



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 قاصدي مرباح ورقلة

*Université Kasdi Merbah Ourgla*

كلية العلوم التطبيقية

*Faculté Des Science Appliqués*

قسم الهندسة الميكانيكية

*Département De Génie Mécanique*



## **MEMOIRE**

*Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master 2*

# **Identification expérimentale des caractéristiques mécaniques de l'acier X70 D'ALFAPIPE**

*Option : Deuxièmes Année Master Maintenance industriel*

*Par :*

**MEHALLI Mouatez Billah**

**BENAMOR Elhadj**

**DEVANT LE JURY :**

- **Président** : **BATOCHE Mouna** MCA Uinv KM Ouargla
- **Encadreur** : **LAHOUEL Ali** MCD Uinv KM Ouargla
- **Examinateur** : **BOUHEMAME Nasser** MCA Uinv KM Ouargla

*Année Université : 2019 /2020*

# Remerciements

قال رسول الله صل الله عليه وسلم: "من لم يشكر الناس لم يشكر الله"

صدق رسول الله صل الله عليه وسلم

*Nous tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous exprimons notre immense gratitude aux membres de notre famille pour leur soutien et leur assistance inlassables tout au long de notre cycle d'études.*

*Nous remercions les personnes qui nous ont aidés à réaliser cette thèse.*

*En premier lieu, je remercie Mr : LAHOUEL Ali professeur à l'université de Kasdi Merbah. Pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*On remercie également toute l'équipe d'ALFAPIPE GHARDAIA et les intervenants professionnels responsables de notre formation.*

*Merci à vous tous.*

Par :

MEHALLI Mouatez Billah

BENAMOR Elhadj

# *Dédicacé*

*J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :*

*A la mémoire de mon défunt frère " Zakaria"*

À la fontaine du don, qui a planté en moi ambition et persévérance,  
à celui qui a moissonné les épines de mon chemin, pour me préparer  
à apprendre "Mon cher père"

Au sourire de la vie et au mystère de l'existence À ceux dont la prière  
a été le secret de mon succès au cœur blanc et lumineux

"Ma mère bien-aimée"

À mon ange dans la vie, au sens de l'amour, ma deuxième mère

"Ma chère tante"

A ceux qui portent dans leurs yeux des souvenirs de mon enfance et  
de ma jeunesse "mes frères"

À la princesse de la maison et au cœur pur et tendreté ma vie "Ma  
sœur"

À ma deuxième sœur au bon cœur, " la femme de mon frère"

À l'esprit qui habitait mon âme et qui a été mon principal pilier dans  
ma vie universitaire en particulier "Mon fiancé"

A toute ma grande famille

A mes très chers amis

A tous les étudiants de la promotion 2019/2020

Option : Maintenance Industriel

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

*MEHALLI Mouatez Billah*

# Dédicacé

Louange à Dieu qui m'a permis pour cela et je ne l'aurais pas atteint sans sa générosité sur moi. Pour l'instant, c'est à ceux dont le droit a été révélé les deux versets honorables de Ses paroles.

بسم الله الرحمن الرحيم

(وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه وبالوالدين إحسانا إما يبلغن عندك الكبر أحدهما أو كلاهما فلا تقل لهما أف ولا تنهرهما وقل لهما قولا كريما \*واخفض لهما جناح الذل من الرحمة وقل رب ارحمهما كما ربياني صغيرا) الإسراء 32-33

Je dédie cette humble œuvre à la chose la plus précieuse que je possède : ma mère, que Dieu la préserve, elle et mon cher père, ainsi que les membres de ma famille, mon soutien dans ce monde, et je ne peux pas compter leurs mérites.

Et à tous ceux qui sont restés debout et ont travaillé dur avec moi pour terminer ce travail de près ou de loin, et à tous les amis et proches, chacun en son nom.

À mes estimés professeurs et à tous les camarades de classe

En fin de compte, je demande à Dieu de faire de ce travail un bénéfique pour tous les futurs étudiants, si Dieu le veut

*BENAMOR Elhadj*

## *Leste de tableaux*

<b>Tableau</b>	<b>Nom de la table</b>	<b>page</b>
Tableau -1-	Paramètre de contrôle visuel	16
Tableau -2-	Contrôle qualité mécanique	27
Tableau -3-	Contrôle qualité au niveau d'atelier dans Usine du revêtement	27
Tableau -4-	Contrôle qualité au niveau de laboratoire dans Usine du revêtement	28
Tableau -5-	Caractéristiques mécanique de l'acier X70 selon l'API5L	35
Tableau -6-	Composition chimique de l'acier X70	35
Tableau -7-	Propriétés mécaniques des aciers pour tubes selon la norme API	41
Tableau -8-	Composition chimique % (Tubes de conduite PSL1 soudés) [8]	41
Tableau -9-	Composition chimique % (Tubes de conduite PSL2 soudés) [8]	42
Tableau -10-	Caractéristiques mécaniques (Tubes de conduite PSL1) [8]	42
Tableau -11-	Caractéristiques mécaniques (Tubes de conduite PSL2) [8]	42
Tableau -12-	Composition chimique X70 la norme API 5 L	46
Tableau -13-	Composition chimique X70 la norme API 5 L	55
Tableau -14-	Résultats de l'analyse chimique	56
Tableau -15-	La norme essai de traction API 5L PSL2	57
Tableau -16-	Résultats essai de traction	57
Tableau -17-	Résultats essai la dureté	59
Tableau -18-	Résultat de l'essai de la résilience	59

# *Leste de figure*

<b>Figure</b>	<b>Nom de figure</b>	<b>page</b>
	<b>Chapitre I : Fiche technique de l'Enterprise ALFAPIPE</b>	
Figure I.1	Entreprise ALFAPIPE-GHARDAIA-	04
Figure I.2	Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA	05
Figure I.3	Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA	05
Figure I.4	Les bandes	12
Figure I.5	fil	12
Figure I.6	Flux	12
Figure I.7	Machine de préparation de flux	12
Figure I.8	Machine à souder ancienne	12
Figure I.9	Machine à souder Nouveau	12
Figure I.10	Machine de préparation de bobine	13
Figure I.11	Le pont roulant	13
Figure I.12	Processus le Rabotage	13
Figure I.13	Processus dressage	13
Figure I.14	Processus dressage	14
Figure I.15	Soudage intérieure	14
Figure I.16	Soudage antérieure	14
Figure I.17	Processus Oxycoupage de tube	14
Figure I.18	La zone Oxycoupage de tube	14
Figure I.19	La zone nettoyage de tube	15
Figure I.20	La zone contrôle visuel	15
Figure I.21	Défaut	15
Figure I.22	Chambre à rayon X1	16
Figure I.23	Film Le contrôle radiographique	16

<b>Figure</b>	<b>Nom de figure</b>	<b>page</b>
Figure I.24	Cabine contrôle Hydrostatique	17
Figure I.25	La zone contrôle Hydrostatique	17
Figure I.26	Machine ultrasons	17
Figure I.27	Chambre à rayon X1	18
Figure I.28	CHAMBRE NOIRE	18
Figure I.29	Abrasives d'acier (grenaille)	18
Figure I.30	Poudre époxy vert	19
Figure I.31	Poudre époxy rouge	19
Figure I.32	Copolymère d'éthylène (adhésif)	19
Figure I.33	Polyéthylène noire	20
Figure I.34	Bruleur de séchage des tubes	20
Figure I.35	Grenailleuse (machine de projection abrasive)	21
Figure I.36	Les ondulateurs de préchauffage des tubes	21
Figure I.37	La cabine de poudrage thermodurcissable	22
Figure I.38	Les pistolets électrostatiques	22
Figure I.39	Mode de fonctionnement d'une extrudeuse thermoplastique	23
Figure I.40	Les extrudeuses thermoplastiques (adhésif, polyéthylène)	23
Figure I.41	Extrudeuse polyéthylène	23
Figure I.42	Extrudeuse adhésif	23
Figure I.43	Fonctionnement des extrudeuses thermoplastiques	23
Figure I.44	Tunnel de refroidissement des tubes revêtus	24
Figure I.45	Brosseurs d'extrémité du tube	24
Figure I.46	Balai électrique	25
Figure I.47	Processus de revêtement intérieur	25
Figure I.48	L'aspect du tube de peinture à l'intérieur	26
Figure I.49	Où sont stockés les tuyaux fabriqués	26

<b>Figure</b>	<b>Nom de figure</b>	<b>page</b>
<b>Chapitre II : L'étude bibliographique</b>		
Figure II.1	Propriétés mécaniques	32
Figure II.2	Le cycle de fabrication des tubes en forme spirale	36
Figure II.3	Les différentes zones de soudure	40
<b>Chapitre III : L'étude expérimentale réalisée à ALFAPIPE</b>		
Figure III.1	Scie électronique	44
Figure III.2	Scie électronique	44
Figure III.3	Machine de tournage	44
Figure III.4	Machine de tournage	44
Figure III.5	Machine d'analyse chimique	45
Figure III.6	Éprouvette de traction normalisée selon L'API 5L	47
Figure III.7	TN traction normale	47
Figure III.8	TS traction sur soudure	47
Figure III.9	Machine essai de traction	47
Figure III.10	Un capteur de force	48
Figure III.11	Fonctionnement en traction	48
Figure III.12	Éprouvette de résilience	48
Figure III.13	Machine essai de résilience (Mouton pendule Charpy)	50
Figure III.14	Préparation de l'échantillon	51
Figure III.15	Variation de dureté Vickers dans les trois zones.	52
Figure III.16	Procédure et machine de dureté (Type Vickers)	52
<b>Chapitre IV : Résultats expérimentaux</b>		
Figure IV.1	Analyse chimique sur la machine ALPHAPIPE	55
Figure IV.2	La courbe de traction	56
Figure IV.3	Résultat Essai traction sur la machine ALFAPIPE	57
Figure IV.4	Eprouvettes avec joint de soudure bout à bout pour la dureté Vickers	58



<b>Figure</b>	<b>Nom de figure</b>	<b>page</b>
Figure IV.5	Résultat Essai de dureté sur la machine ALFAPIPE	58
Figure IV.6	Éprouvette avant rupture À Des températures de 0 ° C	59
Figure IV.7	Éprouvette après rupture À Des températures de 0 ° C	59

## *Leste de Schéma*

<b>Schéma</b>	<b>Nom de figure</b>	<b>page</b>
Schéma - 1 -	synoptique du procédé de fabrication des tubes	09
Schéma - 2 -	synoptique du procédé de revêtement extérieur du tube	10
Schéma - 3 -	synoptique du procédé de revêtement intérieure du tube	11
Schéma -4-	Éprouvette de résilience	48
Schéma -5-	Couteau de mouton pendule	49
Schéma -6-	Présentation de l'essai de résilience	50

## Résumé

Le but de ce travail est l'étude du comportement mécanique du pipeline de catégorie API 5 L X70 fabriqué par « ALFAPIPE Ghardaia » et employés pour le transport des hydrocarbures.

Différente technique de caractérisation mécanique ont été réalisé à savoir : les essais de traction, essais de dureté et de résilience à 0C° sur les différentes zone du soudage. L'étude est complétée par une analyse chimique.

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

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

## *Abstract*

The aim of this work is to study the mechanical behavior of the API 5 L X70 category pipeline manufactured by "ALFAPIPE Ghardaia" and used for the transport of hydrocarbons.

Different mechanical characterization techniques were carried out, namely: tensile tests, hardness and impact tests at 0 ° C on the different welding zones. The study is completed by a chemical analysis.

The mechanical results obtained show that the steel studied has good resistance properties, namely an elastic limit  $R_{0.5}$  equal to 530 MPa, a mechanical resistance  $R_m$  equal to 634 MPa with an elongation which can go up to 37%. The difference in hardness meets API 5L and does not exceed 15%. Thus, impact tests show that this material with good impact resistance increases proportionally with the increase in temperature.

These results meet the essential requirements of the working conditions of the pipeline used for gas transport and comply with API 5L standard.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة السلوك الميكانيكي لخط أنابيب فئة API 5 L X70 المصنوع بواسطة "ALFAPIPE Ghardaia" والمستخدم في نقل المحروقات.

تم تنفيذ تقنيات توصيف ميكانيكية مختلفة، وهي: اختبارات الشد واختبارات الصلابة والصدمات عند 0 درجة مئوية في مناطق اللحام المختلفة. اكتملت الدراسة بتحليل كيميائي.

أظهرت النتائج الميكانيكية التي تم الحصول عليها أن الفولاذ المدروس له خصائص مقاومة جيدة، وهي الحد المرن R0.5 يساوي 530 ميغا باسكال، المقاومة الميكانيكية Rm تساوي 634 ميغا باسكال مع استطالة يمكن أن تصل إلى 37%. الفرق في الصلابة يتوافق مع API 5L ولا يتجاوز 15%. وبالتالي، تظهر اختبارات التأثير أن هذه المادة تتمتع بمقاومة تأثير جيدة تزداد بشكل متناسب مع زيادة درجة الحرارة.

تتبع هذه النتائج المتطلبات الأساسية لظروف العمل لخط الأنابيب المستخدم لنقل الغاز وتتوافق مع معيار API5L.

