

N° Ordre...../DGM/ FSI/UMBB2018

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté des Sciences de L'Ingénieur  
Département Génie Mécanique

## Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

**Filière** : Electromécanique

**Option** : Electromécanique

### THEME

***Étude technologique de la machine à souder spirale  
de pipe ATIS et contrôle des tubes***

**Présenter par :**

- ❖ Amara Omar
- ❖ Senhadji Salah Eddine

**Promoteur :**

Dr. **LECHEB**

Promotion 2017 - 2018

# *Remerciements*

*Nous tenons à remercier nôtre Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour compléter ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudees et nos remerciements à nôtre encadreur **Dr : LECHEB***

*Nous exprimons nos remerciements à tous les enseignants qui nous ont encadrés pendant nôtre cursus universitaire.*

*Nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

## *Dédicace*

*J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :  
A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et  
Matériellement pendant les moments plus difficiles  
Durant ma vie.*

*A ma très chère mère, et père qui me donne toujours l'espoir  
de vivre et qui n'ont jamais cessé de prier pour moi.*

*A mes très chers frères*

*A Mes très chères sœurs*

*A toute ma grande famille*

*A mes très chers amis*

*Surtout Feyrouz*

*Et enfin a tous mes connaissances*

*Amara Omar*

## *Dédicace*

*Je commence par rendre grâce à Dieu et sa bonté, pour la patience, la compétence et le courage qu'il m'a donné pour en arriver là.*

*Avec tout mon amour éternel et avec l'intensité de mes émotions, Je dédie ce mémoire :*

*Spécialement à ma chère MAMAN qui m'a élevé et soutenu tout au long de ma vie.*

*À l'âme de mon cher père, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.*

*À mes chères sœurs et mes chers frères.*

*Je tiens énormément à remercier mes enseignants, mes amis et camarades de Cette promotion sans oublier mes chers amis et copains sans exception surtout oussama.*

*À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci*

*Senhadji salaheddine*

## Résumé

La machine de soudage pour tube ATIS en spirale est employée pour souder des tubes en spirale en acier, les tubes sont largement utilisés pour des projets de transport des hydrocarbures et gaz.

Dans notre travail on a fait une étude technologique d'une machine à souder spirale (ATIS) des pipelines hydrauliques et gaz, au niveau de l'entreprise ANABIB DE REGHAIA.

En premier lieu nous avons données une présentation générale sur la société ANABIBI.

Puis en à présenter la machine à souder spirale et on a données une étude technologique sur son fonctionnement.

D'autre part nous avons suivie la fabrication des pipes a pare tire des tubes souder en spirale par enroulement d'une tôle de génératrice hélicoïdale.

Le tube est assemblé pare une soudure de l'intérieure et de l'extérieure de la paroi, on a intéressé en particulier au métal de base et aux défauts qui apparaissent pendant et après soudage.

A la fine on réaliser aussi un teste de qualité de soudure par une machine ultrasonique.

**Les mots clés :** soudage, spirale, fissure

## Abstract

The machine of welding for tube ATIS in spiral is used to weld tube in spiral in acier.les tubes is largely used for project of transport of hydrocarbon and gases.

In our work one made a technical study of a machine weld spiral (ATIS) pipelines hydraulics and gas, with nival of company ANABIB OF REGHAIA.

Initially we gave a general presentation on company ANABIBI.

Then in to introduce the machine to be welded spiral and one a technical study on its operation gave.

In addition we followed the manufacture of pipes A avoids car of the tubes to weld in spiral by rolling up of a sheet of helicoids generator.

The tube is assembled avoids a welding of interior and the external one of the wall, one has in particular interested in the base metal and the defects which appear during and after welding.

With fine one to also carry out one tests quality of welding by an ultrasonic machine.

**Key words:** welding, spiral , crack

## المخلص

اللة التلحيم للأنايبب حلزونية الشكل تستعمل لتلحيم هذا النوع من الانايبب الفولاذية و التي تستخدم في نقل المحروقات من بترول و غاز.

في عملنا هذا قمنا بدراسة تكنولوجية لآلة تلحيم حلزونية على مستوى مؤسسة(انايبب رغاية ) في البداية قمنا بمقدمة عامة حول المؤسسة ثم قدمنا الة التلحيم الحلزونية و شرحنا كيفية استعمالها و من جهة اخرى قمنا بدراسة دقيقة حول مراحل و كيفية صنع الانايبب الحلزونية الملفوفة على شكل حلزون كما ركزنا ايضا على الحديد المستعمل و على العيوب التي تظهر على الانبوب النهائي بعد التلحيم مثل الشقوق وفي الاخير قمنا بإجراء فحص على نوعية التلحيم بواسطة الة فوق صوتية

**الكلمات المفتاحية:** التلحيم ، الحلزونية الملفوفة ، الشق



# *Sommaire*

# SOMMAIRE

## CHAPITRE 1 : Présentation de l'entreprise

1. Historique de l'entreprise ANABIB.....	1
2. Présentation de l'entreprise .....	1
3. Objectif de la société .....	2
4. Canalisation pour transport des fluides.....	2
5. Capacités de production annuelle.....	2
6. Gamme de produit .....	2
7. Capital social .....	2
8. Organisation de l'entreprise.....	3
9. Direction de l'usine .....	5
10. Département de production.....	6
11. Les objectifs qualités de l'entreprise .....	6
12. Qualités .....	7

## CHAPITRE 2 : Présentation de la machine

2.1 Introduction .....	10
2.2. Etude théorique.....	10
2.2.1 Présentation de la machine .....	10
2.2.2 Les composantes de La machine a soudé spirale ATIS.....	11
2.3 Etude pratique.....	16
2.3.1 Les opérations principales pour la fabrication des tubes en spirale (ATIS).....	16
2.3.1.1 Les installations de la TUBERIE spirale.....	16
2.3.1.2 Machine de préparation bobine.....	17
2.3.1.3 Machine à souder.....	17
➤ Le rabotage.....	18
➤ Le guidage.....	18
➤ Dressage bande.....	18
➤ Cisailage .....	19
➤ formage de la bande.....	19

➤ Le soudage.....	20
➤ Découpage.....	20
2.4 Contrôle de fabrication en ligne .....	21
2.5 Conclusion .....	21

### **CHAPITRE 3 :Le soudage et ces défauts**

3.1. Introduction.....	22
3.2. Procédés de soudage .....	22
3.3. Procédés de soudage de pièces métalliques.....	22
3.4. Les défauts des soudages .....	23
3.4.1. Introduction.....	23
3.4.2. Les fissures.....	23
3.4.2.1. Généralités.....	23
3.4.2.2. Orientation des fissures .....	23
3.4.2.3. Les fissures longitudinales.....	23
3.4.2.4. Les fissures transversales .....	24
3.4.2.5. Types des fissures .....	25
➤ Fissures de Gorge (Thorax Cracks).....	26
➤ Fissures de Racine.....	26
➤ Fissures de Cratère.....	27
➤ Fissures au raccordement.....	27
➤ Fissures Sous -Cordon (ou de Zone Affectée Thermiquement) .....	28
➤ Fissure à chaud (ou de solidification).....	29
1. Définition.....	29
2. Causes possibles .....	30
3. Méthodes de détection.....	30
4. Méthode de réparation .....	30
5. Mesures préventives .....	31
➤ Fissures à froid (fissures d'hydrogène).....	31
1. Définition .....	31

2. Causes possibles.....	31
3. Méthodes de détection .....	31
4. Méthode de réparation .....	31
5. Mesures préventives .....	32
➤ Fissuration lamellaire (ou l'arrachement lamellaire) .....	32
1. Introduction .....	32
2. Identification .....	32
3.4.3. Surface de Rupture.....	33
3.4.3.1. Lescause.....	33
3.4.4. Facteurs à considérer pour réduire le risque d'arrachement.....	33
3.4.4.1Matériau .....	33
3.4.4.2Configuration du Joint.....	34
3.4.4.3Dimensions de la soudure .....	36
3.4.4.4Procédé de soudage .....	36
3.4.4.5Consommable .....	36
3.4.4.6Préchauffage.....	36
3.4.4.7Beurrage.....	36
3.5. Les différentes zones d'un assemblage soudé.....	37
3.5.1. Le métal de base .....	37
3.5.2. La zone fondue.....	37
3.5.3. La zone thermiquement effectuée (Z.A.T).....	37
3.5.4. Zone de liaison.....	37
3.6. Manque de pénétration.....	38
3.6.1. Localisations possibles des manques de pénétration.....	38
3.6.1.1. A la racine de la soudure (soudure en « V ») .....	38
3.6.1.2. A l'intérieur de la soudure (soudure avec reprise à revers « X »).....	38
3.6.2. Manque de pénétration à la racine .....	38
3.6.2.1. Définition .....	38
3.6.2.2. Causes possibles .....	38
3.6.2.3. Méthodes de détection .....	39
3.6.2.4. Méthodes de réparation .....	39

3.6.2.5. Mesures préventives .....	39
3.6.3. Manque de pénétration dans la soudure .....	39
3.6.3.1. Définition .....	39
3.6.3.2. Causes possibles.....	40
3.6.3.3. Méthodes de détection .....	40
3.6.3.4. Méthodes de réparation.....	40
3.6.3.5. Mesures préventives .....	40
3.7. Conclusion .....	40

## **CHAPITRE4 : Contrôle non destructif**

Contrôles non destructifs (CND) .....	41
4.1 Introduction	
4.2 <i>Contrôles des bobines</i> .....	41
4.3 <i>Contrôles des tubes</i> .....	41
4.3.1 <i>Procédures de contrôle des tubes</i> .....	42
➤ Contrôles Visuels.....	42
➤ Contrôle des têtes de bande.....	42
➤ Contrôle continu du cordon de soudure sur la machine spirale.....	42
➤ contrôle radiographique et radioscopique .....	42
➤ Essais hydrostatiques.....	43
1) Caractéristique de l'installation d'essais hydraulique.....	43
2) Norme d'essai : API 5L 10842 D.....	43
3) Caractéristique de tube testé .....	44
Premier essais.....	44
1) Résultats d'essai.....	44
Deuxième essais.....	46
1) Résultats d'essai.....	46
➤ Contrôle par ultrasons.....	47
1) Introduction.....	47

2)Machine des control ultrason .....	48
3)Définition des ultrasons.....	48
4. Le principe de production des ondes ultrasoniques.....	49
5. Effet piézo-électrique.....	50
6. Le transducteur piézoélectrique.....	50
7. Propriétés Physiques Des Ultrasons.....	52
❖ L'impédance acoustique.....	52
❖ Célérité de l'onde acoustique.....	52
❖ Fréquence et Longueur d'onde.....	52
❖ La pression.....	53
❖ Intensité.....	53
❖ L'équation de l'onde ultrasonore.....	53
8. Propagation des ultrasons dans un milieu solide.....	54
9. Propagation des ultrasons dans un milieu liquide.....	55
10. Émission et réception de l'onde ultrasonore.....	55
11. Principes des mesures.....	55
✓ Mesures dans l'air.....	55
✓ Mesures dans un matériau métallique .....	56
12) Analyse et interprétation des résultats.....	57
➤ Caractéristique mécanique de l'acier X60 M.....	57
➤ Exécution du contrôle.....	58
➤ Résultats et interprétation du contrôle des ultrasons.....	59
4.4 Conclusion.....	61

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE 1 :

Fig .1.1 : Organisation de l'entreprise .....	3
Fig .1.2 : Organisation de direction.....	5
Fig .1.3 : Certificat d'autorisation d'utiliser L'API monogramme officiel .....	7
Fig. 1.4 : Certificat d'enregistrement .....	8
Fig. 1.5 : Certificat d'enregistrement .....	9

## CHAPITRE 2 :

Fig. 2.1 : Machine à soudage spirale .....	10
Fig. 2.2 : Sous groupe de l'ensemble de l'installation .....	11
Fig 2.3 : Les étapes de fabrication des tubes .....	16
Fig.2.4 : Zone de fabrication .....	16
Fig. 2.5 : Stock des bobines .....	17
Fig. 2.6 : Machine de préparation des bobines .....	17
Fig. 2.7 : Raboutage .....	18
Fig.2.8 : Dressage de bande .....	19
Fig2.9 : Cisailage .....	19
Fig.2.10 : Cage de formage .....	20
Fig.2.11 : Soudage .....	20
Fig.2.12 : Découpage .....	21

## CHAPITRE 3 :

Fig. 3.1 : Fissures transversale et longitudinale .....	24
Fig. 3.2 : Fissure transversale .....	24
Fig. 3.3 : Types des fissures .....	25

Fig. 3.4 : Fissures de gorge .....	26
Fig. 3.5 : Fissure de racine .....	26
Fig. 3.6 : Fissure de cratère .....	27
Fig. 3.7 : Fissure au raccordement .....	28
Fig. 3.8 : Fissure sous cordon .....	29
Fig. 3.9 : Fissure à chaud .....	29
Fig. 3.10 : Fissure à chaud (zone de croisement) .....	30
Fig. 3.11 : Fissure à froid .....	31
Fig. 3.12 : Fissuration lamellaire .....	32
Fig. 3.13 : Surface de rupture .....	33
Fig. 3.14 : Configuration des joints .....	34
Fig. 3.15 : Configuration des joints .....	35
Fig. 3.16 : Configuration des joints .....	35
Fig. 3.17 : Configuration des joints .....	36
Fig. 3.18 : Manque de pénétration (souder en v) .....	38
Fig. 3.19 : Manque de pénétration ( souder en x) .....	38
Fig. 3.20 : Manque de pénétration dans la soudure .....	39
Fig. 3.21 : Manque de pénétration dans la soudure .....	40
 <b>CHAPITRE 4</b>	
Fig 4.1 : Stockages des bobines .....	41
Fig 4.2 : Contrôle visuel .....	42
Fig 4.3 :Contrôle radioscopie .....	43
Fig 4.3 :Contrôle radioscopie .....	43

