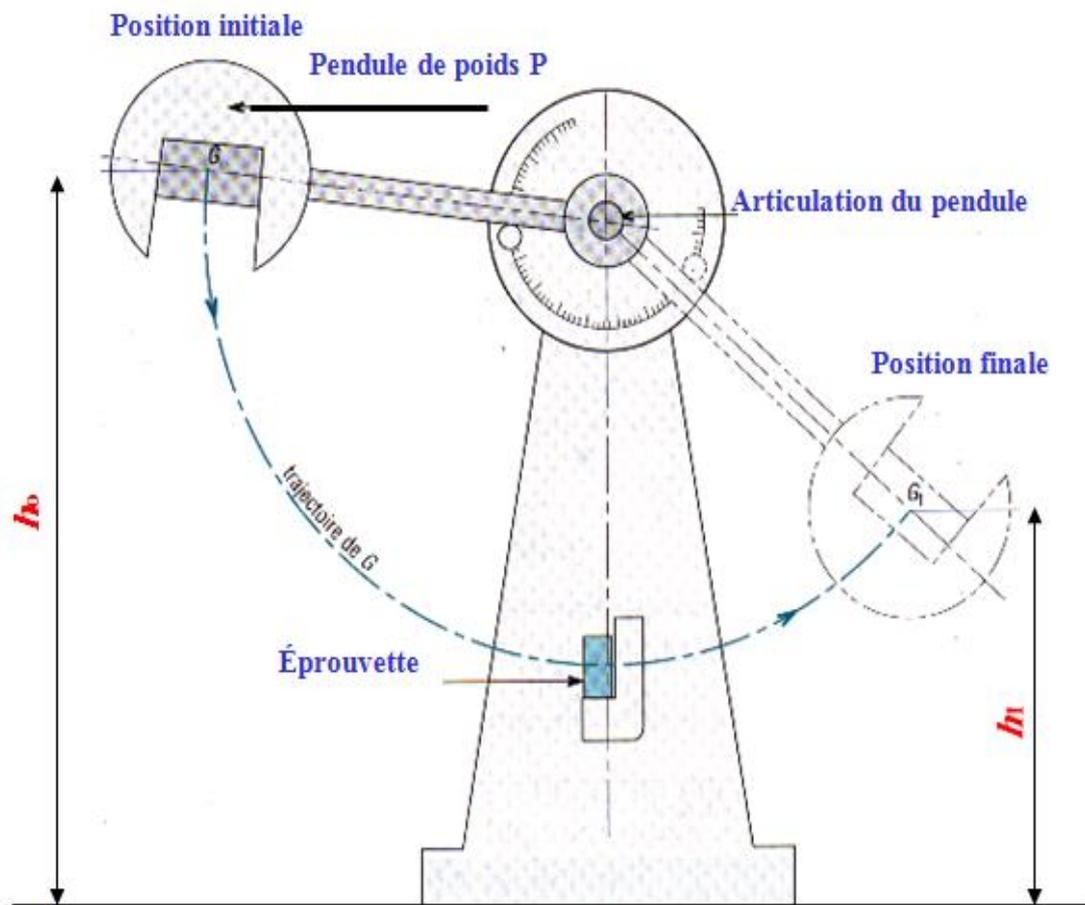


Figure III.16: Principe de l'essai de résilience et géométrie Schéma

Énergie potentielle du pendule

Au départ: $W_0 = P \cdot h_0$

Al 'arrivée: $W_1 = P \cdot h_1$

Énergie absorbée par l 'éprouvette

$W = P(h_0 - h_1)$

$= W_0 - W_1$

4.4 Analyses chimiques: [15] [14]

L'industrie a des besoins croissants en matériaux performants à caractéristiques bien définies. Ces besoins ont suscité le développement de méthodes d'étude et de contrôle de plus en plus sophistiquées,

L'analyse chimique se fait sur le métal de base sont .le processus d'identification, de caractérisation et de compréhension de la qualité des matériaux et substances utilisés dans les produits, la fabrication et les processus industriels.

Les résultats d'analyses sont comparés avec celle du fournisseur et les exigences du client, ce qui permet de définir les premiers critères d'acceptation du produit en composition chimique et en carbone équivalent.



Figure III.17: Machine d'analyse chimique

4.4.1 But de travail:

Préserver la réputation

Éviter les amendes

Le but de notre travail consiste à suivre l'évolution mécanique et chimique d'un acier faiblement allié utilisé pour la fabrication de pipes de grade X70 et qui destiné au transport d'hydrocarbure.