## ***API 5L***

***American Petroleum Institute, Spécifications***

***Pour API 5L adhérer à l'Organisation internationale de  
Normalisation.***

## ***X70***

***Grade de l'acier au carbone manganèse utilisé***

***Pour le transport des hydrocarbures sous une pression de  
Service de 70 bars.***

## ***PSL 2***

***Des exigences obligatoires pour équivalent***

***Carbone, la ténacité, la limite d'élasticité maximale et  
Résistance à la traction maximale.***

---

# SOMMAIRE

---

Remerciements	B
Dédicace	C
Dédicace	D
Leste de tableaux	E
Leste de figure	F
Leste de Schéma	I
Résumé	J
Abstract	K
ملخص	L
Sommaire	N

## **Introduction générale**

Introduction générale .....	02
-----------------------------	----

## **Chapitre I : Fiche technique de l'Entreprise ALFAPIPE**

1. Introduction.....	04
2. Présentation du lieu de stage.....	04
3. Procès de fabrication.....	12
3.1 Les procédés, les étapes de fabrication.....	12
3.1.1 Usine de fabrication des tubes.....	12
3.1.2 Usine du revêtement extérieur des tubes.....	18
3.1.3Usine du revêtement intérieur.....	25
3.2 De contrôle de qualité.....	26
3.2.1 Contrôle qualité au niveau de laboratoire.....	27
3.2.2 Contrôle qualité au niveau d'atelier.....	27
3.2.3 Contrôle qualité au niveau de laboratoire.....	28
4. Conclusion.....	28

## Chapitre II : L'étude bibliographique

1. Introduction .....	30
2. Définition Acier.....	30
3. Histoire Acier.....	30
4. Fabrication de l'acier.....	31
5. Acier à haute limite d'élasticité.....	32
5.1 Propriétés mécaniques .....	32
5.2 La composition chimique.....	33
5.3 Influence La composition chimique.....	33
5.4 Carbone équivalent.....	34
5.5 Avantage des aciers HLE.....	34
6. Aciers HLE de grade X70.....	35
6.1 Propriétés mécanique.....	35
6.2 La composition chimique de l'acier HLE de grade X70.....	35
7. Le cycle de fabrication des tubes en forme spirale.....	35
8. Procédé de soudage.....	38
8.1 Généralité sur le soudage.....	38
8.2 Histoire sur le soudage.....	38
8.3 Les différents types de soudage.....	38
8.4 Les défauts de soudure.....	39
8.5 Les principaux défauts de soudure.....	39
8.6 Procédé de soudage des tubes en forme spirale.....	39
8.6.1 Tube soudée en spirale.....	39
8.6.2 Soudage des tubes en forme spirale (soudage sous flux en poudre(SAW))..	40
8.7 Zones constitutives d'un joint soudé.....	40
9. Le soudage des pipes en acier X70.....	41
10. Caractérisations des aciers API.....	41

11. La norme API-5L.....	41
12. Conclusion.....	42

**Chapitre III : L'étude expérimentale réalisée à ALFAPIPE**

1. Introduction.....	44
2. Prélèvement des échantillons.....	44
3. Essais réalisés.....	44
4. Essais utilisés pour la caractérisation.....	45
4.1 Analyses chimiques.....	45
4.2 Essai de traction.....	46
4.3 Essai de résilience.....	48
4.4 Essai de dureté.....	50
5. Conclusion.....	53

**Chapitre IV : Résultats expérimentaux**

1. Introduction.....	55
2. Essais réalisés.....	55
2.1 Analyse chimique.....	55
2.2 Propriété mécanique.....	56
2.2.1 La traction.....	56
2.2.2 Essai de dureté.....	58
2.2.3 Essai de résilience.....	59
3. Conclusion.....	60

**Conclusion général**

Conclusion général.....	62
-------------------------	----

Bibliographiques



---

# INTRODUCTION GENERALE

---

## Introduction générale

L'utilisation de tubes en acier à haute résistance pour le transport s'est généralisée dans de nombreux domaines : transporter le pétrole, le gaz, l'eau, Alimentation en eau potable, Infrastructure hydraulique et tous autres liquides sous haute pression.

Où le développement industriel des tubes en acier HLE nécessite une parfaite maîtrise du processus de fabrication, Pour assurer la qualité des produits.

Pour mieux connaître le comportement de cet acier, nous avons mené une étude théorique et expérimentale sur l'évolution et la résistance des tubes en acier HLE grade X70 API et leur comportement après le procédé de soudage, Où nous avons couvert de nombreuses pièces liées à la fabrication de tuyaux en acier et aux tests destructifs avant la livraison aux clients.

Dans le chapitre 1, nous avons exposé la structure de l'entreprise ALFAPIPE et son procédé de fabrication de tube soudés en spirale. Ensuite nous avons abordé les procédés de soudage et surtout les types de défauts, pouvant survenir et qui doivent être réparé.

Dans le chapitre 2, nous expliquons les aciers à haute limite d'élasticité (HLE), et Aciers HLE de grade X70, et Procédé de soudage.

Dans le chapitre 3, 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).

Dans le chapitre 4, nous évaluons les résultats expérimentaux mécaniques, Nous comparons les résultats obtenus avec les normes Américaine API 5L et les exigences des clients.

Enfin, nous expliquons quelques conclusions aux résultats obtenus.

L'objectif de ce travail est de suivre l'évolution mécanique et chimique après la fabrication des tubes X70 degrés fabriqués par l'usine ALFAPIPE de Ghardaia pour le transport des hydrocarbures. Et savoir si les résultats obtenus à partir des tests correspondent aux normes Américaine API 5L et aux exigences des clients.

---

CHAPITRE I  
FICHE TECHNIQUE DE  
L'ENTREPRISE ALFAPIPE

---

## 1. Introduction :

Les tubes sont obtenues à partir des bobines laminés à chaud de tonnage 10 à 30 tonnes et d'une largeur 600 à 1800 mm, selon le diamètre du tube.

Les bobines sont déroulées planées, et formées en hélice puis soudées à l'arc immergé sous flux en deux passes successives sur une même machine dite machine à souder en spirale.

La qualité des tubes soudés en spirale fabriquer par ALFA PIPE est basé sur le contrôle dès la réception de la matière première (bobine) jusqu'au produit fini (tube) en suivant la norme Américaine API 5L, en passant par plusieurs étape de contrôle.

## 2. Présentation du lieu de stage : [1]

ALFAPIPE

Algérienne de Fabrication de Pipe



TUBERIE SPIRALE GHARDAIA

Certifiée API Q1 et ISO 9001

BP 78 Z.I. BOUNOURA. GHARDAIA, ALGERIA

Fax : (213).029.87.33.00

Email : [ghardaia@alfapipe-dz.com](mailto:ghardaia@alfapipe-dz.com)



Figure I.1 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 m<sup>2</sup> 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



Figure I.3 Situation géographique d'ALFAPIPE GHARDAIA par rapport au puits de Hassi Messaoud et Hassi R'mel

**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 2ème unité similaire à la 1ère.

La mise en chantier de l'unité a démarré en Avril 1974 par une allemande, et celle entrée en production en 1977 d'une capacité de 120000 tonnes annuelle, d'une équivalence de 375km de tube de 42 pouces de diamètre.

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.

**Domaines d'application :**

## ✓ 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, destinés 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 Référence :

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 spécification for line Pipe.
- ISO 21 809 : International Organisation 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.

**Certifications :**

**QUALIFICATIONS :**

ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa est certifiée API Q1 et ISO 9001 depuis le 02 janvier 2001.  
Le tube fabriqué par ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa est certifié API 5L.



energy **API**

IAF

ANAB ACCREDITED

API ISO/TS 29001 Registered

American Petroleum Institute

API Spec Q1 Registered

N° API-0213

N° TS-0314 N° 5L-0403 N° Q1-0499

**Certificate of Authority to use the Official API Monogram**  
License Number: 5L-0403 ORIGINAL

The American Petroleum Institute hereby grants:

**ALFAPIPE-TUBERIE DE GHARDAIA**  
Zone Industrielle de Bounoura  
Ghardaia  
Algeria

the right to use the Official API Monogram<sup>®</sup> on manufactured products, under the conditions, in the official publications of the American Petroleum Institute entitled API Spec Q1<sup>®</sup> and API Spec 5L and in accordance with the provisions of the License Agreement.

In all cases where the Official API Monogram is applied, the API Monogram should be used in conjunction with the certificate number: 5L-0403

The American Petroleum Institute reserves the right to revoke this authorization to use the Official API Monogram for any reason satisfactory to the Board of Directors of the American Petroleum Institute.

The scope of this license includes the following: **Manufacturer of Line Pipe Plain End at PSL 1; Type of Pipe: SAWH / Delivery Condition: M / Highest Grade: X70; Manufacturer of Line Pipe Plain End at PSL 2; Type of Pipe: SAWH / Delivery Condition: M / Highest Grade: X120M / Service Annex: H**

**QMS Exclusions: Section 7.3, Design and Development.**

American Petroleum Institute  
John Maki  
Director of Training and Certification Programs

Effective Date: **JULY 27, 2009**  
Expiration Date: **JANUARY 2, 2010**

To verify the authenticity of this license, go to [www.api.org/verifycert](http://www.api.org/verifycert).

REGISTRATION NO. Q1-0499

**Certificate of Registration**

The American Petroleum Institute certifies that the quality management system of

**ALFAPIPE-TUBERIE DE GHARDAIA**  
Zone Industrielle de Bounoura  
Ghardaia  
Algeria

has been assessed by the American Petroleum Institute and found to be in conformance with the following:

**API Specification Q1**

The scope of this registration and the approved quality management system applies to the:

**Manufacture and Coating of Line Pipe**

API approves the organization's justification for excluding:

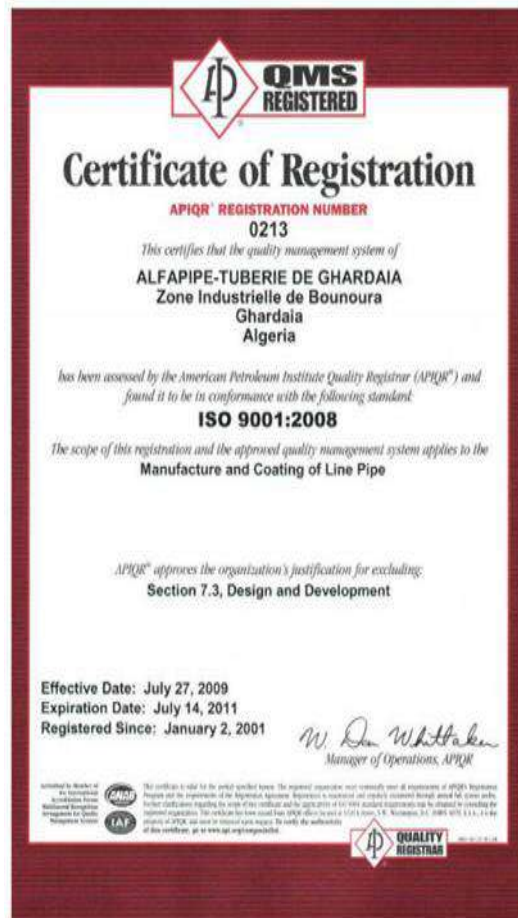
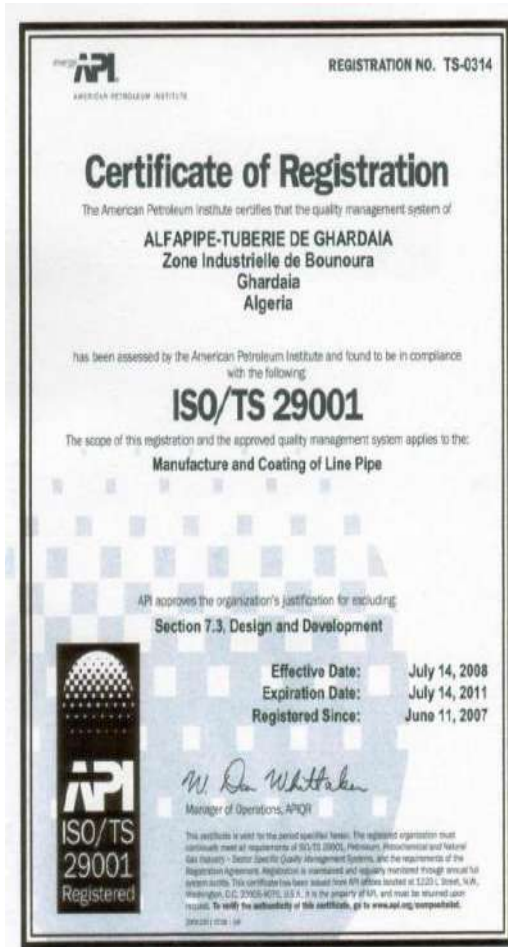
**Section 7.3, Design and Development**

Effective Date: July 14, 2008  
Expiration Date: July 14, 2011  
Registered Since: June 11, 2007

W. D. Whiteaker  
Manager of Operations, APIQI

API Spec Q1 Registered

This certificate is valid for the period specified herein. The registered organization must continuously meet all requirements of API Spec Q1, Specification for Quality Programs for the Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industry, and the requirements of the Registration Agreement. Registration is maintained and regularly monitored through annual full system audits. This certificate has been issued from API offices located at 1201 L Street, N.W., Washington, D.C. 20004-6170, U.S.A. It is the property of API and must be returned upon request. To verify the authenticity of this certificate, go to [www.api.org/verifycert](http://www.api.org/verifycert).



**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.
    - Alimentation en eau potable.
    - Infrastructure hydraulique.
    - Assainissement (Ségo).
    - Drainage.