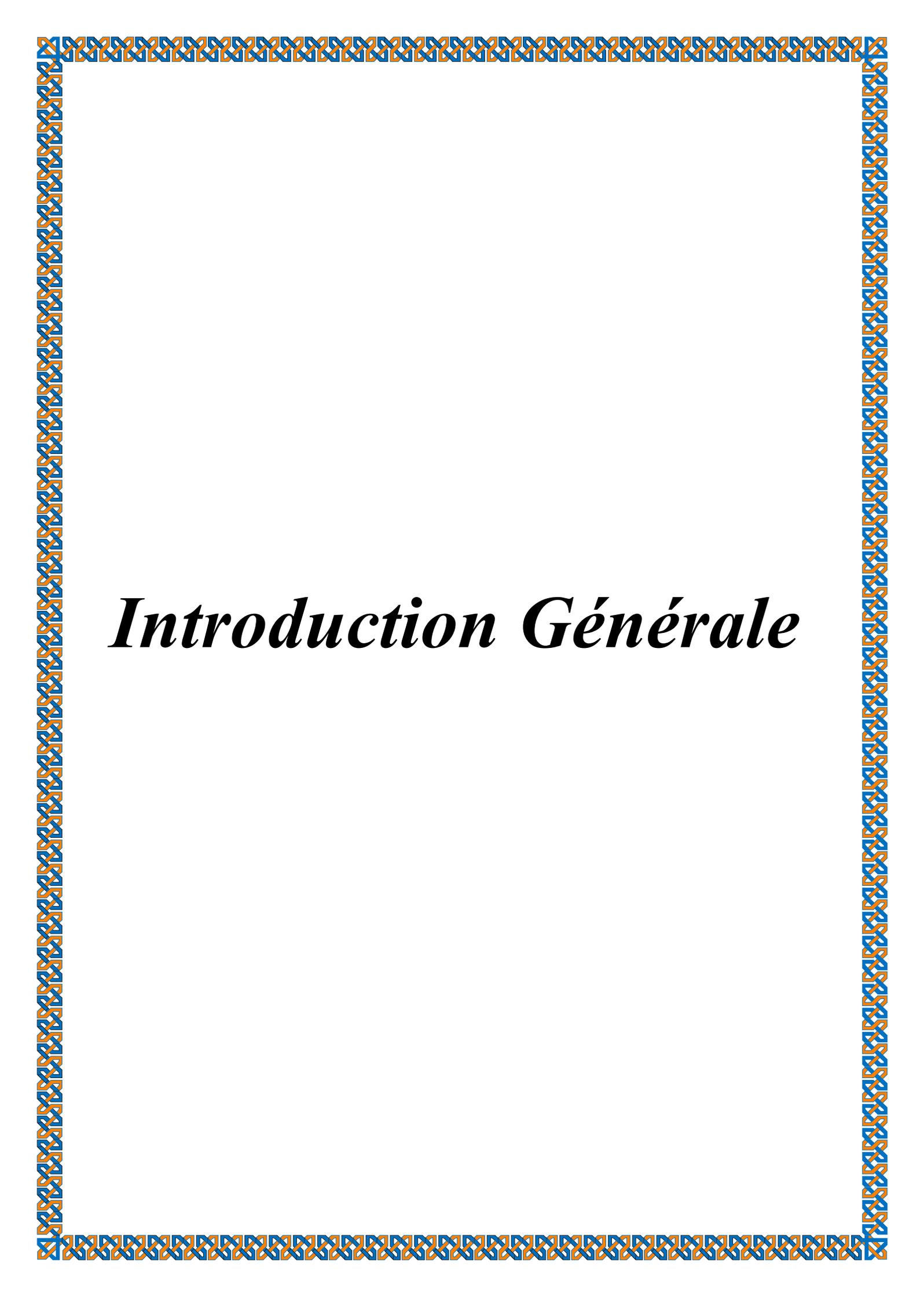
Fig4.4 : Tube testé .....	44
Fig4.5 : Résultats d'essais sur le tube (sans fissure) .....	45
Fig4.6 résultats d'essais sur le tube (avec fissure) .....	46
Fig. 4.7 Les fissures .....	46
Fig. 4.7 Les fissures .....	47
Fig. 4.8 : tube contrôlé par la technique ultrasonique avec des défauts .....	47
Fig. 4.9 tube contrôler son défauts .....	48
Fig. 4.10 machine ultrason .....	48
Fig 4.11 : Classification des sons selon la fréquence utilisée .....	49
Fig 4.12 : Spectre fréquentiel des ultrasons .....	50
Fig 4.13 : piézoélectrique direct et indirect effet .....	50
Fig 4.14 : Composition d'un capteur (E1, E2, et E3 : forme quelconque d'énergies) .....	51
Fig4.15 : La composition standard d'une capsule à ultrason .....	51
Fig 4.16: propagation des ondes longitudinales dans un solide .....	54
Fig 4.17: propagation des ondes transversales dans un solide .....	54
Fig4.18 : Emission et réception des ultrasons .....	55
Fig. 4.19 : mesures dans l'air .....	56
Fig. 4.20 mesures dans l'air .....	56
Fig. 4.21 mesures dans un matériau métallique .....	57
Fig. 4.22 : principe de mesure .....	57
Fig 4.23. Balayage des palpeurs droits sur le métal de base.....	58
Fig 4.24 balayage des palpeurs d'angle pour la soudure est la ZAT .....	59
Fig. 4.25 L'écho en pouvoir réfléchissant du défaut N 1 .....	59

Fig. 4.26. L'écho en pouvoir réfléchissant du défaut N°2 .....	60
Fig. 4.27. L'écho en pouvoir réfléchissant du défaut N 3 .....	60
Fig.4.28. Les défauts enregistrés sous forme spectrale .....	61

# LISTE DES TABLEAUX

## CHAPITRE 4 :

Tableau.4.1.Caractéristique mécanique exigé selon la norme API .....	43
Tableau 4.2 Interprétation des résultats .....	44
Tableau 4.3 Interprétation des résultats .....	46
Tableau 4.4: La fréquence et la longueur d'onde dans différent milieu .....	53
Tableau 4.5: Caractéristiques mécanique de l'acier X60 M .....	58



# *Introduction Générale*

## Introduction générale

La fabrication des tubes spirale passante par plusieurs étapes de contrôle, de la matière premier (bobine) jusque au produite fini (tube). Et parmi les machines utiliser pour réaliser cette fabrication la machine à souder spirale ATIS qui déroulées, planées et formées en hélice les bobines puis souder a l'arc immergé sous flux en deux passes successive.

Le but de ce mémoire de master est d'étudier une machine a soudée spirale des pipelines et contrôle des tubes fabriquer au niveau de ANABIB De REGHAIA où ce travail a été réalisé.

En plus d'introduction générale ce mémoire est composé de quatre chapitres

- ❖ Le premier chapitre est une présentation de l'entreprise (ANABIB DE REGHAIA), nous parlons sure l'historique et l'objectif de la société
- ❖ Le deuxième chapitre est une présentation de la machine (ATIS), ces déférentes composantes et son fonctionnement

Dans Ce chapitre en a suivre le fonctionnement de la machine au temps de fabrication des tubes et en as fait une étude théorique et pratique

- ❖ Le troisième chapitre traite les défauts du soudage dans se chapitre en a fait une étude sur le soudage et ces défauts

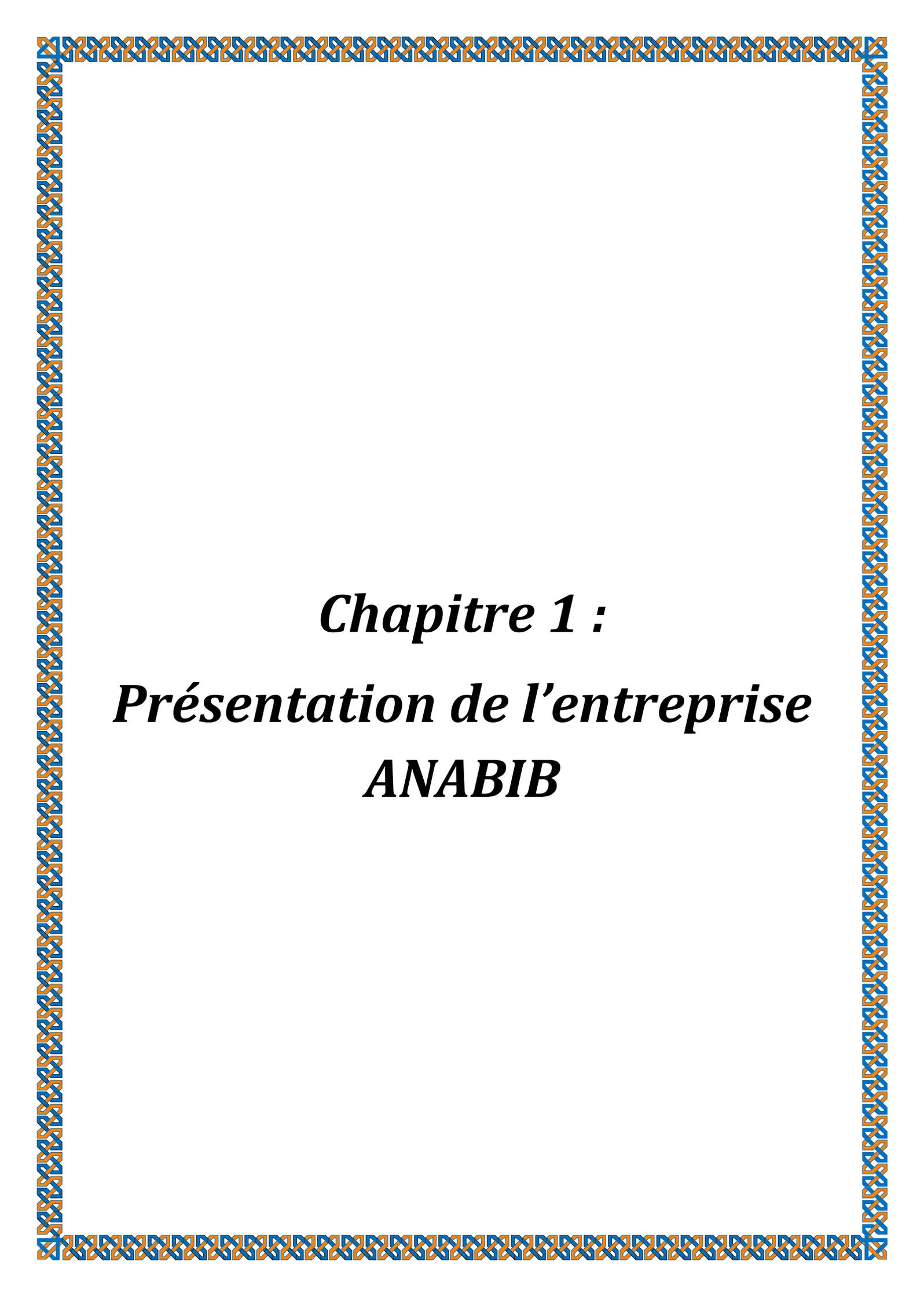
Le soudage est une opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler, soit par chauffage, soit par intervention de pression, soit par l'un et l'autre, avec ou sans métal d'apport dont la température de fusion est de même ordre de grandeur que celle du matériau de bas

La fissuration résulte généralement de tensions internes trop importantes dans le cordon De soudure ou dans la zone chauffée durant le soudage (ZTA). Les fissures peuvent apparaître très tôt (fissuration à chaud) ou des heures, voire des jours après le soudage (fissuration à froid). Les causes les plus fréquentes de fissuration sont un refroidissement trop rapide, un métal d'apport incompatible avec le métal de base ou une mauvaise préparation des joints. En plus des fissures, il existe plusieurs types de défauts de soudure

Dans bien des cas, les défauts peuvent être détectés et corrigés en cours de soudage.

- ❖ Le quatrième chapitre est une généralité sure les tests non destructifs spécialement contrôle ultrasonique et hydrostatique

Pour avoir un tube prêt pour l'exploitation et d'assurons sont rôle sans dégradation ou défaillance il faut qu'il subisse une série de contrôle indispensable, les contrôles destructifs donnent les caractéristiques mécaniques de l'acier utilisé, sa résistance à la traction et la rupture la qualité de la soudure, la résistance au choc et à la pénétration et la résistance à L'endommagement du pliage, les contrôle non destructif est une étape plus qu'indispensable sur le contrôle de la surface avec le contrôle visuel et dimensionnel ainsi le contrôle de la pression pour voir l'évolution de chaque tube à une pression déterminer, le contrôle des ultrasons donne la détection et le positionnement du défaut sur la surface balayé du tube ou sur le cordon de soudure .



***Chapitre 1 :***  
***Présentation de l'entreprise***  
***ANABIB***

## 1.1 HISTORIQUE DE L'ENTREPRISE ANABIB (ALTUMET) :

L'unité de tube rie spirale **ANABIB** issue de la nouvelle restriction de l'entreprise nationale de tube et transformation des produits plats (**ENTTPP**) est implantée à REGHAIA depuis 1959 par le groupe français {**VALLOUREC**} sous le nom d'**ALTUMEC**.

Le 13-06-1968 est la date de la nationalisation de l'unité **GROS TUBES**, elle est devenue une unité de la société nationale de sidérurgie (**SNS**) **L'ENTTPP** implantée à REGHAIA comprenait essentiellement les unités suivants :

- ⇒ GROS TUBES
- ⇒ PETITS TUBES
- ⇒ PROFILE A FROID

L'an 2000 notre pays a suivi une nouvelle politique commercial, l' unité **GROS TUBES** est devenue une filiale de **ANABIB** avec une nouvelle organisation structurelle sous le nom d'**ALTUMET** ( Algérienne tubes métallique S.P.A)

## 1.2- PRESENTATION DE L'ENTREPRISE :

Implanté en zone industrielle de REGHAIA à **25 KM** d'Alger, l'entreprise **ALTUMET** bénéficie d'une infrastructure et de servitudes qui contribuent à une offre de produit d'un niveau élevé. elle a l'avantage d'être desservie par voie ferré .

L'entreprise dispose de moyens propres exploités par un personnel expérimenté qualifié et plus en plus jeune assurant un contrôle de conformité a tous les niveaux de fabrication à partir de la réception de la matière première ( bobines, flux, fils cuivré) à l'expédition du produit fini .

L'entreprise a pour fonction de :

Fabrication et revêtement des tubes spiraux pour gaz ou liquide

La superficie totale de l'entreprise est de **32785m<sup>2</sup>** repartie comme suit :

- La superficie couverte **15200 m<sup>2</sup>**
- La superficie non couverte **17585 m<sup>2</sup>**

## ANNEXES

Autour des ateliers de production sont implantées les annexes d'utilité indispensable suivante :

- Sous station électrique
- Salle des compresseurs

- Extension sous tension électrique
- Réservoir eau incendie
- Bouteilles d'oxygène et d'acétylène

### **1.3 OBJECTIF DE LA SOCIETE :**

- \*fabrication des tubes soudés en spirales à partir de feuillets en acier
- \*prestation de revêtement
- \*recherche de développement d'autres procédés de fabrication
- \*importation et l'exportation de tubes soudés spirales
- \*distribution des produits et dérivés tels que les tubes soudés destinés au transport des hydrocarbures, eau et autres divers usage (supports de construction, pieux battus pour forage....)

#### **❖ Canalisation pour transport des fluides :**

- Gaz
- Pétrole
- Eau

#### **❖ Capacités de production annuelle :**

L'usine dispose d'une capacité annuelle de production se décomposant comme suit :

- Tubes : **20 000 → 50 000Tonnes/ans**
- Revêtement : **50 000Tonnes/ans**

#### **❖ Gamme de produit :**

Tubes en acier dont le diamètre est entre **219,1** et **914 mm** . Soudés en spirale sous flux à l'arc immergé, livrés nus ou revêtus

#### **❖ Capital social :**

Le capitale sociale de l'entreprise est de : **1.739.560.000 DA**

1.4 Organisation de l'entreprise :

L'organisation de l'entreprise est faite comme suivante :

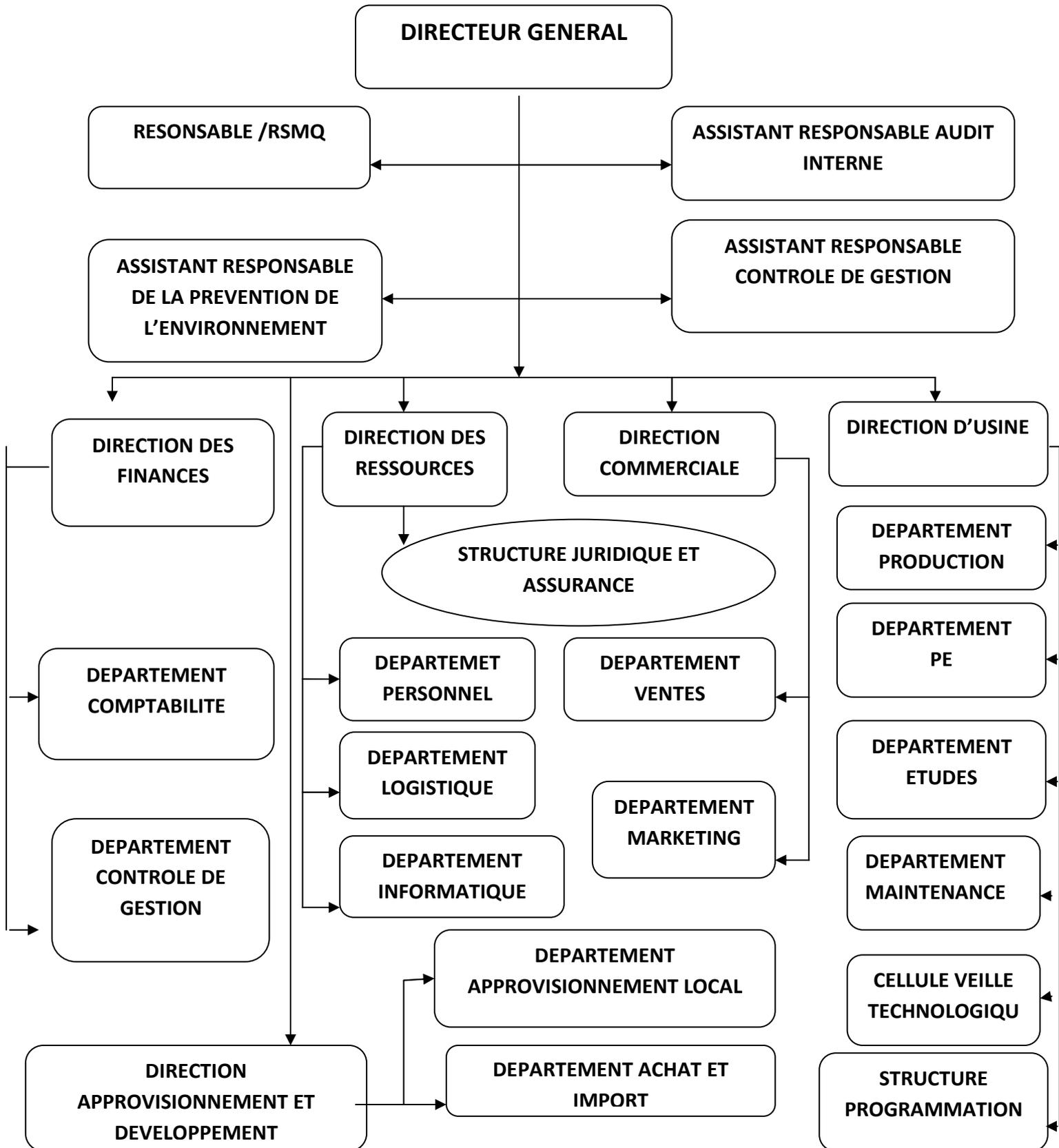


Fig .1.1 : Organisation de l'entreprise

Le directeur général dispose pour l'accomplissement de sa mission ,un groupe d'assistant et des directeurs placés sous sa responsabilité direct qui sont :

Quatre (4) assistants du direction générale.