4.4.2 Le carbone équivalent:

$$CEq = C + Mn /6 + (Cr + Mo + V) /5 + (Ni + Cu) /15$$

Le carbone équivalent (Ceq) d'un acier (matériau de base ou de la soudure) renseigne sur certain aspect et son comportement, notamment en ce qui concerne son aptitude à la trempe et le risque de criquage du la présence d'hydrogène. Le Ceq s'exprimer en pourcentage.

Le Ceq est influence par les éléments d'alliage de l'acier.

Le carbone et le manganèse ont l'impact le plus important sur la valeur du Ceq en Ce qui concerne les aciers modérément alliés.

Le Ceq pour le tube et les soudures correspondantes est en principe inférieure à 0,4%

$$CEq = C + Mn /6$$



Figure III.18: Machine d'analyse chimique

4.4.3 Caractéristiques chimiques:

La composition chimique de l'acier utilisé pour la fabrication du tube fourni selon cette spécification devra satisfaire aux exigences de la norme API 5L que Ce matériau est un acier faiblement allié.

Tel que montré dans le tableau

Tableau III.1 : Caractéristiques chimiques

Eléments	L'indice	Valeurs max (%)
Carbone	C	0.120
Manganèse	MN	1.700
Silicium	Si	0.450
Aluminium	AL	0.06
Niobium	Nb	0.06
Vanadium	V	0.10
Titane	Ti	0.060
Nickel	Ni	0.30
Cuivre	CU	0.250
Chrome	Cr	0.30
Molybdène	MO	0.10
Soufre	S	0.015
Phosphore	P	0.025
Azote	N	0.012
Calcium	CA	0.006
TIN	SN	0.010
BORE	B	0.0005

. Conclusion:

Les différents essais destructifs réalisés sur un anneau de tube sont des essais mécaniques (traction, dureté, résilience, analyse chimique), Son laboratoire d'essais mécaniques dispose d'équipements fiables étalonnés périodiquement Les méthodes expérimentales sont axées sur une caractérisation du comportement mécanique et analyse chimique de l'acier API 5L X70 utilisé dans le transport du gaz

CHAPITRE IV

RESULTATS

EXPERIMENTAUX

1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons présenter toutes les expériences qui ont été réalisées

L'objectif principal de ce travail est de valoriser les aciers API

5L X70 utilisés par ALFAPIPE

2. Propriétés mécaniques: [7]

2.1 La traction:

Aux conditions exigées de l'essai de traction par la norme API 5 L

Tableau IV.1 : Aux conditions exigées de l'essai de traction par la norme API 5L

Norme d'essai	Apl Spec 5L 46eme edition ISO 6892			
Type d'éprouvette	Eprouvette plate de section rectangulaire			
Direction du prélèvement	Selon API Spec 5L 46 eme X70 M PSL2 SAWH			
Contrôle destructif *laboratoire mécanique* Tableau IV.6 : La composition chimique de l'acier API 5L X70				
Essai de traction				
E0.5 MPA	Rm MPa	TS MPa	A%	E/Rm
=548	=655	=0	=32.1	=0.84

Le test de traction est effectué sur une grande variété de matériaux, L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction jusqu'à rupture en vue.

Le test de traction est fréquemment utilisé pour déterminer la charge maximale (force de traction) pouvant être supportée par un matériau.

_ Le test de traction peut être basé sur une valeur de charge ou valeur d'allongement.

Les caractéristiques mécaniques conventionnelles sont représentées sur la figure et le tableau ci-dessous.