Schéma - 1 - synoptique du procédé de fabrication des tubes

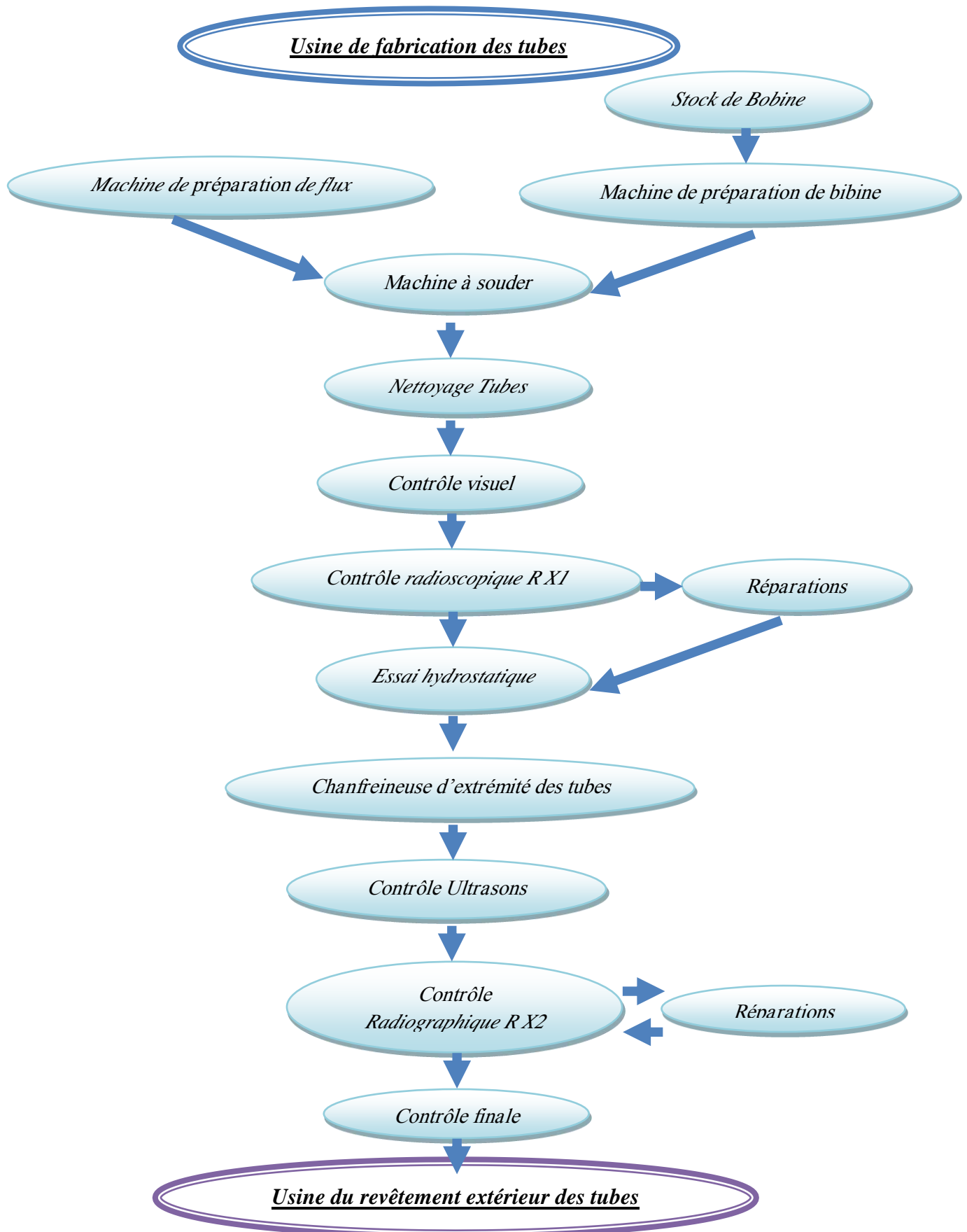


Schéma - 2 - synoptique du procédé de revêtement extérieur du tube

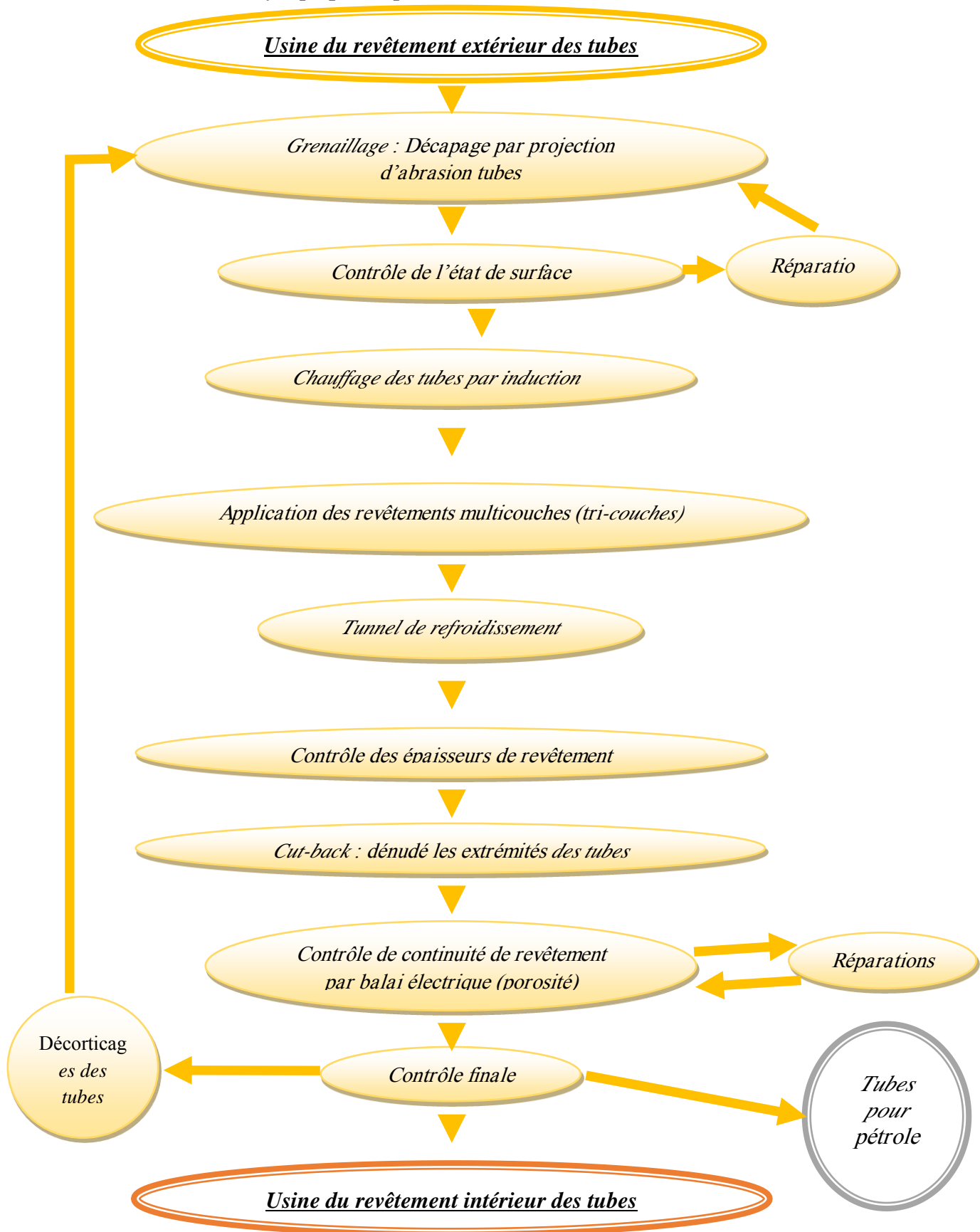
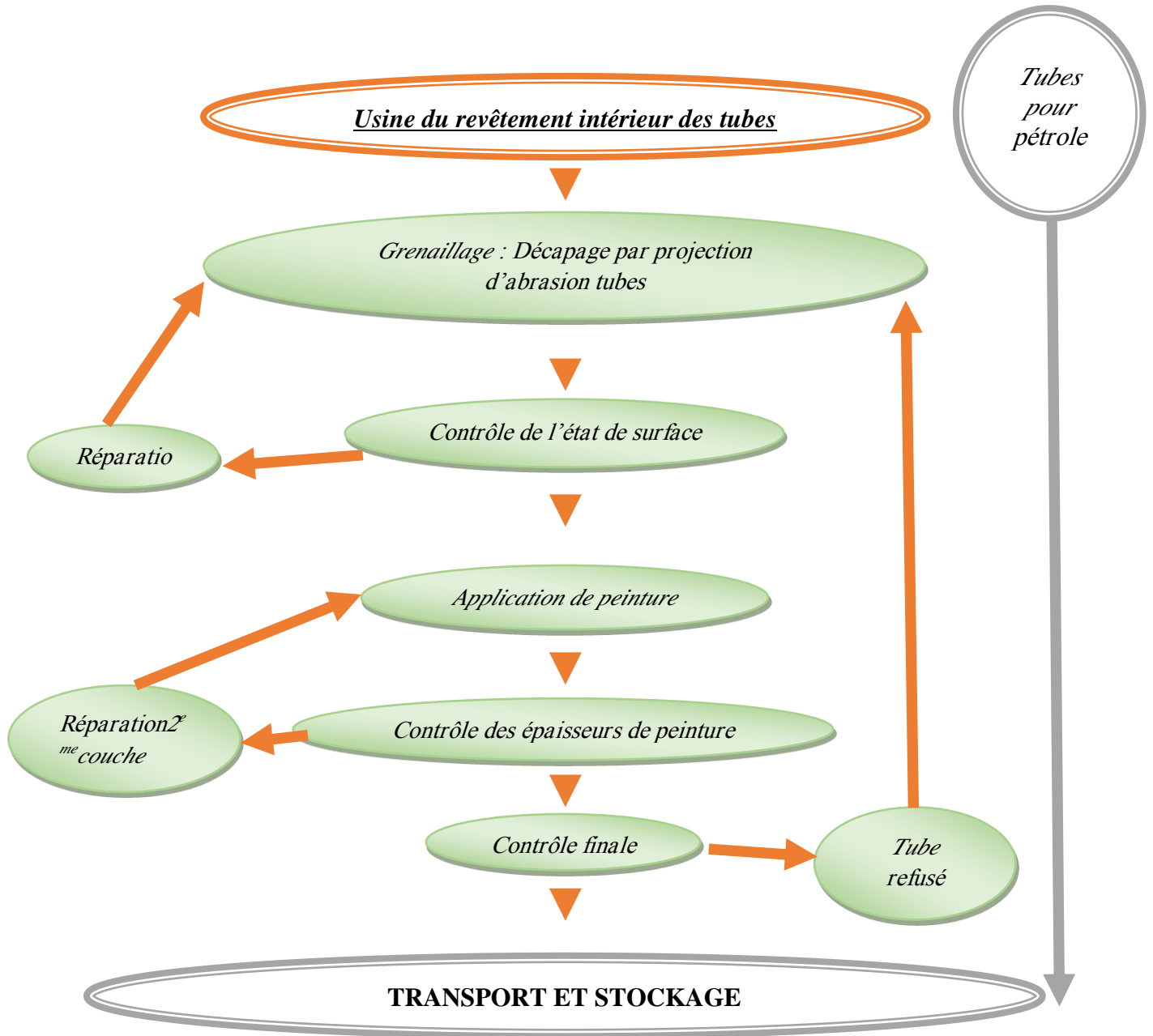


Schéma - 3 - synoptique du procédé de revêtement intérieure du tube



### 3. Procès de fabrication :

#### 3.1 Les procédés, les étapes de fabrication :

Le processus et les étapes de la fabrication de tube se font à travers trois des usines :

##### ➤ 3.1.1 Usine de fabrication des tubes :

#### 1. Fabrication de tube : Prépare les matières premières



Figure I.4 Les bandes



Figure I.5 fil



Figure I.6 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.7 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 nouveau machine, qui permettent la réalisation de plusieurs opérations pour la fabrication du tube



Figure I.8 Machine à souder ancienne



Figure I.9 Machine à souder Nouveau

**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.10** Machine de préparation de bobine



**Figure I.11** 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.12** Processus le Rabotage

**C- Dressage bande :** Un train de rouleaux dresseurs assurent une parfaite planéité et contribuent au guidage de la bande.



**Figure I.13** Processus dressage

**D- Cisailage :** des cisailles de rive permettant la mise en largeur définitive de la bande.



**Figure I.14 Processus dressage**

**E- Processus de soudage spiral :** (soudage sous flux en poudre(SAW)) par Machine à souder Utilisation de matières premières préparées.



**Figure I.15 Soudage intérieure**

**Figure I.16 Soudage antérieure**

**F- Oxycoupage de tube :** Le tube formé est coupé à la longueur voulue par un chariot d'oxycoupage prévu à cet effet.



**Figure I.17 Processus Oxycoupage de tube**



**Figure I.18 La zone Oxycoupage de tube**

**G- nettoyage de tube :****Figure I.19 La zone nettoyage de tube****2. 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 des tubes soudés à l'arc sous flux en poudre comporte les paramètres suivants. A ce niveau, les 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.20 La zone contrôle visuel****Figure I.21 Défaut**

**Tableau -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

### 3. 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.22 Chambre à rayon X1



Figure I.23 Film Le contrôle radiographique

### 4. 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.



### 5. 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.24 Cabine contrôle Hydrostatique



Figure I.25 La zone contrôle

### 6. 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 cracher sur l'endroit du défaut.



Figure I.26 Machine ultrasons

### 7. Contrôle Radiographique (Rayon X2) :

Ce contrôle est basé sur l'absorption différentielle du rayonnement X2. Les différences de rayonnement émergent 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.27 Chambre à rayon X1



Figure I.28 CHAMBRE NOIRE

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).

#### 8. Contrôle finale :

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

##### ➤ 3.1.2 Usine du revêtement extérieur des tubes :

Tout d'abord, nous interdisons les matériaux de base :

##### ✓ Les abrasifs d'acier : [1]

Sont des particules d'acier de la différente dureté qui sont utilisée comme abrasifs ou comme agents de grenailage. Ils sont généralement disponibles en deux formes différentes (angulaire et sphérique) qui s'adressent à différentes applications industrielles.

La projection des graines métallique (haute dureté) sur la surface de tube pour en modifier la structure superficielle pour nettoyage et augmenter la rugosité de surface.

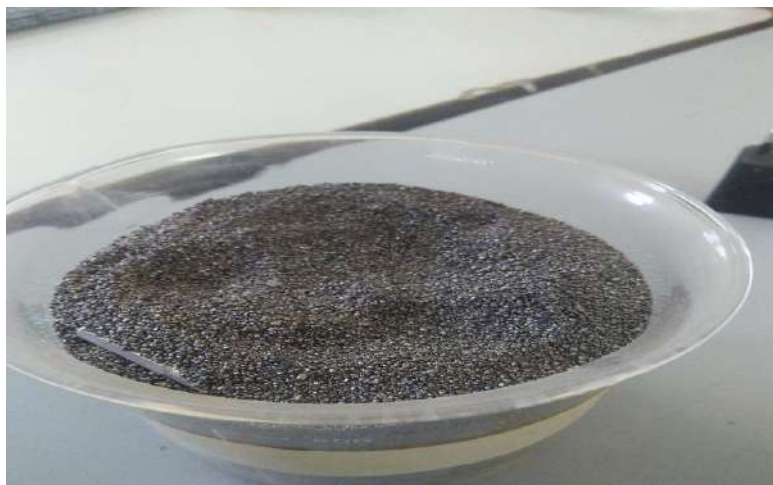


Figure I.29 Abrasive d'acier (grenaille)

✓ Structure générale de l'époxy : [1]

Les réseaux époxy appartiennent à la classe des thermodurcissables. Ces polymères sont des composés macromoléculaires formant un réseau tridimensionnel après réaction chimique. Le système initial que nous utilisons se transforme chimiquement de façon irréversible en un système final infusible et insoluble thermodurcissable.

Les réseaux époxy résultent de la réticulation d'un polymère de type époxy (pré polymère) et d'un durcisseur (agent de réticulation).



**Figure I.30 Poudre époxy vert**



**Figure I.31 Poudre époxy rouge**

Dans le système tri-couches, la couche primaire joue un rôle très important, protéger le métal contre la corrosion et d'améliorer la tenue au décollement cathodique et il existe différents types de primaires parmi lesquels le système époxy-chimique et de sa stabilité thermique ainsi que de ses remarquables propriétés d'adhérence sur la plupart des substrats.

✓ Structure générale d'adhésif : [1]

C'est un copolymère d'éthylène associé à de l'acrylate de butyle et des fonctions anhydrides maléiques, et est un produit chimique utilisé dans la fabrication, les peintures, les produits d'étanchéité, les revêtements, les adhésifs

Dans le système tri-couches, la couche d'EBA possède une fonction adhésive qui lui permet d'optimiser le collage mutuel des matériaux de part et d'autre de l'assemblage (Epoxy et PEHD).