- Assistant responsable audit interne
- Assistant responsable contrôle de gestion
- Assistant responsable de la prévention et de l'environnement
- Responsable /RSMQ

Cinq (5) directeur principaux, qui ont pour rôle principal de bon fonctionnement des taches spécifique dans leur domaines dans 5directions distinctes , elle sont comme suit :

- La direction commerciale
- La direction des ressources humaines
- La direction des finances
- La direction d'usine
- La direction approvisionnement et développement

1.5 DIRECTION DE L'USINE :

La direction de l'usine suit l'organisation suivant :

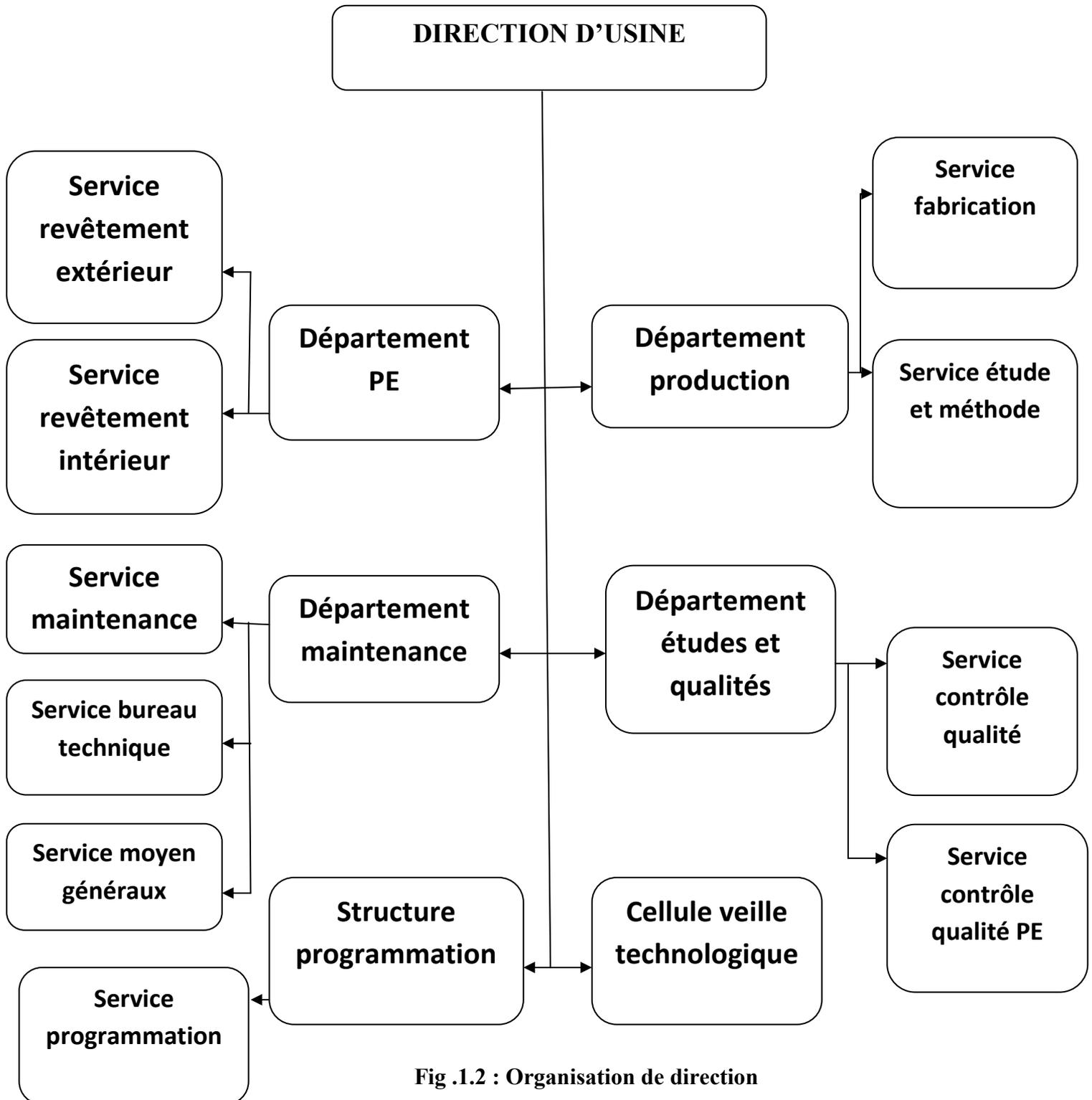


Fig .1.2 : Organisation de direction

Le directeur de l'usine veille à la réalisation, le suivi, le contrôle régulier de la production et les différentes étapes du processus de fabrication, veille également au respect des standards et normes de production et de qualité, assure la gestion technique et physique de l'ensemble des moyens d'exploitation et des équipements de production, assure aussi le suivi et la gestion des stocks de l'usine.

### ❖ DEPARTEMENT DE PRODUCTION :

Les tubes en acier sont fabriqués sous la responsabilité du département de production au niveau de l'atelier, soudés en spirale à partir d'un feuillard (bobine) enroulé à froid par un soudage automatique effectué à l'extérieur et à l'intérieur du tube, ce dernier va subir une chaîne d'opération qui suit le soudage pour obtenir un tube conforme et qui répond aux exigences de client.

Pour assurer la production des tubes l'entreprise est munie des matériels suivants :

2 machines chanfreineuse (ATIS+SP1200)

1 banc hydrostatique

1 cabine de radiographie

1 cabine d'ultrason OFFLINE(NDT)

### ❖ LES OBJECTIFS QUALITÉS DE L'ENTREPRISE (ANNEE 2016) :

#### 1-TRIMESTRE :

-34km de Ø 610\*8,74 mm pour solder la commande API SONATRACH

-48 km de Ø 273\*8,74 mm d'ARCELOR-PIPE (ANNABA)

#### 2-TRIMESTRE :

- 30 km de Ø 599\*11,12 mm commande API SONATRACH

#### 3-TRIMESTRE :

-18 km de Ø 559\*11,13mm commande API SONATRACH

-10km de Ø 610\*9,53 mm commande API SONATRACH

#### 4-TRIMESTRE :

-48 km de Ø 559\*11,13 mm commande API SONATRACH

-1,6 km de Ø 508\*12,74 mm commande API SONATRACH

-1 km de Ø 610\*12,74 mm commande API SONATRACH

- 5- taux de rebut global sur tube à 6%
- 6-réaliser une mise au mille API sur tube à 150%
- 7-taux de panne des machines a soudé à 6%
- 8-taux des tubes a réparées a moins de 15%
- 9-taux de décorticage tubes revêtus à 1.5%
- 10-avoir un taux des tubes conformes API 10ml de 90%
- 11-accroitre le chiffre d'affaires de 2% par rapport à celui réalisé en 2015
- 12-réaliser de 87% du plan formation de 2016 destinées aux filières technique

## 1.6 QUALITE :

### A) Forme juridique /registre de commerce

L'entreprise ALTUMET est régulièrement inscrite au registre de commerce dans le domaine de ces activités conformément à son objet social.

Publique et économique immatriculé au registre de commerce d'Alger sous le numéro 01B0015196 elle régit en la forme de société par actions (SPA).

la démarche qualité d'altimètre appuie sur un système de management de la qualité qui lui a assuré l'obtention des certificats ISO 9 001, API Q1 ET ISO/TS 29001. Ainsi que la License API 5L, lui permettent d'apposer le monogramme API sur ces produits.



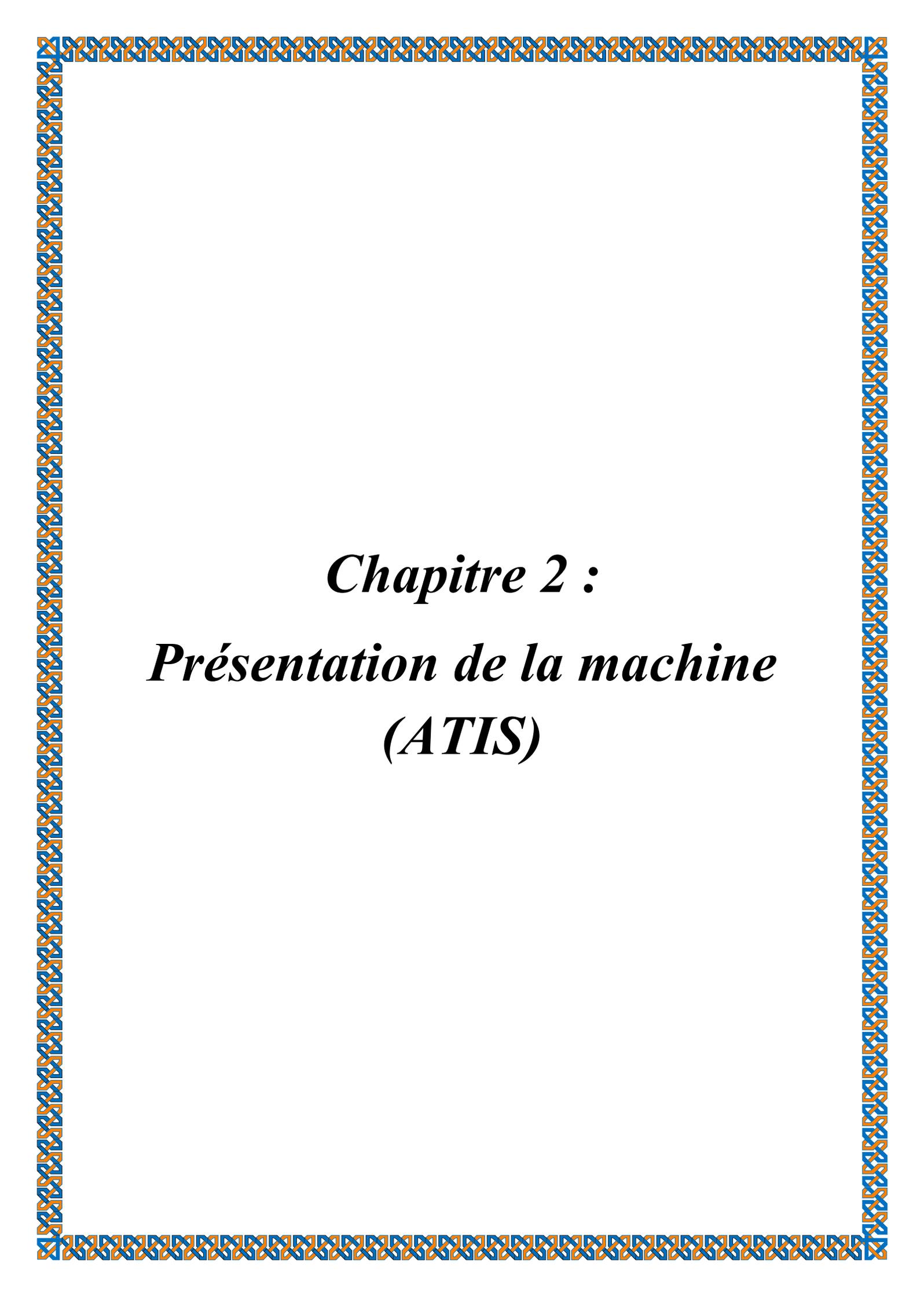
Fig .1.3 : certificat d'autorisation d'utiliser L'API monogramme officiel



Fig. 1.4 : certificat d'enregistrement



Fig. 1.5 : certificat d'enregistrement



*Chapitre 2 :*  
*Présentation de la machine*  
*(ATIS)*

### 2.1 Introduction

Les tubes soudés en acier à haute limite d'élasticité laminés à chaud trouvent leurs applications dans de nombreux domaines : gros tubes pour transport du gaz liquéfié et d'hydrocarbures, est le moyen de transport de l'eau pour l'agriculture et l'eau potable à partir des barrages....etc.

Ces tubes sont fabriqués à partir d'une machine à souder spirale.

Dans ce chapitre en a suivre le fonctionnement de la machine au temps de fabrication de ces tubes et en a fait une étude théorique et pratique.

### 2.2. Etude théorique

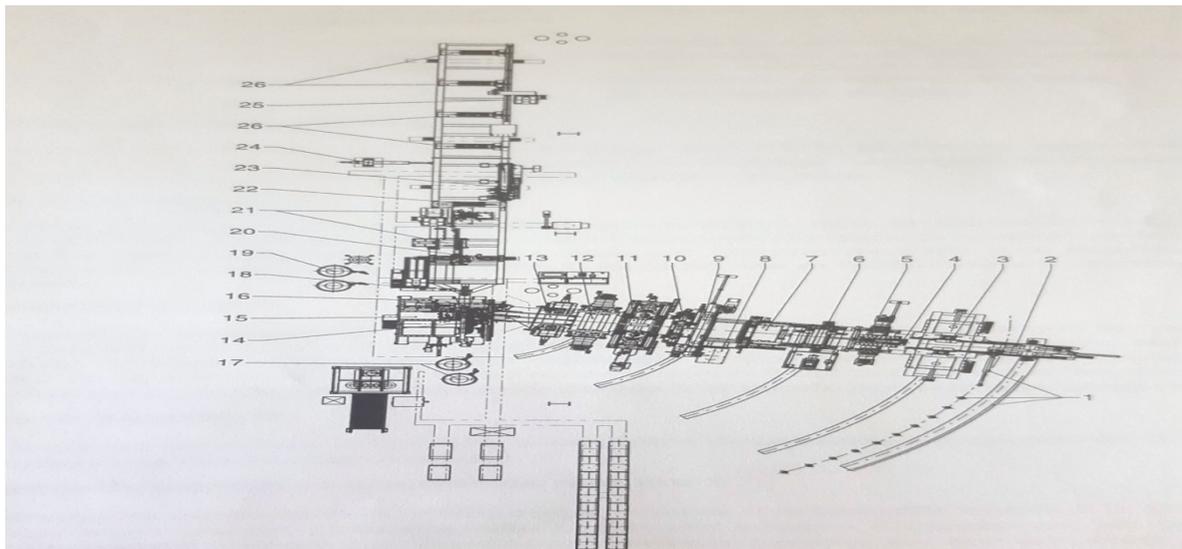
#### 2.2.1 Présentation de la machine :

La Machine à souder spirale ATIS c'est une machine utiliser pour fabrication des tubes (hydraulique et gaz) spirale et sont fonctionnement est de déroulées, planées et formées en hélice les bobines puis souder a l'arc immergé sous flux en deux passes successive.