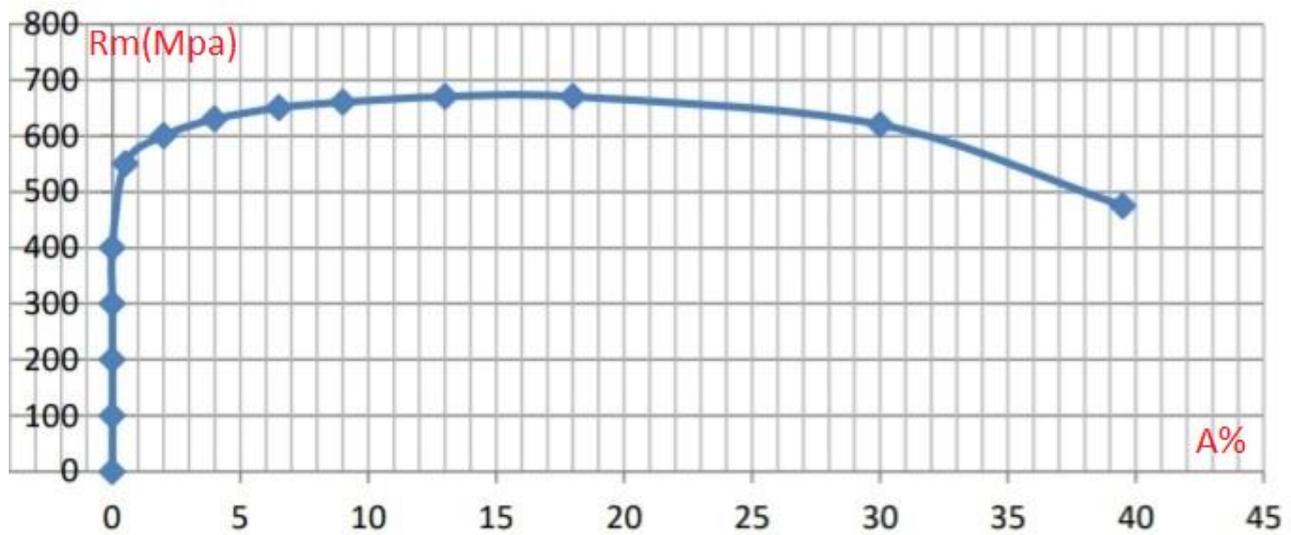


Figure IV.1 : Graphe de l'essai de traction

Tableau IV.2 : Résultats Essai de traction

Résultats Essai de traction				
E0.5 MPa	Rm MPa	TS MPa	A%	E/Rm
548	655	0	32.1	0.84

La limite d'élasticité (Re) : MPa

La résistance à la traction (Rm) : MPa

Le pourcentage d'allongement après rupture (A%)

D'après les résultats obtenus dans le cadre de ce travail montrés sur le tableau et la norme API 5 L présenté. On ne constate que les valeurs de la limite élastique (Re0.5) et de la résistance maximale à la traction (Rm 655) ainsi que l'allongement maximal (À % 32.1), sont situés dans la fourchette proposée par la norme API 5 L.

Ce qui nous mène à dire que les résultats de l'essai de traction répondent aux conditions exigées par la norme API 5L.

.2.2 La dureté:

Résultats expérimentaux de l'essai dureté Vickers (HV 10)

Nous avons réalisées des essais de dureté sur la machine (ZWICK) HV10, étalonnée et certifiée, au laboratoire ALFAPIPE, sur des éprouvettes, comme la machine et assistée par ordinateur, qui nous a permis de tracer la courbe de la dureté.

La méthode Vickers est basée sur un système de mesure optique, La procédure d'essai de microdureté, spécifie une plage de faibles charges en utilisant un pénétrateur en diamant pour faire une empreinte qui est mesurée et convertie en une valeur de dureté.

Teste standard: HV 10, matériau nuance: X70

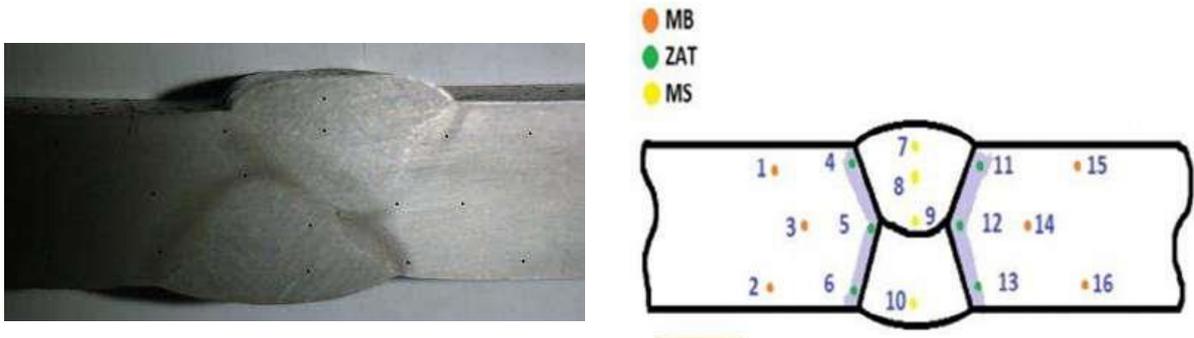


Figure IV.2 : Résultats expérimentaux de l'essai dureté Vickers (HV 10)

Les points (1.2.3): sont appliqués sur le métal de base (MB).