**Figure I.32 Copolymère d'éthylène (adhésif)**

✓ Structure générale de polyéthylène : [1]

Est un des polymères les plus simples et les moins chers. Il appartient à la famille des polyoléfines.

Son nom vient du fait qu'il est obtenu par polymérisation des monomères d'éthylène ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) en une structure complexe de formule générique  $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-$ . Et de masse molaire  $M=28$  g/mole, possède une conformation transi (ou conformation en (zig-zag) stable.



**Figure I.33 Polyéthylène noire**

La couche de PEHD, déposée en forte épaisseur par rapport aux autres matériaux, c'est à pour protéger la couche primaire contre Les risques de détérioration mécanique locale du revêtement lors de la pose des canalisations, mais aussi en vieillissement en service sont importants (par exemple du fait du poinçonnement du revêtement par des pierres). Il est donc nécessaire d'utiliser un matériau susceptible de pouvoir résister à un décollement précoce.

### 9. Bruleur :

C'est une cabine que contiennent des torches de flammes brûler la surface extérieure des tubes.

Le Séchage des tubes par bruleur fait avant d'entrer dans l'unité de nettoyage par projection d'abrasifs. Toute poussière, matière préjudiciable et tous polluants tels qu'huile et graisse doivent être enlevés du tube avant revêtement.



**Figure I.34 Bruleur de séchage des tubes**

### 10. Grenailage :

C'est une cabine que contient un turbin de projection pour d'un jet l'abrasif à haute pression contre la surface extérieur de tube.

Le grenailage des tubes est une technique consistant à projeter, à l'aide d'une grenailleuse, des grains métallique (haute dureté) sur la surface de tube pour en modifier la structure superficielle. Le décapage fait par projection de particules abrasives n'ayant pas la forme d'une bille (il faudrait alors en principe plutôt parler de sablage) afin de :

- Enlever les contaminants de surface.
- Rendre rugueuse une surface lisse.
- Nettoyage les surface.

Le profil de surface obtenu doit être d'une rugosité et degré de soins comprise selon ISO 21809 :2011



Figure I.35 Grenailleuse (machine de projection abrasive)

### 11. L'onduleur :

C'est un cylindre qui permet les tubes passe à l'intérieur alors qu'ils sont chauffés à une certaine température. Le principe de fonctionnement de cet équipement est la conversion d'énergie.

Le chauffage des tubes par induction est une technique de chauffage reposant sur l'induction électromagnétique. Son avantage est de chauffer des matériaux sans contact avec la source d'énergie. Cet équipement est largement utilisé pour préchauffer avant le revêtement dans l'huile et gaz pipeline construction.

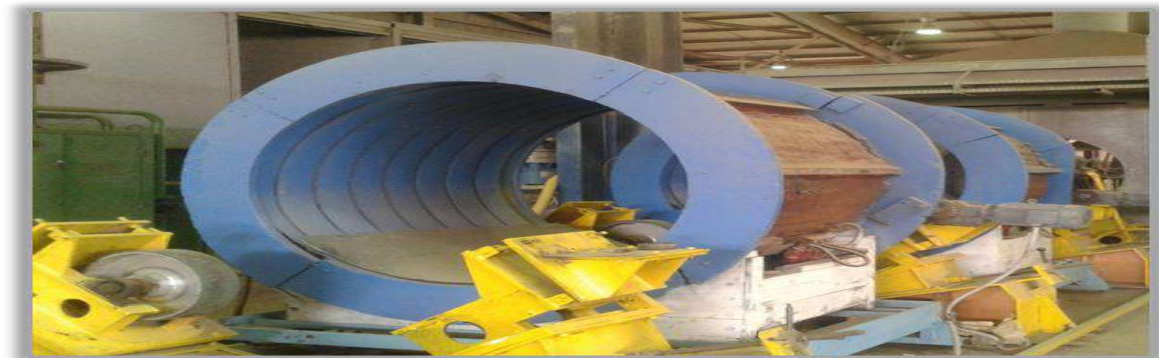


Figure I.36 Les ondulateurs de préchauffage des tubes

La température du tube avant et pendant l'application de l'époxy doit être conforme à la température d'application dans la fiche technique fournisseur (Epoxy).

### 12. Cabine de poudrage – époxy :

C'est une cabine pour pulvérisation de poudres, avec cartouches filtrantes, ventilateurs et 12 pistolets électrostatiques montés en position horizontale ou verticale.

L'application de la peinture sous forme de poudre est effectuée à l'intérieur de cabine de pulvérisation. La projection de la peinture se fait par pistolets électrostatique, qui portent une charge positive. La peinture se présente sous la forme d'une poudre froide très fine qui est chargée (positivement) par un champ électrique. Les tubes à peindre, conductrice, porte une charge opposée (négative) ; la poudre, attirée par la force de Coulomb, Ce qui permet la fusion et la polymérisation de la poudre.



Figure I.37 La cabine de poudrage thermodurcissable

Le rôle de cette technique est augmenté l'adhérence de l'époxy avec le substrat des tubes.



Figure I.38 Les pistolets électrostatiques

### 13. Extrudeuse thermoplastique (adhésif, polyéthylène) : [1]

Un cylindre contenant un axe en spirale à l'intérieur et des résistances électriques à la paroi extérieure pour chauffer la surface extérieure de cylindre.

La Rotation de l'axe fonctionne pour pousser les granules Vers la tête et la fusion des granules se produit quand été passé à travers les résistances de chauffage pour produire une film uniforme d'épaisseur et largeur connue pour coller directement sur tube.

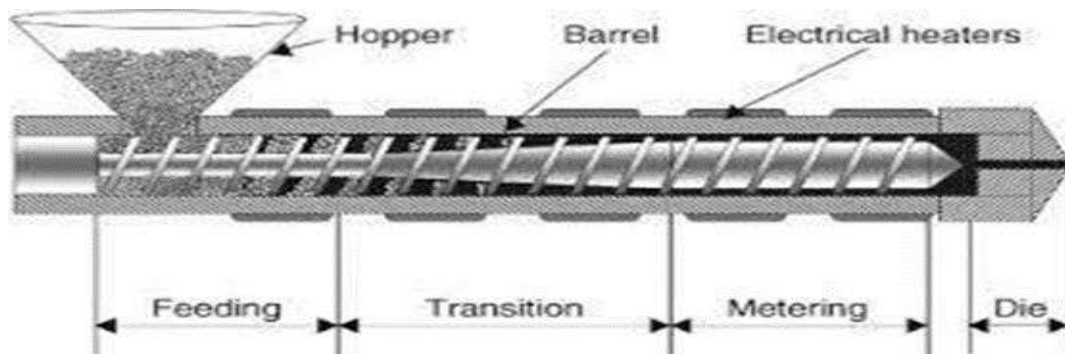


Figure I.39 Mode de fonctionnement d'une extrudeuse thermoplastique



Figure I.41 Extrudeuse polyéthylène

Figure I.42 Extrudeuse adhésif

Figure I.40 Les extrudeuses thermoplastiques (adhésif, polyéthylène)



Figure I.43 Fonctionnement des extrudeuses thermoplastiques dans la chaîne de revêtement du tube

**14. Tunnel de refroidissement :**

Après l'application de system tri-couches le tube doit être entré dans le tunnel de refroidissement pour prendre un bain d'eau et refroidir le revêtement jusqu'à une température qui évite les endommagements du revêtement.



**Figure I.44 Tunnel de refroidissement des tubes revêtus**

**15. Cut- back (Bosseuse d'extrémité) :**

Le revêtement aux extrémités du tube doit être enlevé pour disposer d'une longueur de métal nu, cette action est pour l'assemblage des tubes par les joints de soudure lors de la pose des tubes dans les réseaux enterrée.



**Figure I.45 Brosseurs d'extrémité du tube**

**16. Contrôle de continuité par le balai électrique (charge électrique 25Kv) :**

Lors le contact du balai électrique avec la surface extérieure de tube. Le balai électrique signaler les défauts et discontinuités, dédoubleurs, décollements et porosités de revêtement.

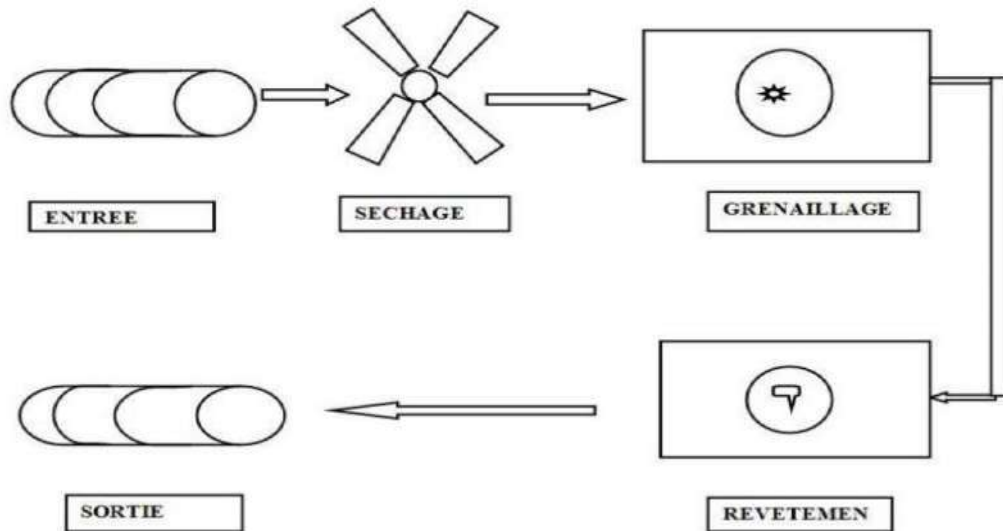
Cette signaux se produites si la charge électrique de balai trouver des orifices à travers le revêtement vers le métal de tube.





Figure I.46 Balai électrique

➤ 3.1.3 Usine du revêtement intérieur :



Processus de revêtement intérieur

Figure I.47 processus de revêtement intérieur

Couche d'époxy :

La machine époxy sert au revêtement intérieur de tubes en aciers

La machine époxy est constituée de :

- Pompe pour : peinture durcisseur
- Deux bacs d'alimentation : bleu=époxy, rouge=durcisseur
- Pompe de rinçage
- Pistolet airales

A la fin de l'opération de revêtement, les tubes sont séchés

17. Nettoyage au karcher.

18. Séchage par brûleur à gaz.

19. Grenailage tube.

**20. Peinture intérieure.****21. Contrôle final.**

**Figure I.48 L'aspect du tube de peinture à l'intérieur**

Le revêtement intérieur a son but de revêtement anticorrosion de tubes d'acier transportant Soit :

- \* Gaz : gaz naturel.
- \* Hydraulique : eau potable et d'assainissement.



**Figure I.49 Où sont stockés les tuyaux fabriqués**

**3.2 De contrôle de qualité :**

Il y a trois tests spécifiques pendant le test du processus de fabrication des tubes, un au niveau de l'usine de fabrication de tuyaux et deux au niveau de l'usine du revêtement.

**3.2.1 Contrôle qualité au niveau de laboratoire :**

Ces tests sont au niveau usine de fabrication des tubes.

**Tableau -2- Contrôle qualité mécanique**

caractéristique appliqué	méthode
Analyses chimiques	/
Essai de traction	/
Essai de pliage	NF EN 910: 1996
Essai de résilience	NFA 03-161
Essai la dureté	/

**3.2.2 Contrôle qualité au niveau d'atelier : [1]**

Ces tests sont au niveau Usine du revêtement.

Cette étude est Effectuée sur le tube directement.

**Tableau -3- Contrôle qualité au niveau d'atelier dans Usine du revêtement**

caractéristique appliqué	méthode	acceptante
Taux de poussière	ISO 8502-3	Max classe 2
Dégré de soins	ISO 8501-1	Sa 2.5
Rugosité	ISO 8503-4/5	50...100 micromètre
Sel soluble après projection	ISO 8502-9	$\leq 20\text{mg/m}^2$
Epaisseur tri couches	ISO 21809-1 Annexe A – Tableau 2	125 micromètre mini époxy 150 micromètre mini adhésif 3 mm mini Tri-couches
Cut-back	ISO 21809-1 10.3	140mm $\pm$ 10mm
Biseautage	ISO 21809-1 10.3	30° maximal
Porosité (balai électrique)	ISO 21809-1 Annexe B – Tableau 7	Aucune porosité
Choc (impact)	ISO 21809-1 Annexe E - Tableau	Aucune détection porosité
Pelage (arrachement)	ISO 21809-1 Annexe C – Tableau 7	Vitesse $\leq 10\text{mm/min}$

### 3.2.3 Contrôle qualité au niveau de laboratoire : [1]

Ces tests sont au niveau Usine du revêtement.

Les échantillons dont nous disposons pour cette étude sont prélevés dans des véroles sont découpé du tube revêtu.

**Tableau -4- Contrôle qualité au niveau de laboratoire dans Usine du revêtement**

<i>Caractéristique appliqué</i>	<i>Méthode</i>	<i>acceptante</i>
<i>Analyse thermique du filme FBE</i>	<i>ISO 21809-1 Annexe D – Tableau 7</i>	<i><math>\Delta T_g \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C}</math></i>
<i>Indentation (poinçonnement)</i>	<i>ISO 21809-1 Annexe F – Tableau 7</i>	<i>À la <math>T^\circ : 23^\circ\text{C} \dots \leq 0.2</math> <math>T^\circ : 80^\circ\text{C} \dots \leq 0.4</math></i>
<i>Allongement à la rupture</i>	<i>ISO 527</i>	<i><math>\geq 400 \%</math></i>
<i>Décollement cathodique</i>	<i>ISO 21809-1 Annexe H – Tableau 7</i>	<i>Rayon décollé <math>\leq 7\text{mm}</math></i>
<i>Immersion dans l'eau chaude</i>	<i>ISO 21809-1 Annexe M - Tableau</i>	<i>Moyen <math>\leq 2\text{mm}</math> Max <math>\leq 3\text{mm}</math></i>
<i>Dégradation de PE</i>	<i>ISO 1133</i>	<i><math>\geq 20 \%</math></i>

## 4. 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 national.

Pendant les 15 jours de formation que nous avons faite à ALFAPIPE- GHARDAIA -, nous avons pu découvrir un monde que nous connaissions très peu mais qui nous a beaucoup intéressés. Nous aimerions approfondir nos compétences en la matière.

Nous avons obtenu d'excellentes informations pour un véritable système de production (système de transport, stockage, processus de fabrication, laboratoires, appareils, différents matériaux) où nous pouvons essayer de fabriquer si nous avons l'équipement nécessaire.