Fig. 2.1: machine à soudage spirale

### 2.2.2 Les composantes de La machine a soudage spirale ATIS :



**Fig. 2.2 : Sous groupe de l'ensemble de l'installation**

- |   |   |
|---|---|
| 1 : Ajustage de l'angle de formage  | 14 : Guidage vertical de la bande   |
| 2 : Chariot port bobine   | 15 : Station de fromage   |
| 3 : Support de bobine   | 16 : Station de soudage intérieur   |
| 4 : Ouvreur de bobine   | 17 : Cordon de soudure intérieur  |
| 5 : Commande auxiliaire et Unité de<br>Mesure 1   | 18 : Station de soudage extérieur   |
| 6 : Planeuse  | 19 : Cordon de soudure extérieur  |
| 7 : Serrage mobile de la bande  | 20 : Lunette  |
| 8 : Table de fin de bande   | 21 : Machines test par ultrasons  |
| 9 : Serrage fixe, station de découpage<br>, de fraisage, de soudage transversal<br>et unité de mesure 2 | 22 : System de support des tubes  |
| 10 : Guidage horizontal de la bande   | 23 : Unité de découpage des tubes   |
| 11 : Station de fraisage des bords de<br>Bande et convoyeur à copeaux                                   | 24 : Dispositif de contrôle de l'écartement<br>entre les bords de soudure |
| 12 : Commande principale  | 25 : Dispositif de rotation des tubes                                     |
| 13 : Cintreuse  | 26 : Descendeur des tubes   |

### 1. Ajustage de l'angle de fromage

le système d'ajustage de l'angle de fromage permet de régler l'angle d'entrée de la tôle en bonde dans la station de fromage, la largeur de la bonde et l'angle de fromage déterminent le diamètre ultérieur du tube.

### 2. Chariot porte-bobine

Le chariot porte-bobine sert à loger la bobine (tôle en bande enroulée), la bobine est transportée au moyen du chariot porte-bobine dans le support de bobine. Grâce aux galets d'entraînement, la bobine est tournée de sorte que l'ouvreur de bobine puisse couper la languette (début) de la bonde et l'enfiler dans la commande auxiliaire.

### 3. Support de bobine

le support de bobine sert à dérouler la bobine. Une fois que la bonde a été introduite dans la commande auxiliaire, les parois du support de bobine sont rapprochées et ensuite la bobine est soulevée. Grâce au système de réglage en hauteur, le diamètre de la bobine qui va en diminuant est compensé et en déplaçant l'axe transversal de la bonde, des irrégularités à la bonde peuvent être compensées.

### 4. Ouvreur de bobine

Avec l'ouvreur de bobine la languette de la bobine est amenée à la commande auxiliaire.

### 5. Commande auxiliaire et unité de mesure

La commande auxiliaire sert à amener une nouvelle bande à la station de soudage transversal. Si la nouvelle bande est soudée à l'ancienne, les cylindres d'entraînement s'ouvrent, la commande auxiliaire marche sur son erre alors.

### 6. Planeuse

Si une bobine est déroulée, la tôle en bande garde ce cintrage, afin de lisser ce cintrage la bande est passée plusieurs fois de manière ductile à la planeuse, Résultat : une bande lisse et plane.

### 7. Serrage mobile de la bande

Le serrage mobile est mobile aussi bien dans le sens longitudinal que transversal du sens de fabrication. Ainsi, la bande serrée peut être déplacée dans les trois positions d'usage :

1 : Découpage au plasma

2 : Fraisage

3 : Soudage transversal

## 8. Table de fin de bande

La table des fins de bande est entrée dans la machine avant que les extrémités de la bande ne soient coupées. Elle sert à l'élimination aisée des extrémités de bande et de protection du banc de la machine

## 9. serrage fixe, station de découpage, de fraisage, de soudage transversal et unité de mesure 2

### ▪ Découpage plasma

Au découpeur plasma les languettes des deux bandes sont coupées. Il faut auparavant, rentrer la table des fins de bande dans la machine

\*L'extrémité de la languette de l'ancienne bande est coupée à proximité du serrage fixe et tombe sur la table des fins de bande

\*La languette de la nouvelle bande est coupée dans la première position de travail du Serrage mobile et tombe sur la table des fins de bande .

### ▪ Fraisage transversal

D'abord c'est l'ancienne bande qui est fraisée de droite à gauche. la tête de fraisage reste ensuite dans la position extrême de gauche, Ensuite, Le serrage mobile se déplace avec la nouvelle bande sur la deuxième position d'usinage, Maintenant, La nouvelle bande est fraisée transversalement de gauche à droite

Les bords supérieurs et inférieurs des bandes sont chanfreinés ; une nervure de 6mm d'épaisseur reste conservée. Cette nervure ne doit pas être par rapport à l'épaisseur de la bande.

### ▪ Soudage transversal

Le serrage mobile déplace la nouvelle bande vers la troisième position de travail

\*Le soudage transversal ici, les deux bandes sont soudées ensemble au moyen d'un procédé de soudage.

### ▪ unité de mesure 2

Le serrage fixe permet de maintenir l'ancienne bande en position, jusqu'à ce que la nouvelle bande soit soudée. L'unité de mesure 2 sert, en corrélation avec le guidage horizontal de la bande à centrer la bande dans la machine.

## 10. Guidage horizontal de la bande

Le guidage horizontal de la bande peut déplacer la bande dans la sens transversal La valeur avec laquelle il faut déplacer la bande est déterminée suite à des mesurages des unités de

mesure 1 et 2 l'ors du déplacement, le guidage horizontal de la bande travail ensemble avec le support de bobine est ouvert et joue aucun rôle.

### **11. station de frilage des bords de bande et convoyeur à copeaux**

La fraiseuse des bords de la bande est utilisée pour fraiser les deux cotés de la bande, la bande est dotée d'un chanfrein de chaque coté (on haut et en bas), Une nervure de 6mm d'épaisseur reste conservée, Celle-ci ne doit pas nécessairement être centrée par rapport au milieu de la bande, Les deux copeaux produits sont recueillis par le convoyeur à copeaux et évacués hors de la machine.

### **12. Commande principale**

En service normal, la commande principale déplace la bande à travers la machine La commande auxiliaire est ouverte et ne joue aucun rôle.

### **13. Cintreuse**

Lors de la soudure du cordon en spirale, le cordon de soudure s'effondre, Ceci peut être évité en le dépliant avant la soudure, le dépliage a lieu par roulage dans la cintreuse

### **14. Guidage vertical de la bande**

Le guidage vertical de la bande doit en pécher une ondulation de la bande lorsque celle-ci est glissée dans la station de formage par la commande principale.

### **15. Station de formage**

La station de formage est la pièce maitresse de l'installation de soudage De tubes en spirale, Ici la forme en spirale est attribuée à la bande par roulage et moyen de l'angle de formage réglé.

### **16. Station de soudage intérieur**

Dans cette station de soudage la bande pliée en forme de spirale est maintenant soudée à l'intérieur, Le cordon de soudure est réalisé en continu. Il n'y a pas de pointage.

### **17. cordon de soudure intérieur**

### **18. Station de soudage extérieur**

Dans cette station de soudage la bande pliée en forme de spirale est maintenant soudée à l'extérieur, Le cordon de soudure est réalisé en continu. Il n'y a pas de pointage.

### **19. cordon de soudure extérieur**

### **20. Lunette**

La lunette sert à étançonner le tube soudé.

### **21. Machine test par ultrasons**

Avec les deux machines test par ultrasons le cordon de la soudure en spirale est contrôlé quant à des défauts.

### **22. Système de support des tubes**

Le système de support des tubes est composé d'un rouleau fixe qui guide Le bord inférieur du tube soudé.

### **23. Unité de découpage des tubes**

Dans l'unité de découpage des tubes le tube testé est coupé sur une longueur définie au préalable, pour cela, il est entraîné par l'unité de rotation.

### **24. Dispositif de contrôle de l'écartement des bords de soudure**

A l'aide du dispositif de contrôle de l'écartement des bords de soudure l'écartement des bords de soudure intérieur est contrôlé, en marche automatique, l'écartement des bords de soudure est commandé au moyen d'un capteur et du châssis de sortie de la bande.

### **25. Dispositif de rotation des tubes**

A l'aide de dispositif de rotation des tubes on continue à tourner le tronçon De tube à sectionner à la même vitesse avec laquelle le tube quitte la station de formage.

### **26. Dispositif de descente des tubes**

Le dispositif de descente des tubes est en principe composé de quatre descendeurs de tube

- En position de repos les descendeurs se trouvent en position inférieure.
- Lorsqu'un tube s'approche du descendeur respectif ce dernier est détecté par le capteur respectif du descendeur se déplace vers le haut pour étançonner le tube.
- La longueur de tube désirée est régler au moyen d'un capteur qui déclenche également le processus de découpage en mode automatique.

### 2.3 Etude pratique :

En premier lieu, nous avons suivi la fabrication des pipes à partir des tubes soudés en Spirale par enroulement d'une tôle de génératrice hélicoïdale, le tube est assemblé par une soudure de l'intérieur et de l'extérieur de la paroi. Nous nous sommes intéressés en particulier au métal de base et au joint de soudure.

#### 2.3.1 Les opérations principales pour la fabrication des tubes en spirale (ATIS) :

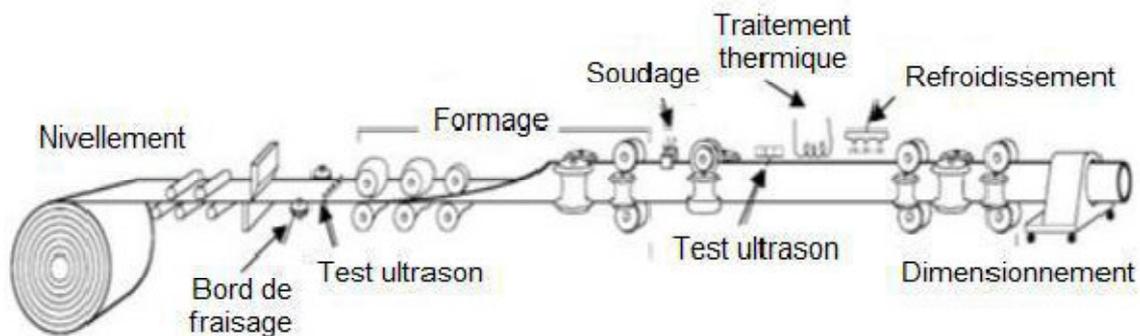


Fig2.3 : les étapes de fabrication des tubes

##### 2.3.1.1 Les installations de la TUBERIE spirale :

Cette unité est conçue pour la transformation à froid des bobines de tôle en tubes soudés en spirales et elle est équipée de :

- **Zone fabrication :**

A ce niveau la fabrication des tubes spiral



Fig.2.4 : zone de fabrication

- **Stockage des bobines :**

Le hall de stockage des bobines est desservi par 2 voies ferrées et une voie sous – terrain Reliée directement au LAC ainsi qu'un pont roulant de 44 tonnes, il permet de stocker 15000tonnes de bobines, soit la consommation d'un mois et demi de production.



**Fig. 2.5 : stockage des bobines**

▪ **Basculeur de bobines :**

Les bobines de tôle arrivant à axe verticale sont mises à axes horizontales sur cette installation pour pouvoir être préparées.

**2.3.1.2 Machine de préparation bobine :**



**Fig. 2.6 : machine de préparation des bobines**

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

La première partie de la bobine est coupée d'équerre suivant l'axe de la bobine et elle est soumise à :

- Un contrôle dimensionnel (épaisseur, criques,...etc.)
- Un contrôle visuel (empreintes, criques,...etc.)
- Un contrôle ultrasonique pour détecter les éventuels défauts interne (des doublures).
- Si le début de la bande ne présente pas des défauts, on considère que la bobine est apte à être consommée. Dans le cas où le début de la bobine contient des défauts, la bobine sera refusée.

### 2.3.1.3 Machine à souder :

La TUBERIE spirale dispose de quatre (04) machines à souder identiques, qui permettent la réalisation de plusieurs opérations pour la fabrication du tube.

#### ➤ **Le rabotage :**

C'est une opération qui consiste à oxycouper 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 30 minutes et nécessite l'arrêt de la production.



Fig. 2.7 : rabotage

#### ➤ **Le guidage :**

Quatre (04) galets de guidage à commande hydraulique permettent un réglage rapide de la bande en cas de dérives dues aux variations de largeur bande.

#### ➤ **Dressage bande :**

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



**Fig.2.8 : Dressage de bande**

➤ **Cisailage :**

Des cisailles de rive permettant la mise en largeur définitive de la bande. Les chutes ainsi obtenues par cisailage sont coupées par simple rotation de deux (02) tourteaux hacheurs équipés de plusieurs couteaux en acier.



**Fig2.9 : cisailage**

➤ **formage de la bande :**

La bande est entraînée par deux (02) rouleaux cylindriques, elle subit un préformage par des galets cambreurs, des bras de guidage avec plaque d'usure en TEFLON maintiennent la bande. Celle-ci est introduite dans la cage de formage constituée de plusieurs trains de galets, ajustés suivant le diamètre à réaliser.

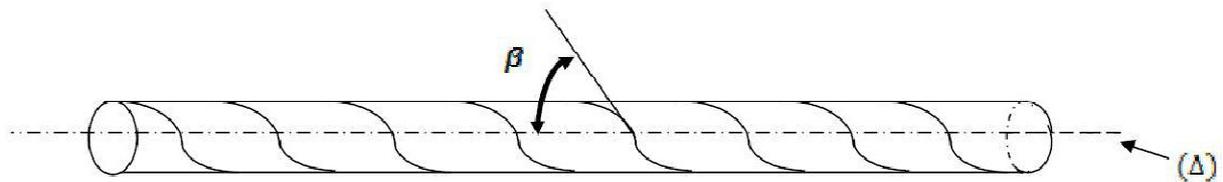
La bande ainsi formée, est soudée intérieurement, puis une demi-spire après extérieurement. Le procédé utilise le soudage automatique à arc immergé sous flux ; une centrale permet de récupération de flux en excès pour le recycler. Le tube formé est coupé à la longueur voulue par un chariot d'oxycoupage prévu à cet effet.



**Fig.2. 10: cage de formage**

➤ **Le soudage :**

Une fois enroulées en hélice, les bandes sont soudées par un procédé dit à l'arc immergé sous Flux en deux passes successives, l'une à l'intérieur du tube, à l'accostage des rives, l'autre D'une demi-spire plus loin.



**Fig.2 .11: soudage**

➤ **Découpage**

Cette machine est utilisée pour l'oxycoupage des tubes suivant les instructions du contrôle visuel et figurant sur la carte suiveuse de tube.