Les points (4.5.6): sont appliqués sur la zone affectée thermiquement (ZAT).

Tableau IV.3 : Résultats expérimentaux de l'essai dureté Vickers (HV 10)

Métal de base					
HV10(N/mm2)					
MB	MB	MB	ZAT	ZAT	ZAT
209	206	209	207	202	204

MB: le métal de base.

ZT: la zone affectée thermiquement (ZAT).

Discussions:

Montre Les résultats au tableaux la variation des valeurs de micro dureté mesurées

209HV, 206 HV, 207 HV et 202 HV, qui sont nettement plus Moins que dans la région de cordons de soudures, avec des pics beaucoup plus élevés dans la région des cordons de soudure.

Cette La différence des valeurs de microdureté est due à l'échauffement de cette zone lors du passage Soudage. On peut dire que cette zone devient la zone touchée Chaleur relative à la surface du métal de base (ZAT)

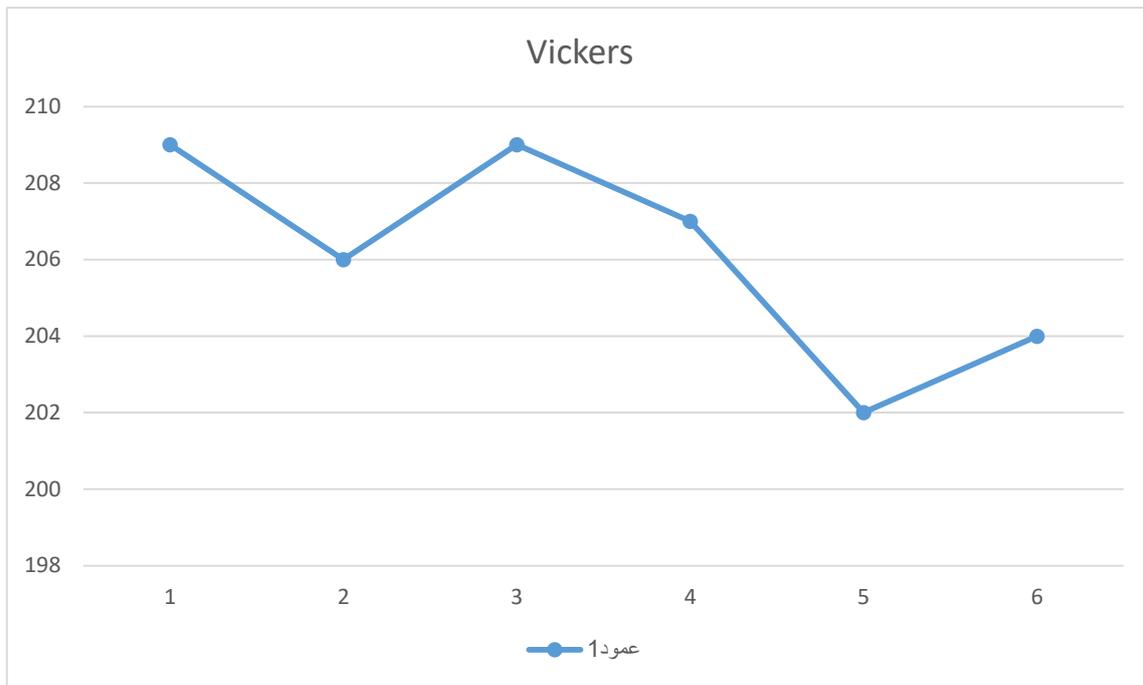


Figure IV.3 : Graphe de l'essai de dureté pour le métal de base

L'essai de dureté par la norme API 5L

Tableau IV.4 : L'essai de dureté par la norme API 5L

Norme dessai		ISO 6507-1			
Materiau		API 5L x70M PSL2			
Identification Eprouvette		X70M			
Contrôle destructif *laboratoire mécanique*					
Essai de traction					
HV10=209	HV10=206	HV10=209	HV10=207	HV10=202	HV10=204

2.3 La résilience

On définit alors la résilience comme l'énergie absorbée par l'éprouvette pendant le choc KV ou KU, rapportée à la surface de la section à fond d'entaille S

L'essai a été réalisé à 0°C l'aide d'un cryostat au laboratoire de l'usine ALFAPIPE

Les résultats obtenus de l'énergie absorbée et de la résilience pour chaque type d'éprouvette Sont présentés respectivement dans le table