Ce stage a vraiment confirmé mes ambitions futures d'exercer dans le domaine de la mécanique, même s'il me reste encore beaucoup à apprendre.

---

## CHAPITRE II

# L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

## 1. Introduction :

La réflexion sur les structures en acier a commencé au début des 20 siècles avec l'émergence de la technologie industrielle, où de nombreuses variétés d'acier de construction étaient disponibles sur les marchés mondiaux, en plus de l'acier à haute résistance, qui s'est avéré économiquement faisable.

## 2. Définition 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. [2]

## 3. Histoire Acier :

[3] يقول عز من قائل:

{لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ} (الحديد: 25)

Selon ce verset, les musulmans croient que le fer est descendu du ciel et l'a lié à ce qui a été dit dans les théories scientifiques modernes selon lesquelles le fer n'était pas présent sur Terre il y a des millions d'années. Au lieu de cela, la Terre a atteint à travers des météorites pendant les périodes de formation de la Terre.

Une personne préhistorique a acquis du fer à partir de météorites et l'a ensuite utilisé pour fabriquer des outils, des armes et d'autres composants. Le mot fer signifie dans de nombreuses langues anciennes un minéral du ciel. La météorite était utilisée dans les temps anciens, qui peuvent atteindre quatre mille ans avant JC

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.

Au début des 18 siècles après JC, les fabricants britanniques de fer ont commencé à utiliser du coke au lieu du charbon dans les fours de fusion en raison d'une pénurie de bois, qui est la principale source de charbon.

À la fin du 18 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 aidée par le développement de nouvelles méthodes de fabrication et de conversion de la fonte en acier. En 1856 après JC, le procédé Bessemer a pu produire de l'acier directement à partir de la fonte.

Après l'émergence du Bessemer et les méthodes de four à ciel ouvert pour la fabrication et la production d'acier, L'industrie sidérurgique s'est développée et s'est développée très rapidement au milieu du 19 siècle.

Les usines sidérurgiques qui ont été établies dans les années quatre-vingt du 20 siècle se sont distinguées par le mécanisme complet et elles sont également équipées d'un équipement à haute productivité qui contrôle le fonctionnement de divers types d'ordinateurs. [2]

#### **4. Fabrication de l'acier : [4]**

1. La formation de la fonte : le minerai de fer et le coke sont introduits dans le haut fourneau par le haut, la chaleur provoquant la combustion du coke et l'élimination des éléments chimiques contaminants. Le fer se charge ensuite de carbone au cours de sa descente et se transforme en fonte, qu'il faut alors séparer d'un mélange de déchets appelé laitier.

2. La conversion de la fonte en acier : la fonte en fusion est ensuite versée sur de la ferraille dans un convertisseur à oxygène où de l'oxygène est insufflé pour éliminer le carbone sous forme de CO<sub>2</sub>.

3. L'affinage : l'acier obtenu est affiné en ajoutant des éléments (nickel, chrome...) pour former différents alliages et modifier les propriétés mécaniques de l'acier en fonction des besoins.

4. La coulée : l'acier est refroidi progressivement jusqu'à solidification.

5. Le laminage : l'acier est à nouveau monté à température pour le rendre malléable. Il est ensuite aplati dans des laminoirs et la forme voulue lui est donnée.

## 5. Acier à haute limite d'élasticité :

Lorsque les constructions sont fortement sollicitées et nécessitent de la légèreté, les aciers à haute limite élastique sont le premier choix des constructeurs.

Les aciers HLE sont des aciers à haute résistance obtenue par l'ajout d'éléments de micro-alliage (niobium, titane, vanadium, etc...) afin de minimiser l'ajout de carbone, de manganèse, etc. C'est pour cette raison qu'ils présentent une soudabilité supérieure.

Les aciers HLE sont utilisés pour les applications où leurs atouts (résistance, déformabilité et soudabilité) peuvent être exploités : transport, levage, etc. Leur utilisation permet souvent une réduction de poids. [5]

### 5.1 Propriétés mécaniques :

- Domaine élastique :
  - modules d'élasticité (Young E, Coulomb G, compression K) [GPa]
  - coefficient de Poisson  $\nu = - \epsilon_t / \epsilon$  [Sans unité]
- Domaine plastique :
  - limite élastique  $R_e$  (traction/compression) [MPa]
  - résistance en traction  $R_m$  [MPa]
  - déformation après rupture  $\epsilon_R$  [Sans unité]
  - dureté H [Sans unité]

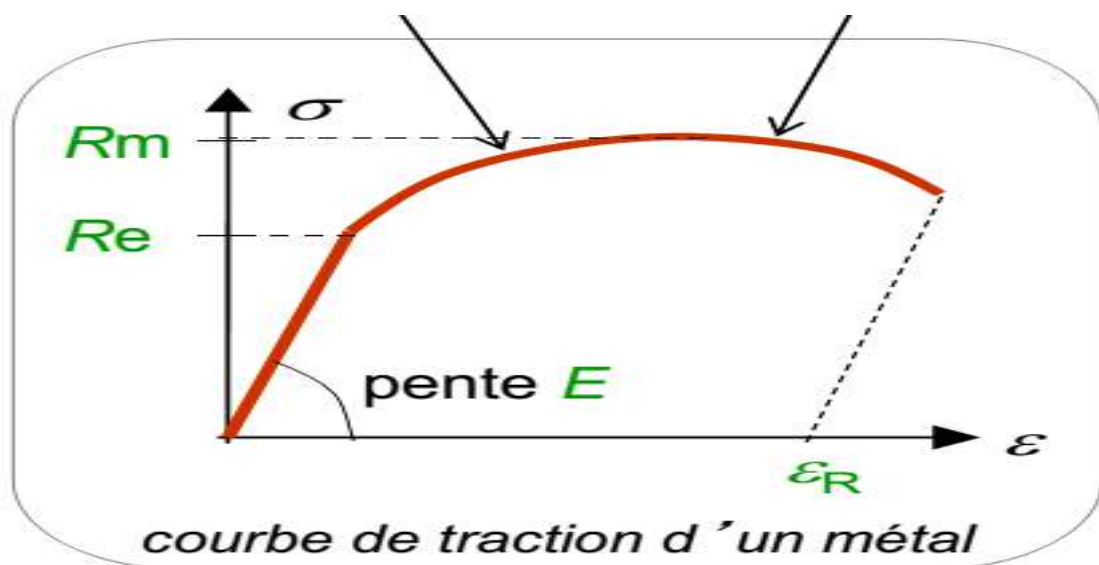


Figure II.1 Propriétés mécaniques



### 5.2 La composition chimique :

Les aciers à haute limite d'élasticité (HLE) sont des aciers micro alliés au niobium, au vanadium, et au titane.

En plus de ses autres éléments de base, qui sont : le carbone, le manganèse, le molybdène, l'aluminium et le silicium.

Ils sont également communément connus sous le nom des aciers à dispersion des 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.

### 5.3 Influence La composition chimique : [6]

1. Le carbone : [7]

- L'augmentation des niveaux de carbone dans l'acier améliore la résistance mécanique (Rm).
- Contrainte améliorée sur la limite élastique (Re).
- Améliore la dureté de l'acier (Hv).
- Faible ductilité (Z). Et donc formation d'acier.

2. Le manganèse : Le manganèse est un élément essentiel des alliages d'acier à faible teneur en carbone. . [8]

- Il augmente la résistance élastique de l'acier de 30 MPa pour 1% en poids de manganèse.
- Détection des emplacements des éléments soufrés (S) dans l'acier par formation de composé (Mn S).

3. le molybdène : C'est (Mo) le deuxième élément après le carbone dans le renforcement du fer [9].

- Soulever la dureté microscopique de l'acier.
- Hauteur de durcissement de la structure entre deux températures (400°C\_ 625°C).
- Anti-oxydant et corrosion chimique.

4. le silicium :

- Acier à haute dureté (1,5-2) Kg / mm<sup>2</sup> pour 0,1% en poids de silicium.

### 5. Aluminium :

- Augmente la résistance à l'oxydation de l'acier.
- Il peut interférer avec certains processus de durcissement.

### 6. Le Vanadium :

- Cet élément augmente la dureté de l'acier sans réduire l'allongement ou la flexibilité.
- C'est un oxydant actif qui améliore la qualité de l'acier.
- (0,5% à 0,7%) de vanadium est suffisant pour convertir les propriétés de l'acier.
- La résistance à la traction et la fatigue augmentent considérablement et l'acier est moins susceptible de chauffer les mamelons.
- Ce composant élève la température, pour éviter les bandes molles après traitement.

### 5.4 Carbone équivalent :

Les éléments en acier ont également affecté la sensibilité de l'acier au soudage, car une relation semi-expérimentale a émergé reliant la concentration de carbone et les éléments en acier ensemble.

Cette relation est connue comme le carbone équivalent, selon la phrase suivante [10] :

$$C_{Eq} = C + Mn / 6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$$

Le rapport carbone équivalent a été déterminé par 0.49% poids par le groupe européen, afin que l'acier ne perde pas la propriété de soudage et en même temps conserve des propriétés mécaniques importantes. [11]

### 5.5 Avantage des aciers HLE :

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

## 6. Aciers HLE de grade X70 :

Le développement des transports à grande distance de quantités importantes d'hydrocarbures a nécessité dès l'emploi des types de grand diamètre, exploités à des pressions plus élevées pour éviter d'atteindre des épaisseurs difficiles à souder et faire des économies d'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.

### 6.1 Propriétés mécanique :

Tableau -5- Caractéristiques mécanique de l'acier X70 selon l'API5L

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

Avec :

B : Epaisseur.

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

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

Elle est obtenue par l'analyse par spectrométrie (mesure d'onde d'élément)

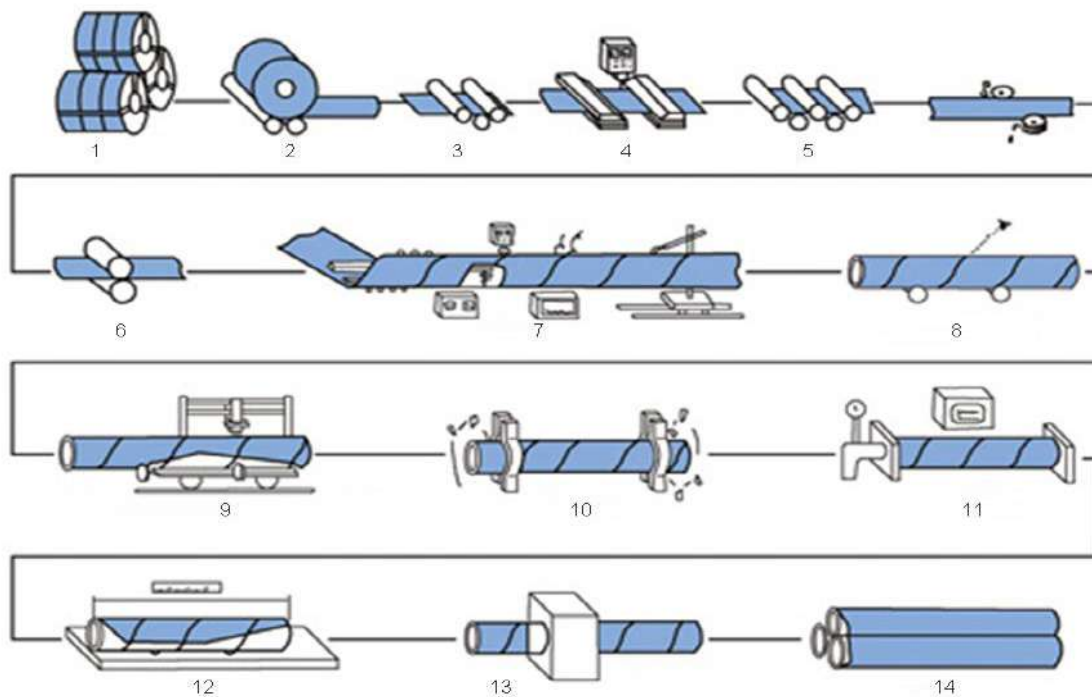
L'acier X70 contient une faible teneur de carbone (0.085). [12]

Tableau -6- Composition chimique de l'acier X70

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

## 7. Le cycle de fabrication des tubes en forme spirale :

Procédé de production de tuyaux en acier en spirale et tuyau en acier de couture droite est différente: la bobine de bande de matière première, moulage par extrusion souvent chaud, automatique à double fil à double face procédé de soudage à l'arc submergé soudés de tuyaux en acier de couture en spirale.



**Figure II.2 Le cycle de fabrication des tubes en forme spirale**

1. Inspection des matières premières :

Les matières premières sont des bobines d'acier, fil de soudage, et flux. Passer par des tests physiques et chimiques rigoureuses avant d'investir.

2. Déroulage :

Pour le soudage bout à bout en bout de bandes d'acier, mono-fil ou le soudage à l'arc submergé à double fil est utilisé, et après que les bobines sont réalisées en tubes d'acier, soudage à l'arc submergé automatique est utilisé pour compenser le soudage.

3. Nivellement rugueux :

Avant la formation, la bande d'acier est nivelé, parés, bordé, surface nettoyée et pré-brides.

4. Fin de coupe et soudage bout à bout :

La jauge de contact électrique de pression est utilisée pour contrôler la pression des cylindres de compression sur les deux côtés du convoyeur pour assurer le bon déroulement de la bande.

5. Nivellement de précision :

Le contrôle externe ou un rouleau de commande interne formant.

6. La livraison :

Le dispositif de commande d'intervalle de soudage est utilisé pour assurer que la fente de soudage est conforme aux exigences de soudage, et le diamètre du tuyau, la quantité de défaut d'alignement, et l'écart de soudure sont tous strictement contrôlés.

#### 7. En formant intérieur et extérieur de soudage :

Les soudures intérieures et extérieures sont toutes soudées par arc submergé simple fil ou double fil de soudage à l'aide du Lincoln Electric Soudeur des États-Unis, obtenant ainsi une spécification stable de soudure.

#### 8. Soudure slag nettoyage & inspection générale :

Soudures soudées tous ont été inspectés par un appareil de contrôle de défaut automatique continu par ultrasons en ligne pour assurer une couverture de contrôle non destructif de 100% soudures en spirale. S'il y a des défauts, ils seront automatiquement alarmés et peints. Les travailleurs de la production ajusteront les paramètres du processus à tout moment pour éliminer les défauts dans le temps.

#### 9. Soudure de réparation, X-Ray Inspection, Balayage, Et Réinspection par UT Manuel :

Utilisation d'un coupeur de plasma d'air pour couper le tuyau en acier en morceaux individuels.