**Fig.2.12 : découpage**

#### **2.4 Contrôle de fabrication en ligne:**

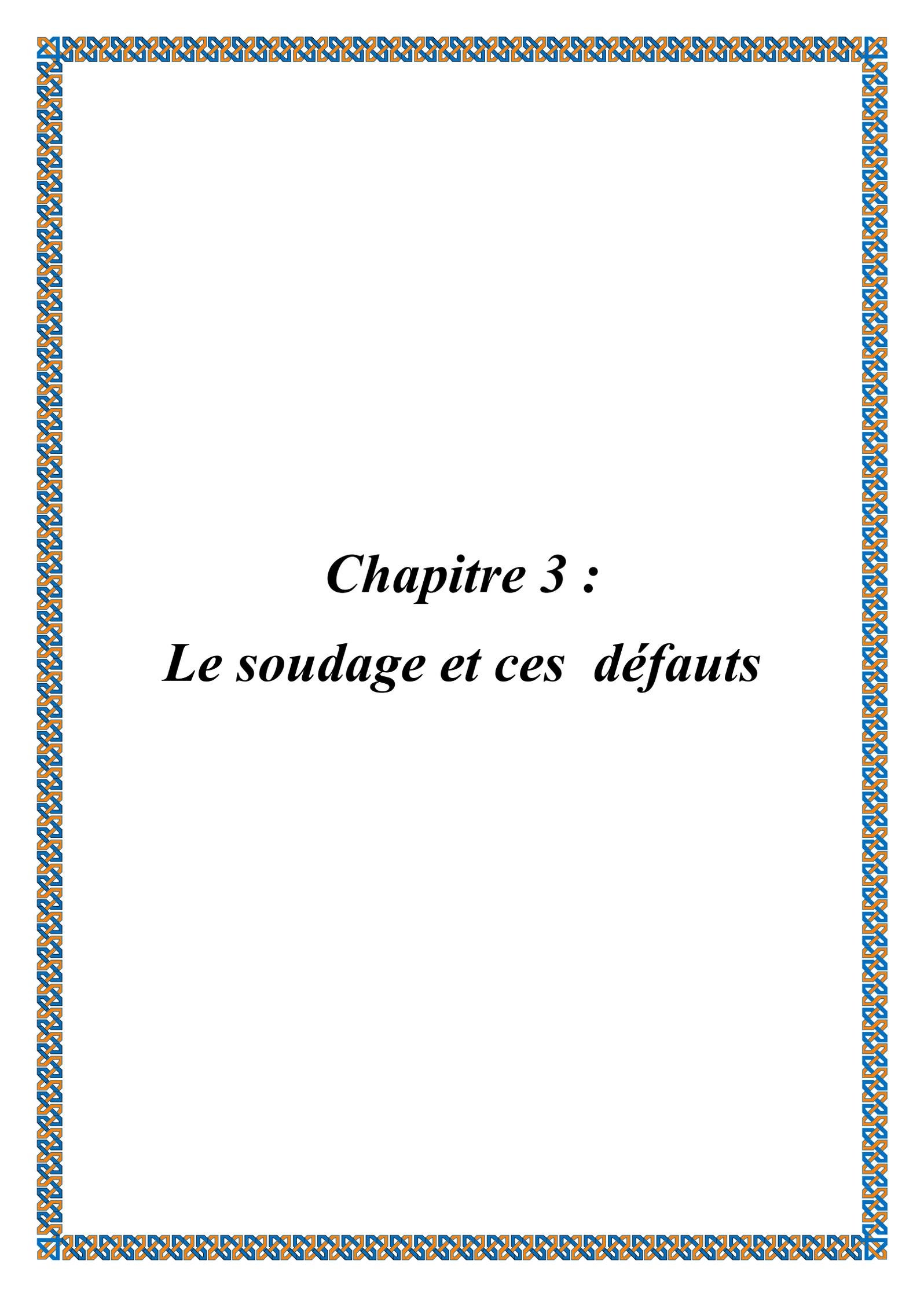
De façon effectuer un contrôle sérieux des sérieux des qualités dimensionnelles des tubes, des stands de contrôle dimensionnel et visuel ont été implantés derrière les machines spirales et après essai hydrostatique, afin d'obtenir un suivi systématique de la qualité de chaque tube, aux différent points de vue longueur, diamètre, rectitude, ovalisation, effet de toit des soudures, aspect extérieur des cordant, état du métal de base.

De plus, compte tenu des exigences imposées par l'industrie pétrolier les opérations de contrôle du métal de base et de cordon de soudure sont très poussées et ont requis la mise en place à la turbe rie d'un laboratoire d'essais mécanique et l'installation dans l'atelier d'un matérielle de contrôle non destructif important.

Ces contrôles concernent le métal de base et le cordon de soudure. Le tube est passé par plusieurs étapes de contrôle. Nous somme intéresser au contrôle de soudage et le contrôle ultrason.et essai hydrostatique.

#### **2.5 Conclusion :**

Dans le cadre de notre étude on a présenté le fonctionnement de la machine ATIS et on a suivre les défieront étapes de fabrication et de contrôle des tubes



*Chapitre 3 :*  
*Le soudage et ces défauts*

### 3.1 Introduction :

Parmi les procédés d'assemblages, le soudage occupe une place importante dans toutes les branches d'industrie et du bâtiment, car il permet d'adapter au mieux les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service. Le soudage est une opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler, soit par chauffage, soit par intervention de pression, soit par l'un et l'autre, avec ou sans métal d'apport dont la température de fusion est de même ordre de grandeur que celle du matériau de base

### 3.2 Procédés de soudage :

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

Le type d'énergie mise en œuvre ;

Les paramètres physiques (température, pression, milieu extérieur) ;

Le mode d'élaboration de la continuité de la matière (solidification depuis le liquide ou diffusion depuis le solide) ;

La morphologie de la liaison qu'ils permettent de réaliser.

### 3.3 Procédés de soudage de pièces métalliques :

Soudage à la flamme.

Soudage aluminothermique.

Soudage électrique par résistance.

Soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées.

Soudage à l'arc avec électrodes non fusibles.

Soudage à l'arc avec fil électrodes fusibles ou soudage semi-automatique.

Soudage orbital.

Soudage laser.

Soudage plasma.

Soudage par faisceau d'électrons.

Soudage par friction.

Soudage par friction malaxage ou soudage thixotropique.

Soudage à l'arc sous flux.

Soudage hybride.

Soudage électro gaz.

Soudage par diffusion.

### **3.4. Les défauts des soudages :**

#### **3.4.1. Introduction :**

Il existe plusieurs types de défauts de soudure ainsi que différentes méthodes pour les prévenir et les corriger. Ce chapitre vise à identifier et à décrire les défauts les plus courants en fonction du métal travaillé ou du procédé de soudage utilisé. Commençons d'abord par les fissurations.

#### **3.4.2. Les fissures :**

##### **3.4.2.1. Généralités :**

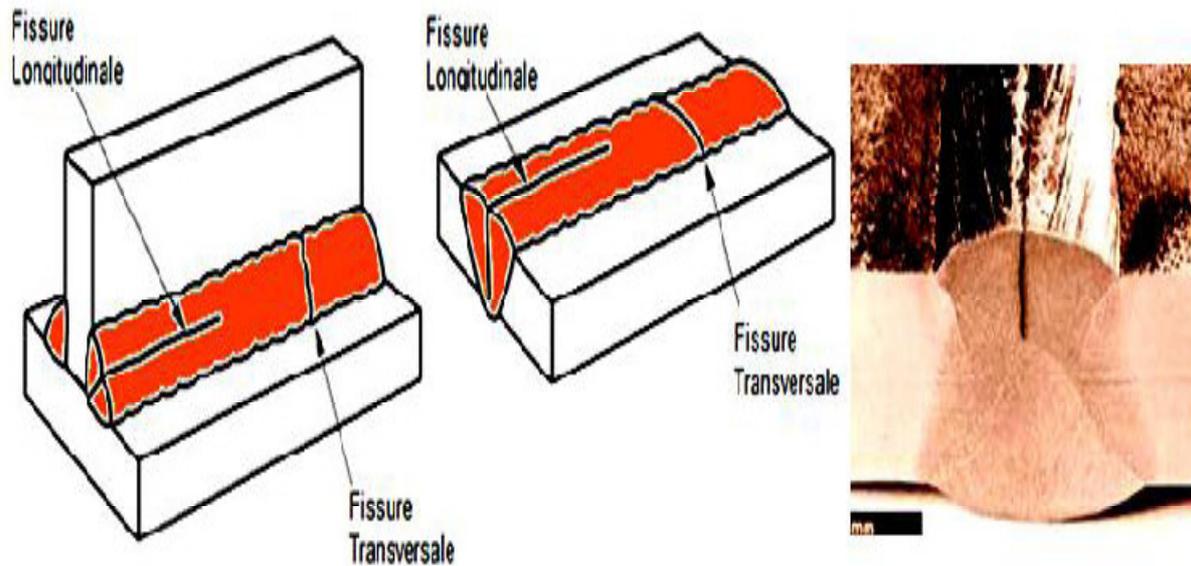
Les fissures sont définies comme des discontinuités de type fracture caractérisées par une extrémité en pointe et à haut rapport de longueur /largeur. Elles peuvent se produire dans le métal fondu, la zone affectée thermiquement, et le métal de base lorsque des contraintes localisées dépassent la résistance maximum du matériau. La fissuration est souvent initiée par des concentrations de contraintes causées par d'autres discontinuités mécaniques ou à proximité d'entailles associées à la configuration du joint. Les contraintes qui provoquent la fissuration peuvent être soit résiduelles ou appliquées. Les contraintes résiduelles se développent en raison de restrictions issues de l'opération de soudage et de la contraction thermique qui suit la solidification de la soudure. Les fissures liées au soudage présentent peu de déformation plastique... Si une fissure est décelée durant le soudage, celle-ci doit être complètement éliminée avant de poursuivre le soudage. Le soudage sur une fissure supprime rarement la fissure.

##### **3.4.2.2. Orientation des fissures :**

Les fissures peuvent être décrites comme étant longitudinales ou transversales, en fonction de leur orientation. Quand une fissure est parallèle à l'axe de la soudure, elle est appelée fissure longitudinale, peu importe qu'il s'agisse d'une fissure centrale dans le métal fondu ou une fissure dans la zone de jonction du métal de base affectée par la chaleur.

##### **3.4.2.3. Les fissures longitudinales :**

Dans les petites soudures entre fortes sections sont souvent le résultat des taux de refroidissement et de contraintes résiduelles élevées. En soudage à l'arc submergé, elles sont généralement associées à des vitesses de soudage élevées ou peuvent être liées à des problèmes de porosités non apparentes à la surface de la soudure. Les fissures longitudinales de la zone affectée thermiquement sont généralement causées par de l'hydrogène dissous.



**Fig. 3.1 : fissures transversale et longitudinale**

#### **3.4.2.4. Les fissures transversales :**

Sont perpendiculaires à l'axe de la soudure. Celles-ci peuvent être limitées en taille et contenues entièrement dans le métal de soudure ou bien se propager dans la zone adjacente affectée par la chaleur puis dans le métal de base à partir du métal de soudure. Dans certains assemblages soudés, les fissures transversales se forment dans la zone affectée par la chaleur et non pas dans la soudure. Les fissures transversales sont généralement le résultat de contraintes de retrait longitudinal agissant sur le métal fondu de faible ductilité. La fissuration par hydrogène du métal fondu peut être orientée dans le sens transversal



**Fig. 3.2 : fissure transversale**

3.4.2.5. Types des fissures :

La figure résume les fissures qui peuvent être trouvés dans la plupart des cas

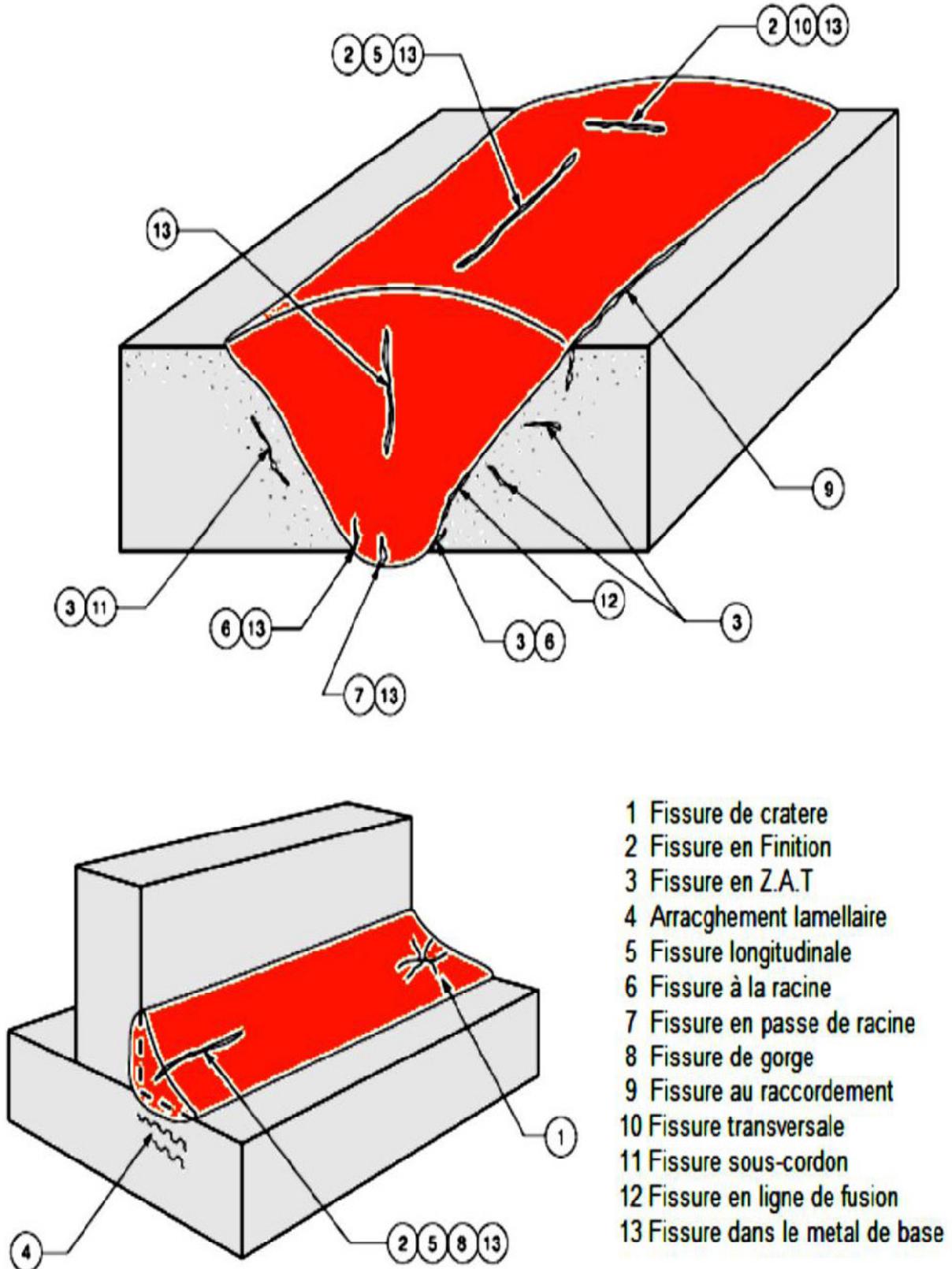


Fig. 3.3 : Types des fissures

➤ **Fissures de Gorge (Throat Cracks):**

Ce sont des fissures longitudinales orientées le long de la gorge des soudures d'angle. Elles sont généralement, mais pas toujours, des fissures à chaud.