Tableau IV.5 : Résultats Essai de Résilience

Essai de Resilience		
KV (0 °C)		
Métal de base		
La force (J)	Section (cm2)	Resilience KV (j/cm2)
287.9	0.8	359.875
300.9	0.8	376.125
276.1	0.8	345.125
313.0	0.8	391.25
278.4	0.8	348
291.9	0.8	364.875



Figure IV.4 : Éprouvette avant rupture



Figure IV.5 : Éprouvette après rupture

À Des températures de 0 ° C pour le métal de base

Discussions:

Nous remarquons une légère différence. Ce que montré que l'énergie de rupture des Éprouvettes avec joint de soudure est inferieur par rapport au matériau de base, mais cette différence est fiable .qui nous pouvons constater est que pour avoir la zone fragile de Ce matériau, il faut encore abaisse la température, pour aller à la zone de ductile vers la zone fragile

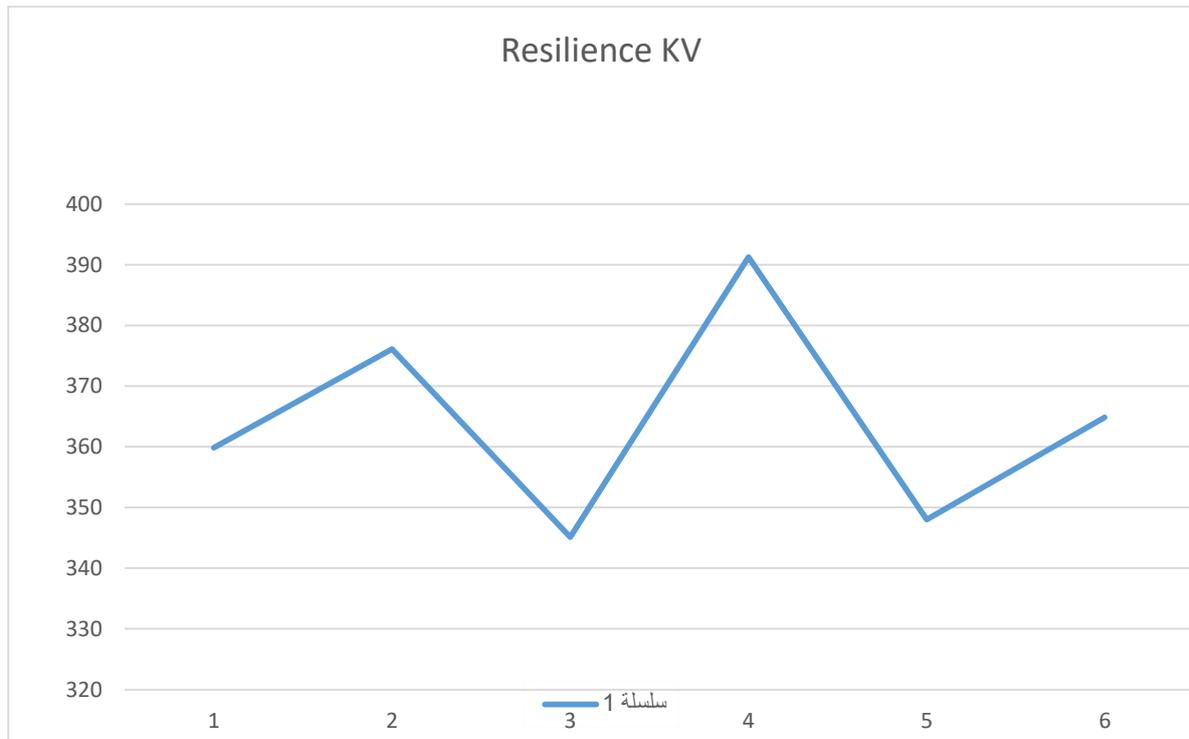


Figure IV.6: Graphe de l'essai de résilience pour le métal de bas

3. Analyse chimique

L'analyse chimique de notre matériaux par spectromètre de fluorescence X nous a permet de déterminer la composition chimique de l'acier X70 pour la comparer avec celle exigé par la norme API 5L.

Ce type de contrôle est basé sur le principe de la fluorescence X à dispersion d'énergie et permet une mesure rapide et extrêmement fiable de la composition chimique du matériau examiné.