#### 10. Chanfreinage :

Après la coupe en un seul tuyau d'acier, un premier système d'inspection stricte est effectuée pour chacun des trois premiers tuyaux de chaque lot pour inspecter les propriétés mécaniques, composition chimique, état de fusion, qualité de surface des tubes en acier, et le contrôle non destructif pour assurer la conduite de prise de processus. Qualifiés avant de pouvoir officiellement mis en production.

#### 11. Essais hydrostatiques :

Lorsqu'il y a une marque de détection de défauts d'ondes sonores en continu sur la soudure, après examen manuel par ultrasons et à rayons X, s'il y a un défaut, après réparation, il doit subir un contrôle non destructif à nouveau jusqu'à ce qu'il soit confirmé que le défaut a été éliminé.

#### 12. Auto-Longueur de mesure et de pesage :

Les joints bout à bout des soudures bout à bout et les intersections avec les soudures en spirale de la bande d'acier sont toutes examinées par la télévision à rayons X ou d'un film.

#### 13. Revêtement et marquage :

Chaque tuyau est testé hydrostatique et la pression est étanche radial. La pression d'épreuve et le temps sont strictement contrôlés par le dispositif de contrôle de pression hydraulique de tuyaux en acier. Les paramètres de test sont automatiquement imprimés et enregistrés.

#### 14. Espace de rangement :

Usinage fin de chaîne est réalisé de telle sorte que la verticalité de la face d'extrémité, l'angle de rainure et le bord émoussé sont contrôlés avec précision.

## 8. Procédé de soudage :

### 8.1 Généralité sur le soudage :

Le soudage est un procédé d'assemblage permanent. Il a pour objet d'assurer la continuité de la matière à assembler. Dans le cas des métaux, cette continuité est réalisée à l'échelle de l'édifice atomique. En dehors du cas idéal où les forces inter-atomiques et la diffusion assurent lentement le soudage des pièces métalliques mises entièrement en contact suivant des surfaces parfaitement compatibles et exemptes de toute pollution, il est nécessaire de faire intervenir une énergie d'activation pour réaliser rapidement la continuité recherchée.

L'opération peut être appliquée aux métaux ainsi qu'aux thermoplastiques (voir soudage plastique) et au bois (voir soudage du bois). Le soudage permet d'obtenir une continuité de la nature des matériaux assemblés : matériau métallique, matière plastique, etc. De ce fait, les techniques d'assemblage mécaniques (rivetage, boulonnage, agrafage...) ou par adhésion (collage), ainsi que les techniques de brasage ne répondent pas à la définition du soudage.

### 8.2 Histoire sur le soudage :

L'histoire de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle au début du 20<sup>ème</sup> siècle a vu un bond énorme et énorme dans le monde de l'industrie à travers le domaine du soudage et l'une des méthodes de communication les plus courantes entre les métaux.

A cette époque s'invente:

- Le soudage par aluminothermie (procédé chimique): Goldsmith, Allemagne
- Le soudage avec électrode de charbonne: Bernardo ET Olszewski, Russie
- Le soudage avec électrode fusible fluë: Slavian, RUSSIE
- Le soudage avec électrode enrobée Keller, Suede
- Le soudage par résistance Thompson, USA
- Le soudage au gaz (chalumeau): Picard, France

### 8.3 Les différents types de soudage :

- Soudage à la flamme
- Soudage aluminothermique
- Soudage électrique par résistance
- Soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées
- Soudage par friction
- Soudage par friction malaxage ou soudage thixotropique

- Soudage à l'arc sous flux
- Soudage hybride
- Soudage électro gaz
- Soudage par diffusion
- Soudage par ultrason

#### **8.4 Les défauts de soudure :**

Il existe une grande variété de défauts caractérisés par leur nature (solide, gazeuse) leur forme et par leur origine. Lors du contrôle, la distinction entre différents types de défauts se relève cruciale car elle permet souvent d'estimer les risques de fracture de matériau.

En soudage « un défaut » : discontinuité dans la soudure ou écart par rapport à la géométrie volume.

#### **8.5 Les principaux défauts de soudure :**

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

- a. Groupe 1 : Fissures.
- b. Groupe 2 : Cavités.
- c. Groupe 3 : Inclusion solide.
- d. Groupe 4 : Manque de fusion / Manque de pénétration.
- e. Groupe 5 : Défauts de forme.

#### **8.6 Procédé de soudage des tubes en forme spirale :**

##### **8.6.1 Tube soudée en spirale :**

La fabrication des tubes soudés en spirale est réalisée en continu sur des machines à souder

Après déroulement de la bobine en bande par un train d'entraînement la tôle est poussée dans la cage de formage ou elle subit une déformation de cintrage sous l'action d'un vérin L'obtention du formage en spirale est réalisée par l'inclusion d'angle  $3$  entre l'axe initial de la Bande et l'axe de sortie du tube

L'enroulement des tubes en spirale permet d'obtenir des tubes calibrés sans avoir besoin

Recouvrir à des étapes de fabrication supplémentaire telles que l'expansion ou le calibrage

De ce fait, le tube précontraint lors de la phase de pliage, le reste par la suite des épaisseurs

De paroi au-dessus de 20 mm, on utilise habituellement des tôles fortes.

Ce procédé permet une exploitation économique optimale de la largeur de bande disponible, de par le rapport largeur de bande –diamètre allant jusqu'à environ 2.2

### 8.6.2 Soudage des tubes en forme spirale (soudage sous flux en poudre(SAW)) :

Le soudage à l'arc sous flux en poudre (SAW) constitue l'automatisation du soudage à l'électrode enrobée. Il associe en effet un fil électrode fusible, dévidé d'une bobine, avec une protection obtenue par des vapeurs provenant d'une poudre composite comparable à l'enrobage et apportée directement dans la zone d'arc, mais indépendamment de l'électrode. Cette disposition permet de réaliser des soudures ininterrompues multi horaires. Ce procédé est aussi appelé soudage à l'arc submergé (submerged arc welding process ou SAFW).

### 8.7 Zones constitutives d'un joint soudé :

Afin d'obtenir un joint soudé, par fusion du métal de base des deux composants à combiner avec ou sans métal d'apport.

- La zone de fusion (ZF) mélangé : la zone où de métal d'apport et le métal de base sont mélangés de façon homogène (Bain de fusion) sous une température élevée adaptée dit température de liquides.
- La zone affectée thermiquement (ZAT) : ou zone affectée par la chaleur est la zone de métal de base où ses propriétés mécaniques et microstructures sont modifiées par la chaleur du soudage.
- La zone fondue partiellement (ZFP) : elle est nommée aussi par la zone de liaison, elle se situe entre la zone de fusion et la zone affectée thermiquement.
- La racine : endroit jusqu' où le métal d'apport a pénétré.
- Le Face ou surépaisseur : surface extérieure de la soudure.

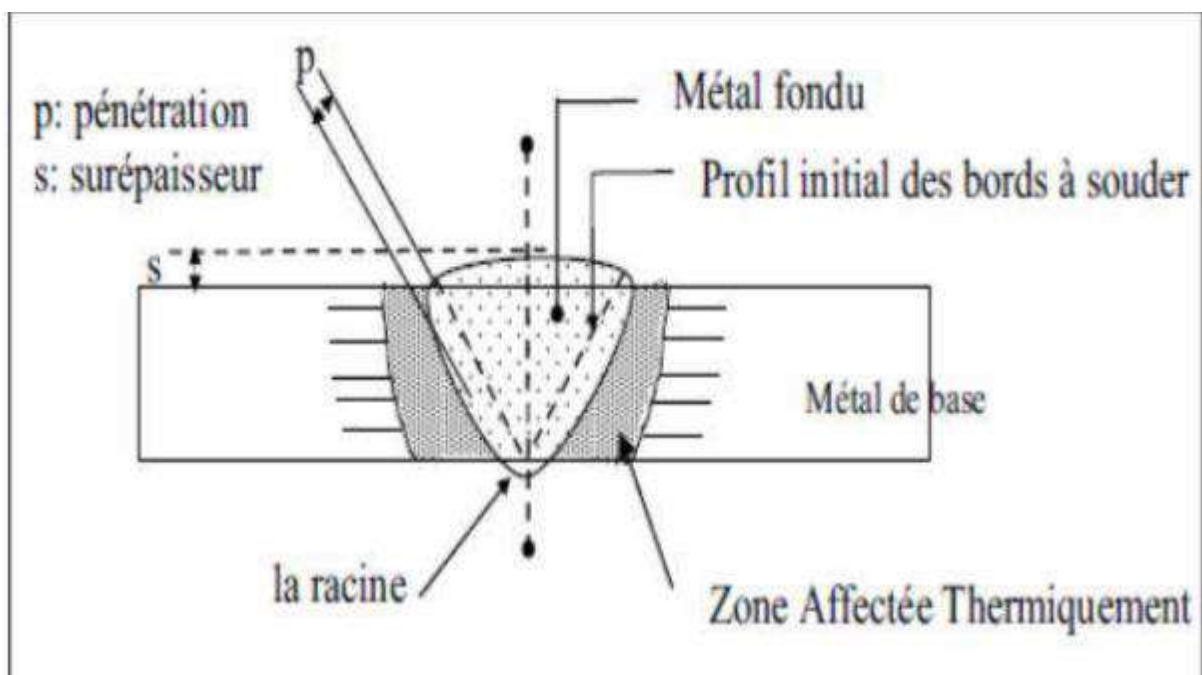


Figure II.3 Les différentes zones de soudure



## 9. Caractérisations des aciers API :

Les qualités d'acier couramment utilisées dans la construction des pipelines sont définies dans deux spécifications API [American petroleum Institute] qui sont adaptées depuis 1922 par l'industrie pétrolière américaine } Dénommées 5L pour les qualités normales } 5L (\*), pour les qualités à haute résistance. Ces spécifications sont utilisées d'une façon générale dans le monde entier. Les qualités d'acier les plus employées ont les propriétés mécaniques présentées.

**Tableau -7- Propriétés mécaniques des aciers pour tubes selon la norme API**

SPECIFICATION API	GRADE	LIMITE ELASTICITE (kg/mm <sup>2</sup> )	RESISRANCEA LARUPTURE (kg/mm <sup>2</sup> )
5L	A	21	34
5L	B	25	42
5LX	X42	29	42
5LX	X46	32	45
5LX	X52	37	47
5LX	X56	39	52
5LX	X60	41	55
5LX	X65	46	56
5XL	X70	48	56

## 10. La norme API-5L :

Depuis plus de 25 ans, les industries de la métallurgie et de la sidérurgie développent de nouveaux types d'aciers, appelés Aciers à Haute limite d'Elasticité (acier HLE), afin de diminuer le prix de revient des pipelines. Ces métaux, qui possèdent de bonnes propriétés mécaniques, permettent de diminuer l'épaisseur des pipelines, donc de minimiser la quantité de matériau nécessaire à leur élaboration. Le coût de fabrication d'un pipeline étant essentiellement déterminé par cette quantité, l'usage d'aciers HLE permet de réaliser de fortes économies.

Les quatre tableaux suivant reflètent la composition chimique et les caractéristiques mécaniques de l'acier type API 5L, tubes de conduite PSL1 et PSL2 :

**Tableau -8- Composition chimique % (Tubes de conduite PSL1 soudés) [13]**

API 5L - PSL1	Carbone C (max)	Manganèse Mn (max)	Phosphore P (max)	Soufre S (max)	Titan Ti (max)
X42	0.26	1.30	0.030	0.030	0.04
X52	0.26	1.40	0.030	0.030	0.04
X60	0.26	1.40	0.030	0.030	0.04
X65	0.26	1.45	0.030	0.030	0.06
X70	0.26	1.65	0.030	0.030	0.06

**Tableau -9- Composition chimique % (Tubes de conduite PSL2 soudés) [13]**

API 5L - PSL2	Carbone C (max)	Manganèse Mn (max)	Phosphore P (max)	Soufre S (max)	Titan Ti (max)
X42	0.22	1.30	0.25	0.15	0.04
X52	0.22	1.40	0.25	0.15	0.04
X60	0.22	1.40	0.25	0.15	0.04
X65	0.22	1.45	0.25	0.15	0.06
X70	0.22	1.65	0.25	0.15	0.06
X80	0.22	1.85	0.25	0.15	0.06
X100	0.22	1.85	0.25	0.15	0.06

**Tableau -10- Caractéristiques mécaniques (Tubes de conduite PSL1) [13]**

API 5L – PSL1	Résistance à la rupture [N/mm <sup>2</sup> ] (minimum)	Limite élastique [N/mm <sup>2</sup> ] (min max)
X42	414	290
X52	455	359
X60	517	414
X65	531	448
X70	565	483

**Tableau -11- Caractéristiques mécaniques (Tubes de conduite PSL2) [13]**

API 5L – PSL2	Résistance à la rupture [N/mm <sup>2</sup> ] (minimum)	Limite élastique [N/mm <sup>2</sup> ] (min max)
X42	414-758	290-496
X52	455-758	359-531
X60	517-758	414-565
X65	531-758	448-600
X70	565-758	483-621
X80	621-827	552-690

## 11. Conclusion :

Du point de vue environnemental, l'acier est considéré comme un matériau extrêmement précieux car il peut être recyclé à partir de l'acier consommé sans perte d'efficacité et plusieurs fois, car il est fondu et renvoyé comme fer en acier pour la fabrication et l'utilisation. D'autre part, le fer en acier lui-même n'est pas nocif pour l'environnement et n'est pas nocif pour les humains ou les animaux, et n'a pas besoin lorsque Utiliser ou disposer de toute réserve d'assurance dans le but de préserver l'environnement.

---

## CHAPITRE III

# L'ETUDE EXPERIMENTALE REALISES ALFAPIPE

---

### 1. Introduction :

Les différents essais destructifs réalisés sur un anneau de tube sont des essais mécaniques (analyse chimique, dureté, résilience, traction, pliage). Son laboratoire d'essais mécaniques dispose d'équipements fiables étalonnés périodiquement.

Les clients de l'entreprise ALFAPIPE comptent sur le suivi de ces tests en raison de leur grande importance.

### 2. Prélèvement des échantillons :

Les échantillons destinés aux essais destructifs sont prélevés d'un anneau du tube obturé à l'une des extrémités. La paire de plaques (métal de base, joint soudé) sont prélevés transversalement à l'axe du tube.

L'échantillonnage du test dépend des machines suivantes :



Figure III.1 Scie électrique



Figure III.2 Scie électrique



Figure III.3 Machine de tournage



Figure III.4 Machine de tournage

### 3. Essais réalisés :

Tous les essais sont effectués en conformité avec les normes API 5 L et avec les spécifications du client.