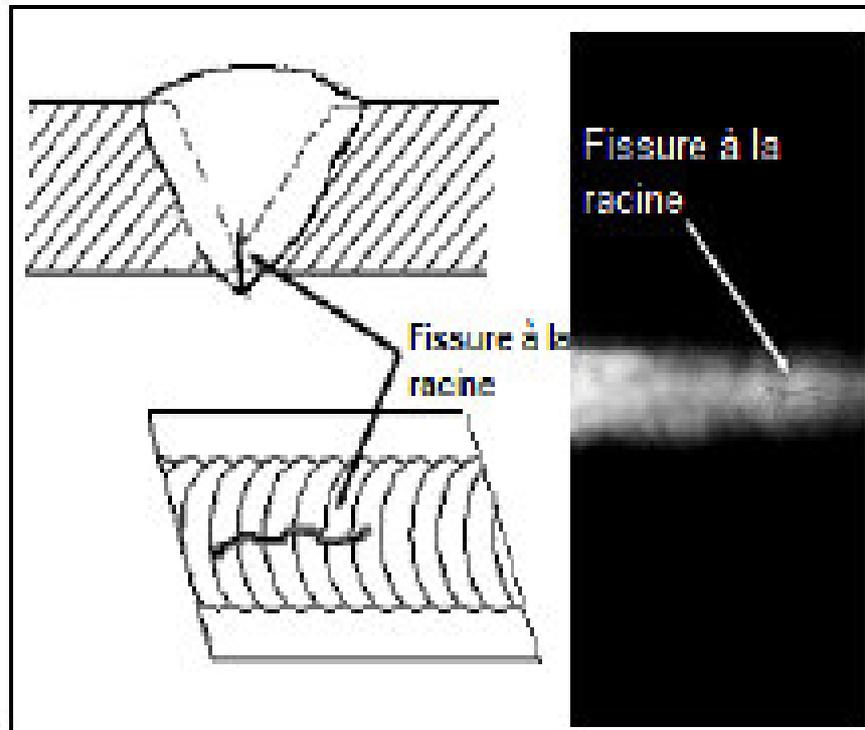


Fig. 3.4 : fissures de gorge

➤ **Fissures de Racine:**

Ce sont des fissures longitudinales à la racine de la soudure ou de la surface de la racine . Elles peuvent être des fissures à chaud ou à froid.

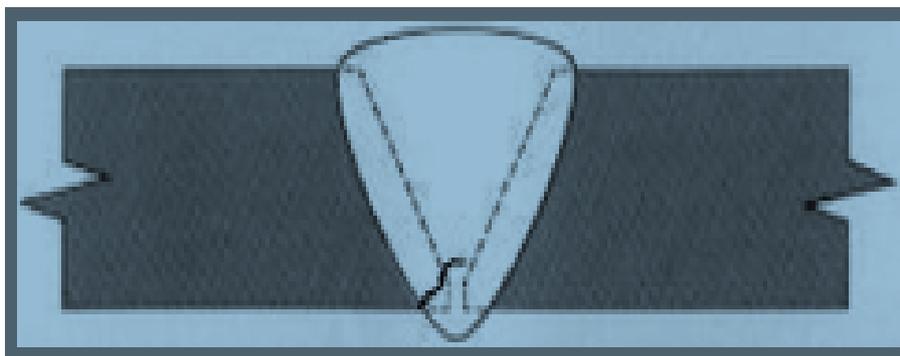


Fig. 3.5 : fissure de racine

➤ **Fissures de Cratère:**

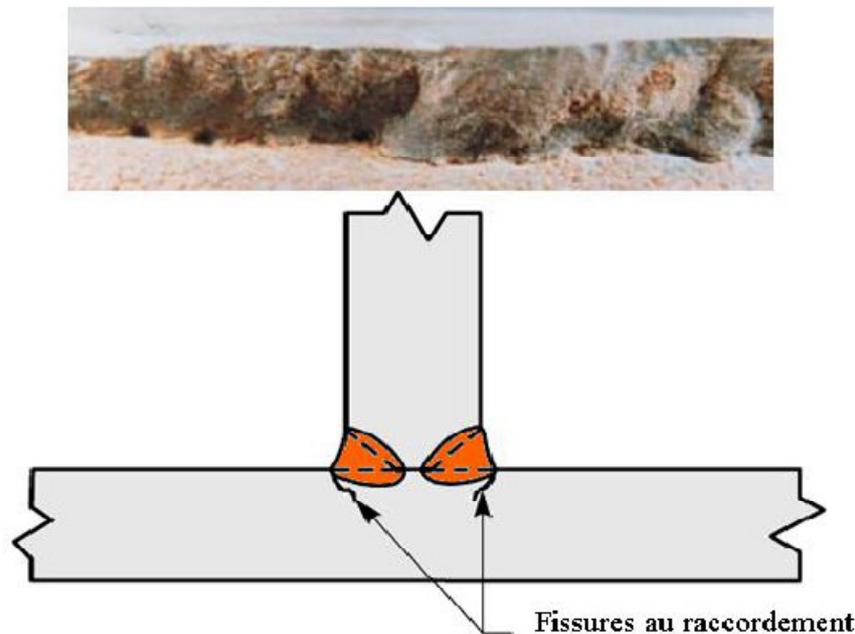
Elles se produisent dans le cratère formé à la fin d'un cordon de soudure lorsque la soudure est mal terminée (coupure trop rapide de l'arc). Elles sont parfois appelées fissures en étoile. Les fissures de cratère sont en général des fissures à chaud formant un réseau en étoile. Elles se trouvent le plus souvent dans des matériaux à haut coefficient de dilatation thermique, par exemple l'acier inoxydable austénitique et l'aluminium. Toutefois, l'apparition de fissures peut être minimisée ou évitée par une fin de cordon de forme légèrement convexe avant de retirer l'arc. Des fissures longitudinales peuvent être initiées par une fissure de cratère.



**Fig. 3.6 : fissure de cratère**

➤ **Fissures au raccordement:**

Ce sont généralement des fissures à froid. Elles apparaissent et se propagent depuis l'extrémité de la soudure où les contraintes de retrait sont concentrées. Les fissures au raccordement apparaissent à peu près à la normale de la surface du métal de base. Ces fissures sont généralement le résultat des contraintes de retrait thermique sur la zone affectée thermiquement. Certaines fissures au raccordement se produisent parce que la ductilité du métal de base ne peut pas s'accommoder aux contraintes de retrait qui sont imposées par l'opération de soudage.



**Fig. 3.7 : fissure au raccordement**

➤ **Fissures Sous -Cordon (ou de Zone Affectée Thermiquement) :**

Les deux appellations sont utilisées de façon interchangeable. Ce sont généralement des fissurations à froid qui se forment dans la zone affectée par la chaleur du métal de base. Les fissures sous cordon peuvent se produire lorsque trois éléments sont présents simultanément:

- (1) Hydrogène.
- (2) Une microstructure de ductilité relativement faible.
- (3) De fortes contraintes résiduelles.

Ces fissures peuvent être longitudinales et transversales. Elles se trouvent dans la zone affectée par la chaleur et ne sont pas toujours détectables par des moyens visuels. Elles se rencontrent principalement dans les soudures d'angle, mais peuvent également se produire dans des soudures bout à bout .

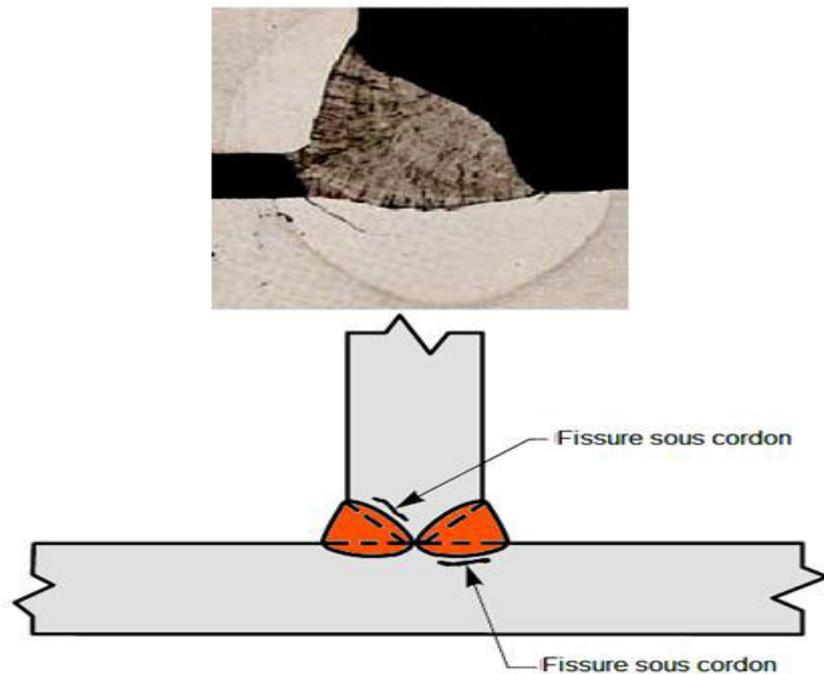


Fig. 3. 8 : fissure sous cordon

➤ **Fissure à chaud (ou de solidification) :**

**1. Définition :**

C'est une fissure localisée normalement au centre de la coupe transversale d'une soudure (Soit soudure d'angle, soit soudure bout à bout), qui peut déboucher en surface et se propager dans le sens longitudinal. Elle se forme lors de la solidification du métal déposé à température élevée.

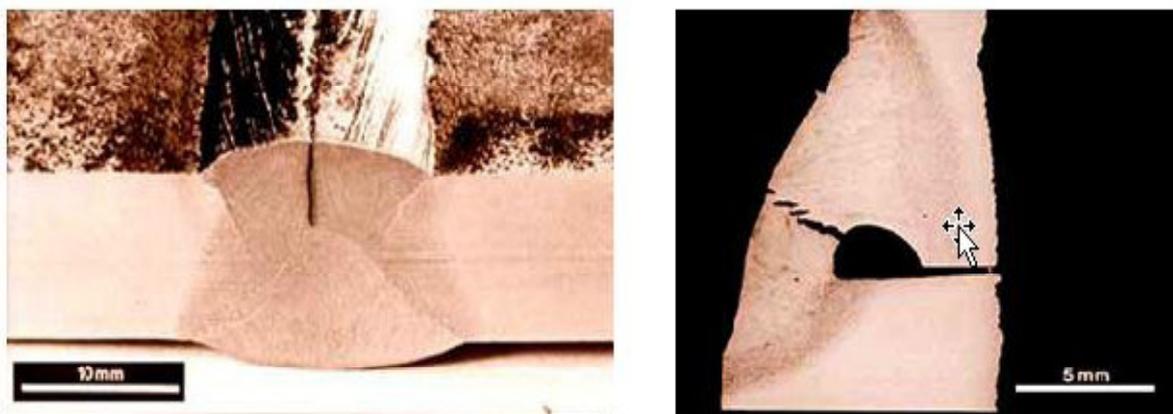


Fig. 3.9 : fissure à chaud

## 2. Causes possibles :

Retrait transversal exagéré, sur tout pour des cordons avec un rapport profondeur /Largeur supérieur à deux (rapport classique pour des procédés avec grande densité de courant tels que le soudage sous flux et le soudage MAG).

- Une teneur en carbone, phosphore ou soufre du métal de base trop élevée peut provoquer une fissure inter-dendritique par suite de la dilution entre MB et MD, des impuretés viennent se loger à l'endroit où la solidification se produit en dernier lieu, et où de plus les dendrites provenant de cette solidification se rejoignent avec une orientation différente. Notons que l'importance de la migration des impuretés augmente avec la température. C'est un effet défavorable de la préchauffe.
- Ecartement trop important entre les parties à assembler dans le cas de soudures d'angle.
- Soudures d'angle avec concavité importante : celles-ci ont parfois une résistance insuffisante pour encaisser des contraintes de retrait normales.
- Transformations allotropiques: on appelle ainsi les modifications de structure cristalline qui se produisent lors du chauffage et du refroidissement de l'acier; étant donné que ces Transformations s'accompagnent de changements de volume et de solubilité en certains éléments, elles induisent des tensions internes et l'apparition d'éventuels constituants fragiles.

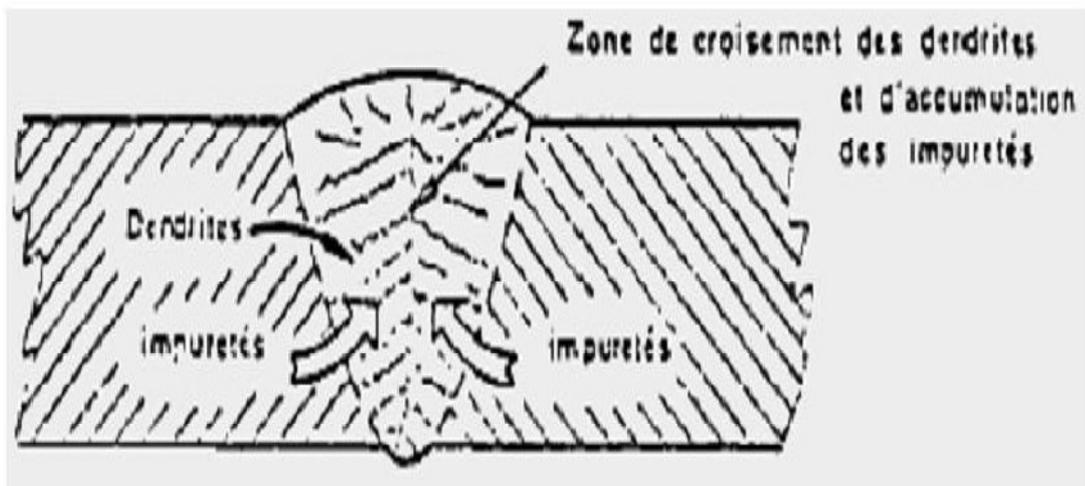


Fig. 3.10 : fissure à chaud (zone de croisement)

## 3. Méthodes de détection :

- Pour des fissures débouchant en surface : examen visuel, magnétique, ressuage
- Pour fissures internes: examen par ultrasons ou radiographie.

## 4. Méthode de réparation :

Éliminer la partie défectueuse de la soudure 5 mm au-delà de l'extrémité visible de la fissure et réparer par soudage.

### 5. Mesures préventives :

- Adapter les paramètres de soudage afin de s'approcher d'un rapport profondeur-largeur 1/1.
- Teneur en P et S dans le métal de base à limiter à 0,05 % pour les deux éléments.
- Limiter l'écartement des assemblages.
- Adapter le régime thermique afin d'éviter un retrait transversal important.

#### ➤ Fissures à froid (fissures d'hydrogène) :

##### 1. Définition :

Ce sont des fissures qui apparaissent à la suite de contraintes dans le métal aux alentours de la température ambiante. Ces fissures sont toujours localisées dans des zones de transition avec structure de trempe et peuvent déboucher dans la soudure même. La diffusion d'hydrogène est toujours un facteur contribuant. Ces fissures n'apparaissent parfois que plusieurs heures après les travaux de soudage.

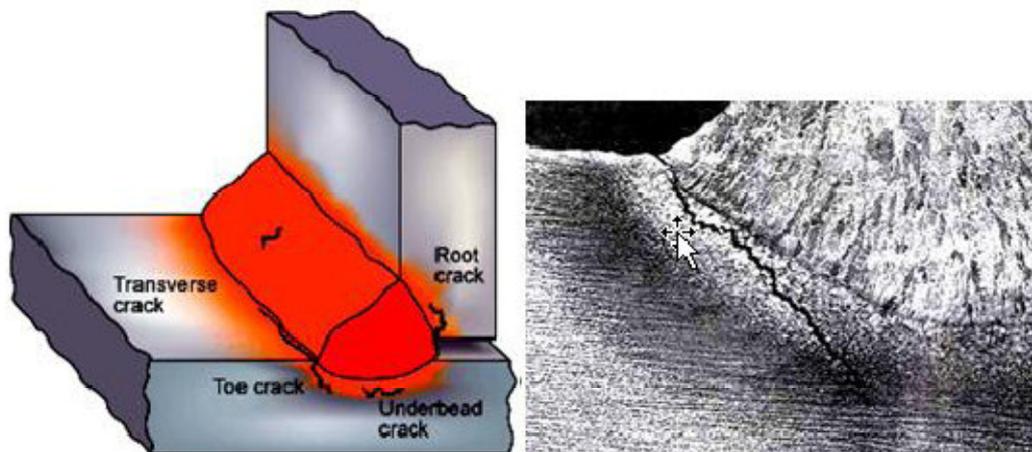


Fig. 3. 11 : fissure à froid

##### 2. Causes possibles :

La diffusion de l'hydrogène du métal de base vers la zone affectée thermiquement qui a une structure de trempe et qui est donc fissurant.