Tableau IV.6 : La composition chimique de l'acier API 5L X70

Eléments	L'indice	Valeurs max (%)
Carbone	C	0.073
Silicium	Si	0.371
Manganèse	MN	1.634
Phosphore	P	0.0085
Soufre	S	0.0022
Chrome	Cr	0.191
Molybdène	MO	0.016
Nickel	Ni	0.054
Aluminium	AL	0.0429
Cobalt	Co	0.0069
Cuivre	CU	0.018
Niobium	Nb	0.0526
Titane	Ti	0.0030
Vanadium	V	0.0572
TIN	SN	0.0081
Calcium	CA	0.001
BORE	B	0.0004
Azote	N	0.0021
Iron	Fe	97.4
	CU+Ni+Cr+Mo	0.279
	Nb+V+Ti	0.113
	CEpcm	0.187

L'analyse des résultats

D'après le tableau, nous constatons que l'acier API 5L X70 a une faible teneur en carbone.

La faible teneur en carbone est nécessaire pour améliorer la soudabilité et la résilience de l'acier.

4. Conclusion:

Au laboratoire ALFAPIP nous ont permis d'étudier les caractéristiques mécaniques du matériau en acier grade X70.

Ces résultats correspondent bien pour ce type de réalisation des tubes telle que mentionnée dans les normes API 5 L.

Conclusion générale

Le stage au niveau de l'usine ALFAPIPE et les résultats expérimentaux obtenue au cours de ce travail nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- * Les résultats de l'analyse chimique de l'acier utilisé, nous extrayons la concordance des résultats obtenus avec les exigences API 5L.
- * Les essais mécaniques (Traction, Dureté et Résilience) effectués sur les différentes Zones de soudage, montre que :
- * l'acier X70 a une bonne résistance mécanique
- * une bonne ténacité ce qui convient pour les pipelines.

Au laboratoire ALFAPIPE, nous ont permet d'étudier les caractéristiques mécaniques du matériau en acier grade X70, ces résultats correspondant bien pour ce type de réalisation des tubes telle que mentionnée dans les normes Américaine API 5L, aussi ce matériau a une grand ductilité qui est représentée par la courbe de contrainte déformation Cela indique que cet acier a une bonne résistance.

..6

Référence Bibliographies

- [1] *documentation ALFAPIPE Ghardaïa.
- [2] *<http://www.alfapipedz.com/spip.php?article10>
- [3] *documentation ALFAPIPE ANNABA.
- [4] *<https://www.google.dz/maps/place/ALFAPIPE/@35.1004338,5.2107814,6z/data=!4m2!3m1!10x126429adb2f3e009:0x51d2bf248d1957d8?hl=fr> (2015).
- [5] *<https://www.google.dz/maps/place/ALFAPIPE/@32.6439535,4.054882,8z/data=!4m2!3m1!1s0x126429adb2f3e009:0x51d2bf248d1957d8?hl=fr> (2015).
- [6] *<https://fr.wikipedia.org/wiki/Acier>
- [7] *laboratoire mécanique Alfapipe Ghardaia.
- [8] *MEMOIE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
Identification expérimentale des caractéristiques mécaniques de l'acier X70 D'ALFAPIPE PAR :
BOUCHELLIGA HOCINE DIRECTEUR DU MEMOIRE : Pr. Z. ZEMOURI Qualification d'un
Acier API 5L X70 : Etude Expérimentale et Validation Numérique
- [9] * MEMOIRE Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master 2
Identification expérimentale des caractéristiques mécaniques de l'acier X70 Par : MEHALLI
Mouatez Billah et BENAMOR Elhadj
- [10] * Mémoire Contrôle Qualité des Soudures de l'Acier X70 Réalisées par les Procédés SAW et SMAW Par: REMMA ABDELAZIZ et BENDARA SADJEDA
- [11] *Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme MASTER : Etude expérimentale et simulation numérique de l'effet de différents types de défauts sur le comportement mécanique de l'acier API 5L X70 Présenté par OULADBRAHIMABDELMOUMIN et SOUIDA MOHAMED
- [12] * Essai de résilience - Résistance au choc. Cours technologie, Par: Rocardier, Publiée le: 26/11/2010
- [13] * American society for metals ASM Ohio, USA 1985 p. 259 et suiv.
- [14] * Mechanical Metallurgy, M.A. Chawla, chap. 16, Tensile Testing, p. 559-599, Prentice Hall, Enlewood Cliffs, 1984
- [15] * R.R. Lauwerys, V". Haufroid, P. Huet, D. Lison, "Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles Ed. (5eme), Elsevier Masson, Paris, pp.238-245, 2007.
- [16] * Essais de rupture, dans Matériaux métalliques, Techniques de l'ingénieur, Paris 1996, cahier: M 126.
- [17] * Des matériaux (Jean-Paul Bailon).