#### 4. Essais utilisés pour la caractérisation :

Ce sont des tests destructifs viennent consolider la qualité du produit fabriqué par ALFAPIPE. Son laboratoire d'essais mécaniques dispose d'équipements fiables étalonnés périodiquement. Les différents essais destructifs réalisés sur un anneau de tube sont des essais mécaniques e (dureté, résilience, traction) et une analyse chimique.

##### 4.1 Analyses chimiques :

L'analyse chimique se fait sur le métal de base. 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.

###### 4.1.1 But de travail :

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, cette évolution concerne le métal de base MB et le joint soudé (ZAT, ZF...) pour mieux évaluer ce comportement.

###### 4.1.2 Le carbone équivalent :

$$C_{Eq} = C + Mn /6 + (Cr + Mo + V) /5 + (Ni + Cu) /15$$

Le carbone et le manganèse ont l'impact le plus important sur la valeur du  $C_{eq}$  en ce qui concerne les aciers modérément alliés. C'est pourquoi pour les calculs d'ordre général, la formule peut parfois être raccourcie :

Le  $C_{eq}$  pour le tube et les soudures correspondantes est en principe inférieure à 0,4%.

$$C_{Eq} = C + Mn /6$$



Figure III.5 Machine d'analyse chimique (Exemple illustratif) [14]

### 4.1.3 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.

**Tableau -12- Composition chimique X70 la norme API 5 L**

Eléments	L'indice	Valeurs max (%)
Carbone	C	0.12
Manganèse	Mn	1.70
Silicium	Si	0.45
Aluminium	AL	0.06
Niobium	Nb	0.06
Vanadium	V	0.10
Titane	Ti	0.06
Nickel	Ni	0.06
Cuivre	Cu	0.25
Chrome	Cr	0.30
Molybdène	Mo	0.10
Soufre	S	0.015
Phosphore	P	0.025
Azote	N	0.012
Calcium	Ca	0.006

### 4.2 Essai de traction :

Un essai de traction est une expérience de physique qui permet de :

- Déterminer le comportement élastique d'un matériau.
- Mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau.

Et ce dans un état de contrainte uni axiale.

#### 4.2.1 But de travail :

Déterminer caractéristiques mécaniques (la résistance ultime à la traction, la limite apparente d'élasticité à 0.2% et l'allongement caractéristiques pour le métal de base et la résistance à la traction du cordon de soudure).

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

#### 4.2.2 Éprouvette de traction :

- 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.

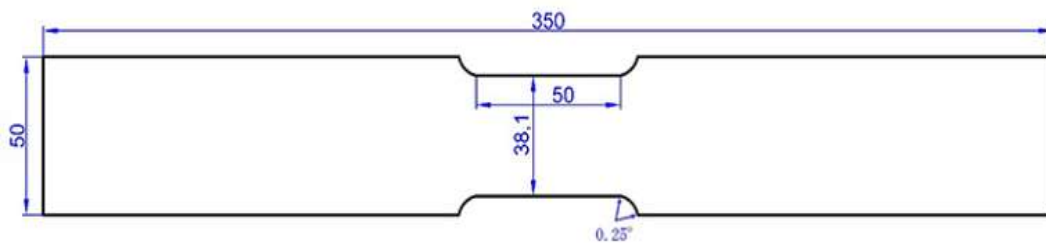


Figure III.6 Éprouvette de traction normalisée selon L'API 5L



Figure III.7 TN traction normale



Figure III.8 TS traction sur soudure

#### 4.2.3 Principe de l'essai :

L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction, l'essai est réalisé sur machine de traction, Une fois l'éprouvette en place, on applique un léger pré charge afin d'être sûr que l'on n'a pas de jeu.

Ensuite, on déplace la traverse à vitesse constante qui a pour effet d'étirer l'éprouvette, et on mesure l'effort généré par ce déplacement. On mesure l'effort par un capteur de force inséré dans la ligne de charge, L'essai s'arrête à la rupture de l'éprouvette.



Figure III.9 Machine essai de traction

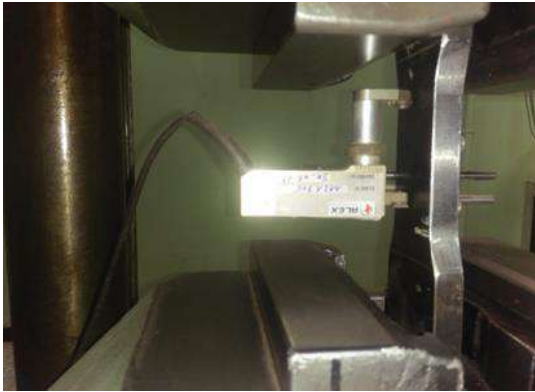


Figure III.10 Un capteur de force



Figure III.11 Fonctionnement en traction

### 4.3 Essai de résilience : [1]

La résilience est la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie quand il se déforme sous l'effet d'un choc. **K** est le symbole résilience.

Il 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, elle est notée **KCU** ou **KCV** en (J/cm<sup>2</sup>) selon l'entaille de l'éprouvette utilisée

$$\text{Résilience} = \text{Energie nécessaire} / \text{section après entaille}$$

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

L'essai de résilience est un complément essentiel de l'essai de traction.

#### 4.3.1 But de travail :

L'essai consiste à déterminer la résistance aux chocs des métaux. La résilience est une des caractéristiques primordiales pour le choix d'un matériau notamment pour les pipelines.

#### 4.3.2 Éprouvette de résilience :

Rupture d'une éprouvette par le couteau d'un mouton pendul (mouton de charpy)

Carastéristiques des entaillées **V** :

A - Epreuve en **V** symbole **Kcv**

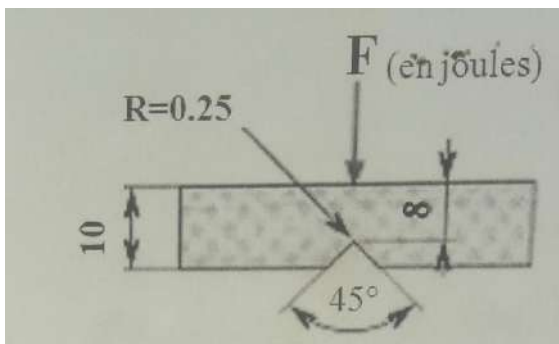


Schéma -4- Éprouvette de résilience



Figure III.12 Éprouvette de résilience



B – Normalisation (NFA 03-161) :

Longueur de l'éprouvette -----55mm +- 0.6

Hauteur de l'éprouvette -----10mm +- 0.06

Largeur de l'éprouvette -----10mm +- 0.11

Angle de l'entaille -----45° +- 2°

Rayon à fond d'entaille -----0.25mm +- 0.025

Profondeur d'entaille -----2mm

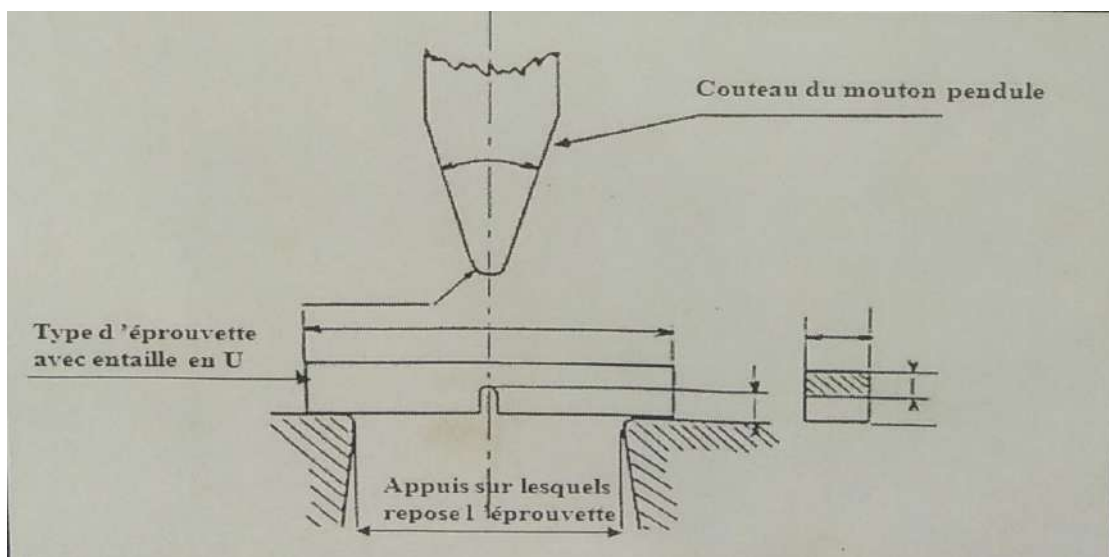


Schéma -5- Couteau de mouton pendule

C – Remarque :

Les éprouvettes que l'on va utiliser pour effectuer les essais sont des éprouvettes normalisées.

C'est-à-dire que leurs caractéristiques sont indiquées par une norme.

Pour réaliser l'essai, il est nécessaire de faire une entaille normalisée sur celle-ci les entailles peuvent être soit en **U** ou en **V**.

#### 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, repose sur des appuis. Au moment où le couteau frappe l'éprouvette (Schéma -5-) on va déterminer l'énergie absorbée qui sera exprimée en joules.

C'est cette énergie qui caractérise la résistance aux chocs des matériaux.

- Présentation de l'essai :

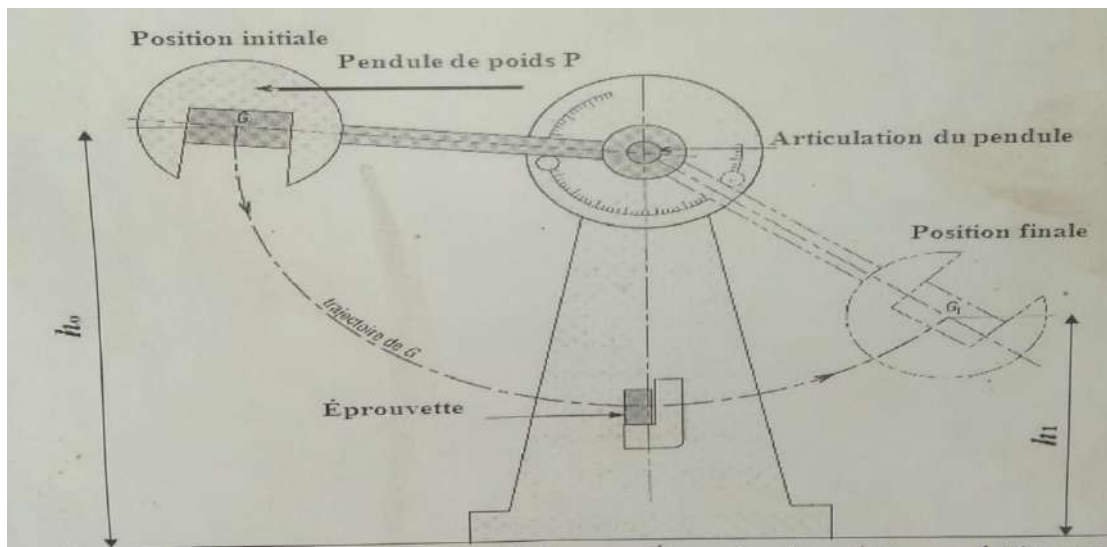


Schéma -6- Présentation de l'essai de résilience

. Energie potentielle du pendule

Au départ :  $W_0 = P \cdot h_0$

A L'arrivée :  $W_1 = P \cdot h_1$

. Energie absorbée par l'éprouvette

$$W = p \cdot (h_0 - h_1)$$

$$= W_0 - W_1$$



Figure III.13 Machine essai de résilience (Mouton pendule Charpy)

#### 4.4 Essai la dureté :

La dureté est la résistance mécanique d'un matériau (échantillon d'essai) à la pénétration mécanique d'un autre corps plus dur (pénétrateur).

Le matériau naturel le plus dur est le diamant. Ce dernier est utilisé comme pénétrateur (diamant industriel).

La définition de la dureté diffère de celle de la ténacité, qui représente la capacité d'un matériau à résister à la déformation et à la séparation.

Dans le cas des essais Brinell, Rockwell et Vickers le symbole de dureté est respectivement HB, HR, HV.

Dans l'entreprise ALFAPIPE utiliser l'essai dureté Vickers.

#### **Essai VICKERS :**

SMITH et SANDLAND, ingénieurs chez VICKERS Ltd GB ont besoin de tester des matériaux trop durs pour le test BRINELL. En 1925, ils conçoivent une pyramide diamant. Cette pyramide de diamant à base carrée a un angle au sommet de 136°.

Après l'indentation, on mesure la moyenne des diagonales d1 et d2 de l'empreinte en microscopie optique.

Dureté Vickers  $HV = 1,854 F/d^2$

**F** = charge d'essai (de 1 à 120 daN)

**D** = diagonale (moyenne de d1 et d2) de l'empreinte en mm

L'essai VICKERS est adapté pour les alliages durs et les céramiques

#### **4.4.1 But de travail :**

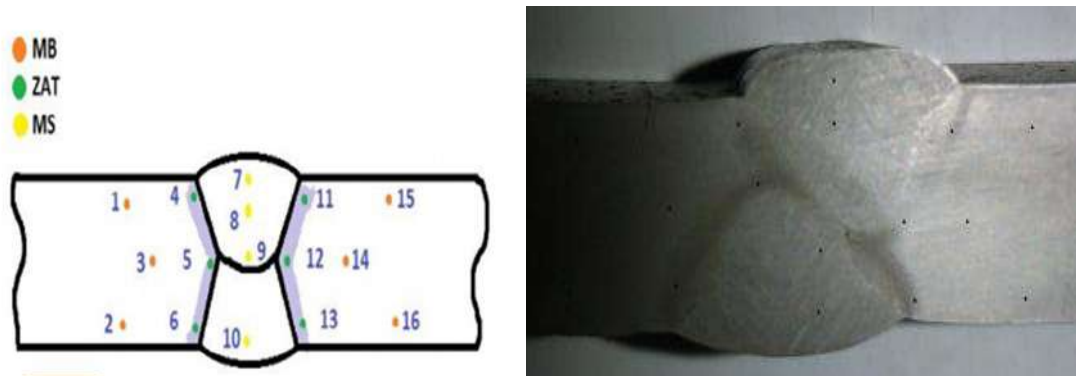
L'essai de dureté est un outil essentiel de discrimination des matériaux et d'analyse, de développement et d'amélioration des matériaux et des technologies dans le cadre de la recherche fondamentale (science des matériaux, techniques des matériaux, diagnostic des matériaux).