Ces porosités d'hydrogène ont une pression élevée et peuvent donc être à la base d'une fissure. L'hydrogène peut venir de l'humidité dans ou sur les produits de soudage ou d'autres produits contaminants tels que la peinture, l'huile ou des oxydes.

La probabilité de fissuration se voit en plus augmentée avec la hausse du carbone équivalent et de l'épaisseur. De grands écartements, un régime thermique faible ou manque de préchauffe peuvent également être des éléments.

##### 3. Méthodes de détection :

- Pour des fissures débouchant en surface : examen visuel, magnétique, ressuage
- Pour fissures internes : examen par ultrasons ou radiographie.

##### 4. Méthode de réparation :

Éliminer la partie défectueuse de la soudure 5 mm au-delà de l'extrémité visible de la fissure et réparer par soudage. Chaque réparation doit être exécutée ici par un préchauffage correct et doit être exécutée avec l'apport calorifique correct lors du soudage, afin d'éviter une nouvelle fissuration.

**5. Mesures préventives :**

- Utiliser des produits de soudage à basse teneur d'hydrogène. Suffisamment sécher les Électrodes avant soudage surtout celles avec enrobage basique.
- S'il y a préchauffage, chauffer l'entièreté de la section à la température voulue.
- Suivre consciencieusement la procédure qualifiée pour des aciers à caractère trempant Dans la zone affectée thermiquement.

**➤ Fissuration lamellaire (ou l'arrachement lamellaire) :****1. Introduction :**

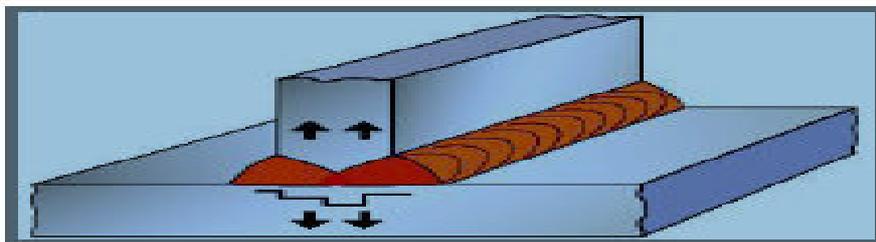
L'arrachement lamellaire (ou fissure lamellaire) peut se produire sous la soudure Spécialement dans les tôles laminées à faible ductilité dans le sens de l'épaisseur.

Nous décrivons ici, les traits caractéristiques, les principales causes, ainsi que les bonnes Pratiques pour minimiser le risque d'arrachement lamellaire.

**2. Identification :**

*Aspect Visuel :*

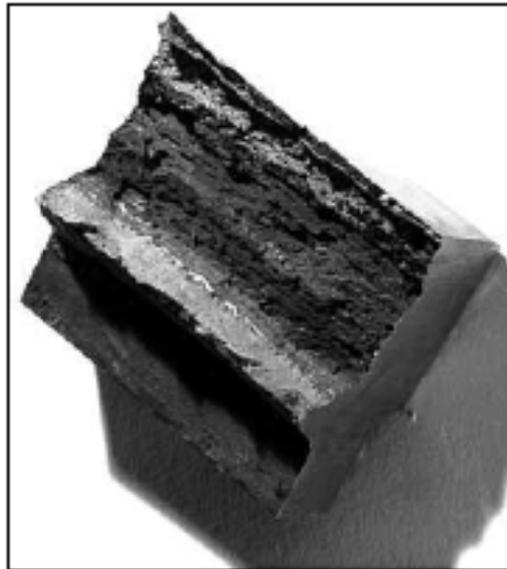
Le principal trait caractéristique de l'arrachement lamellaire est qu'il se produit dans les Soudures en T et en angle et qu'il se situe dans le métal de base parallèlement à la ligne de fusion de la soudure et de la surface de la tôle. Les fissures peuvent apparaître au bord de la Pénétration de la soudure mais sont toujours associées avec des points de grande concentration de contraintes.



**Fig. 3. 12 : fissuration lamellaire**

**4.3. Surface de Rupture**

La surface de la rupture est fibreuse avec un aspect de «bois» et de longues sections Parallèles qui indiquent une faible ductilité du métal dans le sens de l'épaisseur



**Fig. 3. 13 : surface de rupture**

#### **3.4.3.1. Les cause :**

Il est généralement reconnu qu'il y a trois conditions qui doivent être présentes pour que L'arrachement lamellaire se produise:

- Tension dans le sens de l'épaisseur: les tensions de soudage doivent agir dans la direction la Plus courte de la tôle (il à travers l'épaisseur de la tôle)
  - Orientation de la soudure : la zone de fusion sera parallèle au plan des inclusions
  - Susceptibilité du matériau : la tôle doit avoir une faible ductilité dans le sens de l'épaisseur
- Donc, le risque d'arrachement lamellaire sera plus grand si les tensions générées par soudage Agissent dans le sens de l'épaisseur. Le risque augmentera aussi avec l'augmentation du niveau d'hydrogène du métal déposé.

#### **3.4.4. Facteurs à considérer pour réduire le risque d'arrachement :**

Le choix du matériau, de la configuration du joint, du procédé de soudage, des consommables, ainsi que le préchauffage, et le beurrage peuvent aider à réduire le risque d'arrachement.

##### **3. 4.4.1. Matériau :**

L'arrachement n'est rencontré que dans les tôles laminées en acier et pas dans les produits Moulés ou forgés. Il n'y a pas de nuance d'acier qui est plus encline à l'arrachement lamellaire, mais les aciers avec une faible ductilité en épaisseur (STRA–Short Transverse Réduction in Area) seront susceptibles. En règle générale, les aciers avec STRA supérieur à 20 % sont essentiellement résistants à l'arrachement, alors que les aciers de 10 à 15 % de STRA devraient être utilisés uniquement dans les joints légèrement soumis à contraintes. Les aciers de haute résistance présentent un grand risque spécialement lors que l'épaisseur est supérieure à 25mm. Les aciers traités à l'aluminium avec un faible taux de soufre (<0,005%) présentent un faible risque.

### 3.4.4.2. Configuration du Joint :

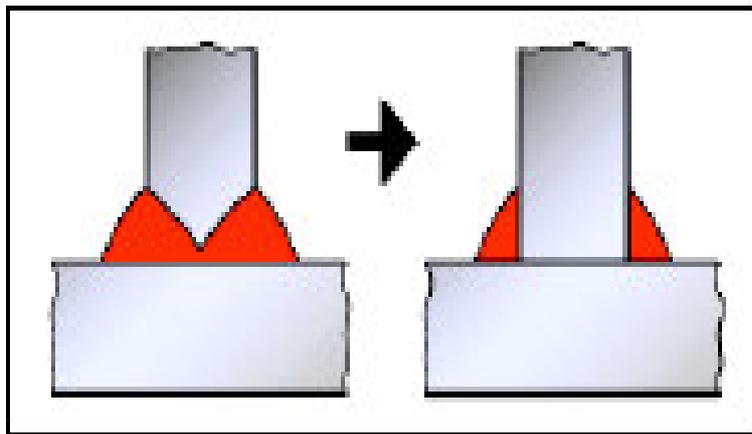
L'arrachement lamellaire se manifeste dans les joints qui produisent de grandes tensions à Travers l'épaisseur, (Ex joints en T ou en coin). Dans les joints en T ou cruciformes, les soudures à pleine pénétration seront particulièrement susceptibles

Les structures cruciformes dans les quelles la tôle susceptible ne peut se déformer durant le Soudage augmenteront aussi grandement le risque d'arrachement.

Dans les joints bout-à-bout, comme les contraintes de soudage n'agissent pas à travers L'épaisseur de la tôle, il y a peu de risque d'arrachement.

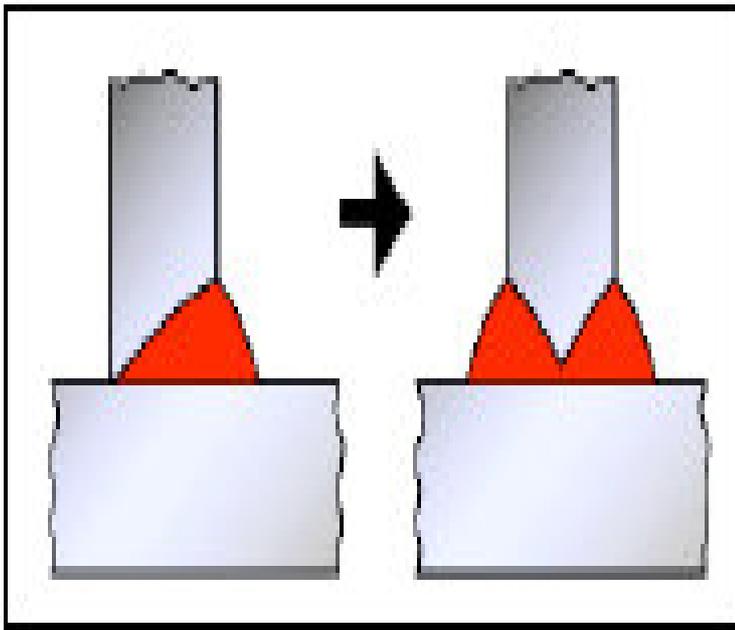
Comme la déformation angulaire peut augmenter la tension dans la racine de soudure et/ou Les extrémités de celle-ci, l'arrachement peut se produire dans les joints de sections épaisses où les tensions de pliage sont élevées. Plusieurs exemples de bonnes pratiques dans la conception de joints soudés sont illustrés

- Comme l'arrachement a plus de chance de se produire dans le soudures bout-about en T de pleine pénétration, utiliser, dans la mesure du possible, deux soudures d'angle.



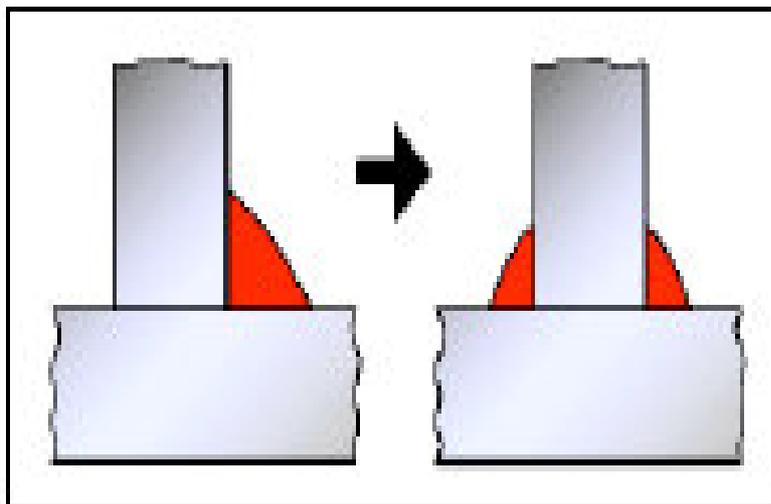
**Fig. 3.14 : configuration des joints**

Les soudures à deux faces sont moins susceptibles que les grandes soudures à une seule face et le soudage alterné pour réduire le stress, diminuera encore le risque d'arrachement spécialement dans la pénétration.



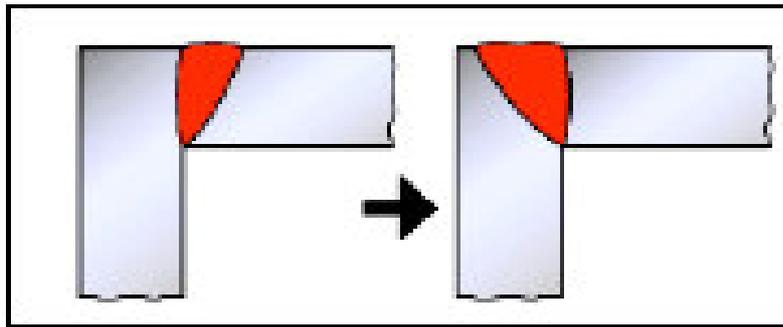
**Fig. 3.15 : configuration des joints**

Les soudures d'angle épaisses à une seule face devraient être remplacées par de plus petites soudures d'angle à deux faces.



**Fig. 3.16 : configuration des joints**

Revoir la configuration du joint, de manière à ce que la ligne de fusion soit plus perpendiculaire à la surface de la tôle susceptible, sera particulièrement efficace dans la Réduction du risque d'arrachement.



**Fig. 3.17 : configuration des joints**

#### **3.4.4.3. Dimensions de la soudure :**

L'arrachement lamellaire a plus de chance de se produire dans les soudures épaisses quand le Côté d'une soudure d'angle ou en T est supérieur à 20mm. Comme la contrainte contribue au Problème, une tôle de section plus mince qui est moins susceptible à l'arrachement peut être Quand même à risque dans les situations de contraintes élevées.

#### **3.4.4.4. Procédé de soudage :**

Comme le matériau et la configuration du joint sont les causes premières d'arrachement, le Choix du procédé de soudage a une influence relativement faible sur le risque. Toute fois, les Procédés à grand apport de chaleur, qui génèrent de faibles tensions à travers une plus large ZAT et une pénétration plus profonde, peuvent être bénéfiques.

Etant donné que l'hydrogène du métal déposé augmentera le risque d'arrachement, un Procédé à bas hydrogène devrait être utilisé lors du soudage des aciers susceptibles.

#### **3.4.4.5. Consommable :**

Lors que possible, le choix d'un consommable de faible résistance peut réduire le risque par Diminution de la tension dans le métal de soudure. Un plus petit diamètre de l'électrode qui peut être utilisé pour produire un plus petit flanc, sera utilisé pour prévenir la fissuration. Un Consommable à faible hydrogène réduira le risque par diminution du niveau d'hydrogène diffusé par le métal de soudure. Les consommables doivent être choisis selon les recommandations du fabricant.

#### **3.4.4.6. Préchauffage :**

Le préchauffage aura un effet bénéfique en réduisant le niveau d'hydrogène diffusé dans le Métal de soudure. Ce pendant, il doit être noté que dans un joint retenu, un préchauffage excessif peut avoir un effet nocif en augmentant le niveau de contrainte produit par la concentration à travers la soudure durant le refroidissement.

Le préchauffage devrait, alors, être utilisé pour réduire le niveau d'hydrogène mais il devrait être appliqué de manière à ne pas augmenter la quantité de contraction à travers la soudure

#### **3.4.4.7. Beurrage :**

Beurrer la surface de la tôle susceptible avec un métal de soudure de faible résistance a été Largement utilisé. Comme indiqué, par exemple, dans les (Fig.24.a&b.) ci-dessous pour une Soudure en T avec pleine pénétration, la surface de la tôle peut être chanfreinée de façon à ce que la couche de beurrage s'étende 15 à 25mm au-delà de chaque extrémité de la soudure et avoir une épaisseur de 5 à 10mm.

Le beurrage in-situ (a&b.), lorsque le métal de soudure de faible résistance est déposé en Premier sur la tôle susceptible avant de remplir le joint, a aussi été utilisé avec réussite.

Cependant, avant d'adopter cette technique, les calculs de conception doivent être réalisés avec soin pour s'assurer que la résistance globale du joint sera acceptable.

### **3.5. Les différentes zones d'un assemblage soudé :**

#### **3.5.1. Le métal de base :**

Il constitue le métal des pièces à assembler. Ces pièces peuvent être en métaux semblables ou de nature différente. Le métal de base est soumis à un traitement thermique variable suivant le point considéré. De ce fait, il est le siège de transformations d'ordre physico-chimiques. L'importance des transformations est fonction d'une part du cycle thermique et d'autre part de la nature de l'alliage. Les aciers austénitiques par exemple sont sensibles aux changements de phases par précipitations.