Il permet de collecter des valeurs caractéristiques (valeurs de dureté) qui sont d'une importance décisive pour l'application des matériaux dans l'industrie (aptitude d'un matériau pour un composant technique), pour leur réception dans le cadre de contrôles d'assurance qualité (inspection en entrée et en sortie), pour la discrimination des matériaux (par exemple dans le cas de confusion entre matériaux) et pour la clarification en cas de sinistres (analyse des dommages).

#### **4.4.2 Éprouvette la dureté :**



**Figure III.14 Préparation de l'échantillon**



**Figure III.15 Variation de dureté Vickers dans les trois zones**

(1.2.3.14.15.16) : le métal de base (MB).

(4.5.6.11.12.13) : la zone affectée thermiquement (ZAT). .

(7.8.9.10) : le métal de souder (MS).

#### 4.4.4 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.

D'une part, cette méthode d'essai permet d'établir des relations qualitatives par rapport à d'autres propriétés du matériau (comme la ténacité, la rigidité ou la densité) ou au comportement du matériau lorsqu'il est soumis à certaines sollicitations (résistance à l'usure par exemple).

D'autre part, l'essai de dureté est une méthode relativement simple et rapide à mettre en œuvre et relativement peu destructive, ce qui signifie qu'elle ne laisse que de petites marques superficielles sur la surface de l'échantillon.

Elle simplifie en outre le contrôle de la qualité (inspection en entrée et en sortie). De plus, l'essai de dureté permet de contrôler les géométries les plus diverses.



**Figure III.16 Procédure et machine de dureté (Type Vickers)**

## 5. Conclusion :

Ces tests sont considérés comme des tests destructifs.

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. Nous avons commencé par une analyse chimique pour déterminer la composition chimique de notre matériaux, suivie d'une description des éprouvettes et du dispositif expérimental ayant permis de mener des essais de traction sur des éprouvettes normalisées. Une étude de résilience et de dureté a été aussi faite.

Les contrôles destructifs des tubes soudés en spiral viennent consolider la qualité du produit fabriqué par ALFAPIPE.

---

CHAPITRE IV

RESULTATS  
EXPERIMENTAUX

---

## 1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous discutons les résultats obtenus dans le cadre de ce travail et les analysons pour découvrir leur conformité aux normes internationalement reconnues API 5L.

## 2. Essais réalisés :

### 2.1 Analyse chimique :

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

Les résultats de la composition chimique exigés par la norme API 5L et celles obtenues dans ce travail sont représentées respectivement sur le tableau 13 et 14

D'après les tableaux ci-dessous, nous avons constaté que les valeurs de la composition chimique trouvée répondent à la norme API 5L.

X70 : grade de l'acier au carbone manganèse utilisé pour le transport des hydrocarbures sous une pression de service de 70 bars.

**Tableau -13- Composition chimique X70 le norme API 5L**

Eléments	L'indice	Valeurs max (%)
Carbone	C	0.12
Manganèse	Mn	1.70
Silicium	Si	0.45
Aluminium	AL	0.06
Niobium	Nb	0.06
Vanadium	V	0.10
Titane	Ti	0.06
Nickel	Ni	0.06
Cuivre	Cu	0.25
Chrome	Cr	0.30
Molybdène	Mo	0.10
Soufre	S	0.015
Phosphore	P	0.025
Azote	N	0.012
Calcium	Ca	0.006

ANALYSE CHIMIQUE SUR ECHANTILLON ACIER (métal de base)															
C	S	P	Si	Mn	Al	Nb	V	Ti	Ni	Cu	Cr	Mo	N	B	
% X 10 - 3															
72	1	7	352	1687	33	59	3	22	16	16	13	15	2	0,3	

**Figure IV.1 Analyse chimique sur la machine ALFAPIPE**

**Tableau -14- Résultats de l'analyse chimique**

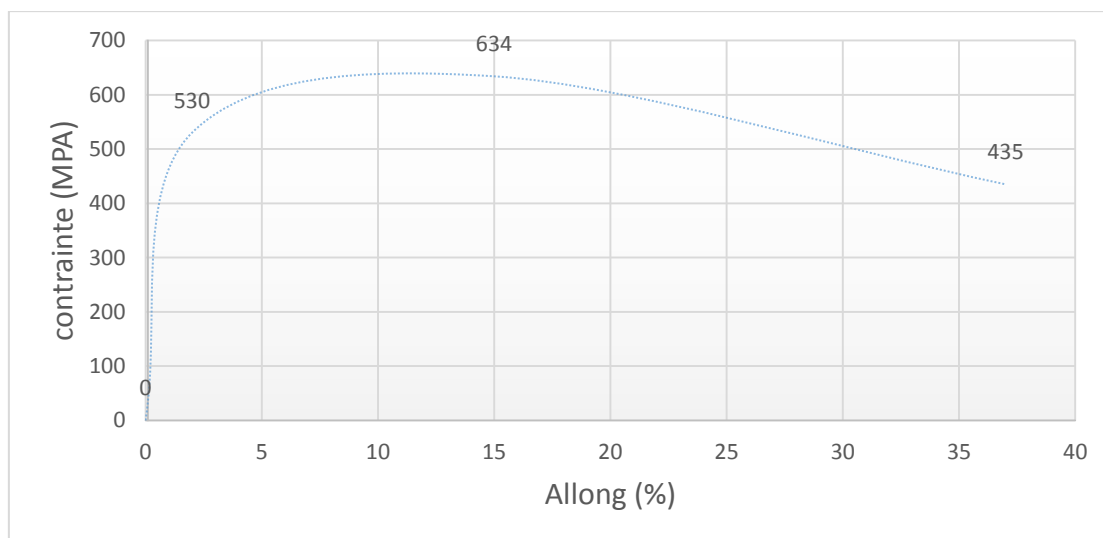
Eléments	L'indice	Valeurs (%)
Carbone	C	0.072
Manganèse	Mn	1.687
Silicium	Si	0.352
Aluminium	AL	0.033
Niobium	Nb	0.059
Vanadium	V	0.003
Titane	Ti	0.022
Nickel	Ni	0.016
Cuivre	Cu	0.016
Chrome	Cr	0.013
Molybdène	Mo	0.015
Soufre	S	0.001
Phosphore	P	0.007
Azote	N	0.002
Bore	B	0.0003
Calcium	Ca	/

## 2.2 Propriété mécanique :

### 2.2.1 La traction :

L'essai consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction et cela généralement jusqu'à rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques.

L'essai de traction a été effectué à température ambiante 25°C sur une éprouvette normalisée à l'état brut. Les caractéristiques mécaniques conventionnelles sont représentées sur la figure et le tableau ci-dessous.



**Figure IV.2 la courbe de traction.**



La figure IV.2.2 représente la courbe de traction. Elle montre que l'acier X70 présente une bonne résistance à la traction avec la limite élastique E0.5 de l'ordre de 530 MPa, une résistance mécanique Rm qui dépasse 630 Mpa et un allongement important qui peut aller jusqu'à 37%.

Tableau -16- Résultats essai de traction

Résultats Essai de traction				
E0.5 MPa	Rm MPa	TS MPa	A%	E/Rm
530	634	691	37	0.84

D'après les résultats obtenus dans le cadre de ce travail montrés sur le tableau 15 et la norme API 5 L présenté sur le tableau 16. On ne constate que les valeurs de la limite élastique (Re0.5) et de la résistance maximale à la traction (Rm) ainsi que l'allongement maximal (À %), 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 exigés par la norme API 5L.

Tableau -15- La norme essai de traction API 5L PSL2

Nuance : X70	FABRICATION ET CONTROLE SELON LA NORME API5L		
Contrôle destructif *laboratoire mécanique*			
Essai de traction			
Éprouvette	Caractéristiques mécaniques	Valeurs La norme API 5L	
		MIN	MAX
TN traction normale	E0.5	485 MPa	635 MPa
	Rm	570 MPa	760 MPa
	E0.5/R	0.79 %	0.90 %
	A%	22%	/
TS traction sur soudure	Rm	570 MPa	760 MPa

Nuance:	X70M PSL2								
<b>Essai de traction</b>									
Rt <sub>0.5</sub> (Mpa)	Rm (Mpa)	Rt <sub>0.5</sub> /Rm	A%						
530	634	0,84	37,0						

Figure IV.3 Résultat Essai traction sur la machine ALFAPIPE

**2.2.2 La dureté :**

Les essais de dureté sont réalisés sur le métal de base (MB) et les différentes zones du joint soudé (ZF ZAT).

Nous avons réalisées des essais de dureté sur la machine (ZWICK) HV10, étalonnée et certifiée, au laboratoire ALFAPIPE. Nous faisons les tests sur les 16 point représentés sur la figure ci-dessous.



**Figure IV.4 Eprouvettes avec joint de soudure bout à bout pour la dureté Vickers (Acier X70)**

Les points (1.2.3.14.15.16) : sont appliqués sur le métal de base (MB).

Les points (4.5.6.11.12.13) : sont appliqués sur la zone affectée thermiquement (ZAT).

Les points (7.8.9.10) : sont appliqués sur le métal de souder (MS).

ESSAIS DE DURETE															
HV10 (N/mm <sup>2</sup> )															
MB	MB	MB	ZT	ZT	ZT	SE	SE	SI	SI	ZT	ZT	ZT	MB	MB	MB
216	213	221	201	203	206	233	235	232	230	205	202	199	215	213	217

**Figure IV.5 Résultat Essai de dureté sur la machine ALFAPIPE**

**MB** : le métal de base.

**ZT** : la zone affectée thermiquement (ZAT).

**SE** : le métal de souder extérieure.

**SI** : le métal de souder intérieure.

Tableau -17- Résultats essai la dureté

Essai la dureté Vickers (Acier X70) nuance : X70 HV10 (N/mm <sup>2</sup> )	MB		ZAT		MS	
	N° Le point	Valeurs dureté	N° Le point	Valeurs dureté	N° Le point	Valeurs dureté
	1	216	4	201	7	233
	2	213	5	203	8	235
	3	221	6	206	9	232
	14	215	11	205	10	230
	15	213	12	202	/	
	16	127	13	199	/	

Les résultats de dureté sur les différents points sont représentés sur le tableau 17. La norme API 5 L exige que la dureté ne doit pas dépassé 50% entre le métal de base et le joint soudé.

A partir du tableau 17. On remarque qu'il existe une faible différence de dureté entre les différentes zones qui ne dépassent pas 15% (dureté max égale à 235 et dureté min égale à 199).

### 2.2.3 La résilience :

La résilience est la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie quand il se déforme sous l'effet d'un choc (déformation rapide).

L'essai a été réalisé à 0°C l'aide d'un cryostat au laboratoire de l'usine ALFAPIPE de Ghardaïa sur les différentes zones de soudage.

Tableau 18. Résultat de l'essai de la résilience.

Essais de Resilience								
KV (0 °C)								
Métal de base			Soudure			Zone transition		
Energie (J)	J/cm <sup>2</sup>	Moyenne (J/Cm <sup>2</sup> )	Energie (J)	J/cm <sup>2</sup>	Moyenne (J/Cm <sup>2</sup> )	Energie (J)	J/cm <sup>2</sup>	Moyenne (J/Cm <sup>2</sup> )
173,9	289,8	286,1	154,3	257,2	216,7	154,2	257,0	234,7
178,4	297,3		114,5	190,8		132,4	220,7	
162,6	271,0		121,3	202,2		135,8	226,3	



Figure IV.6 Éprouvette avant rupture



Figure IV.7 Éprouvette après rupture

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

Les résultats expérimentaux de la résilience sont représentés sur le tableau 18. Nous remarquons légère différence de résistance aux chocs entre les éprouvettes au joint soudé et les éprouvettes du métal de base. Le joint soudé est moins résistant aux chocs par rapport au métal de base, mais cette différence est faible.

### **3. Conclusion :**

A la fin de ce chapitre, nous constatons que les résultats obtenus dans le cadre de ce travail (analyse chimique, traction, résilience, et essais de dureté). Sont conformes aux normes internationales et répondent aux conditions exigés par la norme API 5L.

---

# CONCLUSION GENERALE

---

## Conclusion générale

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

En premier lieu, 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  $R_{e0.5}$  et  $R_m$  (530 et 634 MPa)

- ce matériau a une grande ductilité qui est représentée également par la courbe de contrainte déformation et un large domaine de déformation plastique  $A\%$  qui peut atteindre 37%.

- Les valeurs de dureté HV10 des différentes zones sont très proches.

- une bonne ténacité ce qui convient pour les pipelines.

Ces résultats répondent aux exigences essentielles des conditions de travail du pipeline employé pour le transport de gaz et sont conformes à la norme API 5L.

En deuxième lieu, Au cours des 15 jours de formation que nous avons effectués à ALFA PIPE à Ghardaia, nous avons eu pour la première fois une petite expérience professionnelle très riche à tous les niveaux.

Nous avons obtenu des informations étonnantes sur le système de production actuel (système de transport, stockage, processus de fabrication, laboratoires, appareils, divers matériaux).

Nous avons également eu l'occasion d'en apprendre davantage sur l'industrie en Algérie et sur le fonctionnement de l'usine.

# *Bibliographiques*

[1] documentation ALFAPIPE Ghardaïa.

[2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Acier>

[3] القرآن الكريم سورة الحديد الآية (25) .

[4] Des matériaux (Jean-Paul Bailon).

[5] American society for metals ASM Ohio, USA 1985 p. 259 et suiv.

[6](اختبار المواد) 123 ميك – الطبعة 1429 هـ – المؤسسة العام للتدريب التقني والمهني المملكة العربية السعودية

[7] D. Deng, "Materials and Design", Vol. 30, Issue 2, pp. 359-366, 2009.

[8] R.R. Lauwerys, V. Haufroid, P. Huet, D. Lison, "Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles", Ed. (5eme), Elsevier Masson, Paris, pp.238-245, 2007.

[9] M.L. Nayyar, "Piping Data Book", Publié par McGraw-Hill Professional, pp. 72-73, 2002.

[10] Y. Cabiri, Thèse de Doctorat ing, Orsay, Paris, 1980.

[11] F. Ashby, Mechel, R.H. David, Jones, "Matériaux", Ed. (3eme), Dunod, Paris, pp.150-163, 2008.

[12] Mechanical Metallurgy, M.A. Chawla, chap. 16, Tensile Testing, p. 559-599, Prentice-Hall, Enlewood Cliffs, 1984.

[13] American Petroleum Institute, (2004), « API Specification 5L » 42nd ed, Washington, D.C, 2004.

[14] documentation ALFAPIPE ANNABA.