#### **3.5.2. La zone fondue:**

C'est la région où l'état liquide a régné pendant l'exécution de la soudure. Elle a été obtenue par la fusion du métal de base, avec la précipitation plus ou moins importante d'un métal d'apport. Le métal qui constitue la soudure est appelé métal fondu. Le métal apporté à l'état liquide, c'est-à-dire avant dilution, est appelé métal déposé

#### **3.5.3. La zone thermiquement affectée (Z.A.T)**

Partie du métal de base qui n'a pas été fondue, mais dont les propriétés mécaniques ou la microstructure ont été modifiées à un degré quelconque par la chaleur du soudage. Dans cette zone, on distingue, dans le cas des soudures exécutées sur des métaux ayant un point de transformation, une zone de transformation contiguë à la soudure et dans laquelle la température a été suffisante pour entraîner une transformation dite allotropie de la structure et donc une modification des propriétés physiques du métal, sans qu'il y ait eu changement de sa composition chimique. Dans l'autre partie de la zone thermiquement affectée, il n'y a pas eu transformation allotropique, mais seulement modification, par exemple, de la grosseur de la forme des grains du métal. La zone thermiquement affectée comporte différentes parties, on distingue:

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

#### **3.5.4. Zone de liaison**

Zone marquant la frontière entre la zone fondue et la zone thermiquement affectée (Z.A.T). En quelque sorte, c'est la limite entre le métal qui a été fondu et s'est solidifié et le métal qui est resté à l'état solide au cours de l'opération de soudage

### 3.6. Manque de pénétration :

#### 3.6.1. Localisations possibles des manques de pénétration :

Le manque de pénétration peut être localisé :

##### 3.6.1.1. A la racine de la soudure (soudure en « V ») :

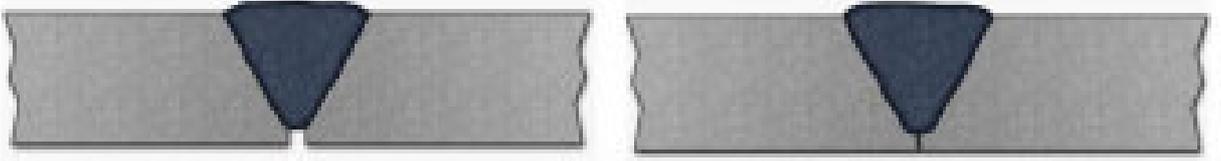


Fig. 3. 18 : manque de pénétration (soudure en v)

##### 3.6.1.2. A l'intérieur de la soudure (soudure avec reprise à revers « X »)

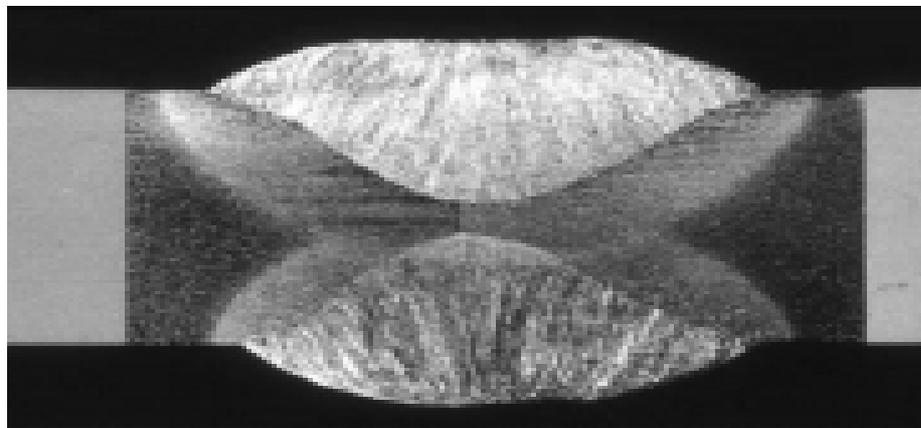


Fig. 3. 19 : manque de pénétration (soudure en x)

#### 3.6.2. Manque de pénétration à la racine :

##### 3.6.2.1. Définition :

Le métal d'apport n'atteint pas la racine du chanfrein.

##### 3.6.2.2. Causes possibles :

- Ecartement trop faible.
- Méplat trop grand.
- Soudage vertical descendant tandis que vertical montant spécifié pour obtenir une Pénétration complète.
- Apport calorifique trop faible.
- Vitesse de soudage trop grand

- Diamètre d'électrode fautif dans le soudage électrique manuel.
- Inductance trop importante dans le soudage MAG.
- Laitier qui coule devant le bain de soudage.

#### 3.6.2.3. Méthodes de détection :

- Défaut débouchant en surface; examen visuel, magnétique ou ressuage.
- Défaut interne: examen par ultrasons ou radiographie.

#### 3.6.2.4. Méthodes de réparation :

- Eliminer le métal d'apport à partir de la face la plus accessible et réparer par soudage.

#### 3.6.2.5. Mesures préventives :

- Adapter la préparation de soudage (écartement, méplat,...).
- Adapter les paramètres de soudage (vitesse de soudage, régime thermique,...).
- Diminuer la fluidité du laitier.
- Diminuer l'inductance pour le soudage MAG.

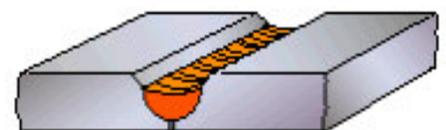
### 3.6.3. Manque de pénétration dans la soudure :

#### 3.6.3.1. Définition :

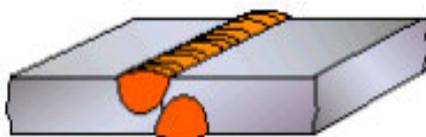
Le métal d'apport n'atteint pas le milieu du chanfrein en X



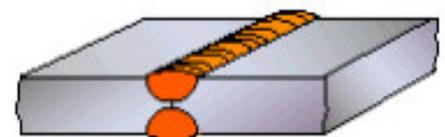
a). Talon trop grand



b). Ecartement trop faible



c). Soudage désaxé



d). Courant trop faible

Fig. 3.20 : manque de pénétration dans la soudure

**3.6.3.2. Causes possibles :**

- Idem Manque de pénétration à la racine.

**3.6.3.3. Méthodes de détection :**

- Examen par ultrasons ou radiographie.

**3.6.3.4. Méthodes de réparation :**

- Eliminer le métal d'apport à partir de la face la plus accessible et réparer par soudage.

**3.6.3.5. Mesures préventives :**

- Idem Manque de pénétration à la racine.
- Une mesure spécifique est de faire un examen magnétique ou un ressuage après Grugeage afin de contrôler la qualité du grugeage



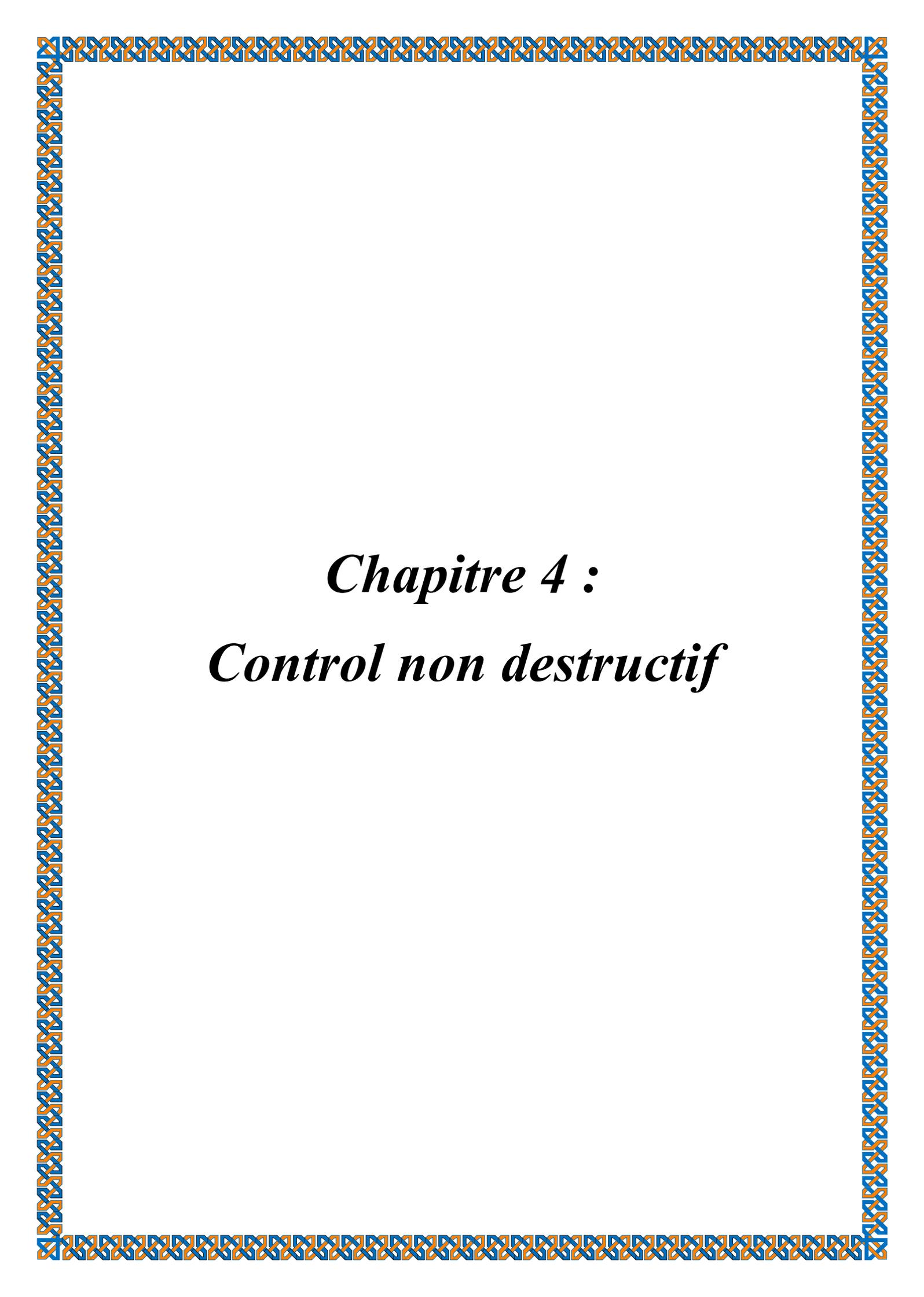
**Fig. 3.21 : manque de pénétration dans la soudure**

**3.7 Conclusion**

La fissuration résulte généralement de tensions internes trop importantes dans le cordon de soudure ou dans la zone chauffée durant le soudage (ZTA). Les fissures peuvent apparaître très tôt (fissuration à chaud) ou des heures, voire des jours après le soudage (fissuration à froid). Les causes les plus fréquentes de fissuration sont un refroidissement trop rapide, un métal d'apport incompatible avec le métal de base ou une mauvaise préparation des joints.

En plus des fissures, il existe plusieurs types de défauts de soudure : les défauts dimensionnels (mauvaise dimension du cordon sur la largeur ou sur l'épaisseur), les défauts de géométrie du cordon, les défauts de pénétration, les soufflures, les inclusions, les caniveaux, les Retassures, les projections et les défauts de fusion.

Les défauts de soudage peuvent être causés par de nombreux facteurs, dont la vitesse d'avance ou l'intensité du courant. Dans bien des cas, les défauts peuvent être détectés et corrigés en cours de soudage



*Chapitre 4 :*  
*Control non destructif*

## Contrôles non destructifs (CND)

### 4.1 Introduction :

L'utilisation des pipelines dans le domaine des hydrocarbures nécessite des contrôles stricts, aucune négligence est tolérable sur la détection des défauts ou anomalie qui engendrent la forme ou la structure de ces tubes. Dans notre étude on suivra toutes les méthodes de contrôle utilisé depuis le formage du tube jusqu'au revêtement de ce dernier, on va procéder aux contrôle visuel puis l'épreuve hydrostatique ensuite la méthode de détection des défauts par les ultrasons enfin l'interprétation de ces défaut par le contrôle radiographique des rayons x.

### 4.2 Contrôles des bobines :

Cette identification permet d'assurer la traçabilité du produit réceptionné. Les bobines non conformes sont isolées avec un marquage spécifique.

Un contrôle à la réception des bobines est effectué sur la base des spécifications Techniques (forme, dimensions, défauts de surface tels que les empreintes et les griffures), de La liste de colisage et la spécification des bobines dans le but de s'assurer la conformité des bobines reçues avec les documents d'accompagnement.

Un second contrôle des documents d'accompagnement (certificats d'analyse chimique et mécaniques) établis par le fournisseur. Les bobines conformes sont saisies sur une liste de réception, et sont identifiées par un marquage indélébile comportant : Numéro de la bobine, Numéro de la coulée et la nuance de l'acier, Poids de la bobine, Dimensions, Nom du fournisseur, identification du projet.



**Fig 4.1 : Stockages des bobines**

### 4.3 Contrôles des tubes :

Ces contrôles concernant le métal de base et le cordon de soudure. Ils ont pour but de Mettre en évidence des défauts soit directement (visuel) soit indirectement par leurs effets (visuel, magnétoscopie, ultrasons, radiographié...). Ces défauts sont de types :

- Défauts admissibles (soufflures sphériques ou allongées, coupe d'arc...).
- Défauts non admissibles (manque de pénétration, fissures, caniveaux...).

La conformité des tubes est vérifiée à la fin de l'opération de fabrication et avant leur Acheminement vers le parc par différents moyens de contrôle.

### 4.3.1 Procédures de contrôle des tubes :

Ces contrôles concernent le métal de base et le cordon de soudure. Les étapes de Contrôle sont les suivants :

#### ➤ 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.



Fig 4.2 : Contrôle visuels

#### ➤ .Contrôle des têtes de bande :

La recherche des défauts des têtes de bande, en particulier des dés doublures de laminage, se fait à l'aide d'appareils manuels à ultrasons au niveau de la machine de préparation des bobines.

#### ➤ . Contrôle continu du cordon de soudure sur la machine spirale :

La recherche des défauts internes du cordon de soudure, en particulier inclusions gazeuses et fissures, se fait à l'aide d'un appareillage à ultrasons automatique sur la machine spirale. Deux palpeurs émetteur récepteurs disposés de chaque côté du cordon et en contact avec le tube, testent la soudure et déclenchent des jets de peinture au droit des défauts hors tolérance. Cette localisation des défauts éventuels facilitera la recherche de leur importance et de leur type par radiographie.

#### ➤ . Contrôle radiographique et radioscopique :

Chaque défaut de soudage repéré à l'ultrason automatique, fait l'objet d'une première radiographie au rayon X. un second appareillage radiographique, identique au précédent et spécialisé au prise de la radiographie des soudures d'extrémités, la radioscopie utilise un écran fluorescent visualisant les défauts, mais la radiographie ; elle utilise des films de radiographie. Ces installations sont isolées par un écran de plomb, permettant la protection des personnels contre les rayons X.



**Fig 4.3 Contrôle radioscopie**

➤ **.Essais hydrostatiques :**

Conformément aux règlements de sécurité des gazoducs et oléoducs actuellement en vigueur, chaque tube produit est éprouvé à une pression correspondant à un taux de travail D’ environ 90% de sa limite élastique. Cette épreuve est faite avant radiographie des extrémités de tubes e doit permettre de faire apparaître éventuellement les fissures de cordons des soudures qui n’auraient pas été détectées par ultrason. Elle a d’ autre part, comme conséquences favorables, de normaliser les tensions internes du métal du tube et de relever légèrement les valeurs de la limite élastique. Cette épreuve se fait sans expansion proprement dite, le procédé de formage en spirale permettant d’ obtenir des tubes très ronds.

**1) Caractéristique de l’installation d’essais hydraulique :**

- Pression d’éprouve maximale : 2 MPa.
- Pompe basse pression de 6000 m3/h.
- Longueur des tubes pouvant être éprouvés : 7 à 15 m.
- Diamètre des tubes : jusqu’ à 48".
- Effort de serrage des plateaux sur tube contrôlé par balance hydraulique.
- Enregistrement graphique des épreuves.
- L’ensemble de l’appareillage est disposé en fosse

**2) Norme d’essai : API 5L. 10842 D**

Nuance	Limite élastique Re 0.5% [MPa]		Résistance à la traction Rm [MPa]		Rapport Re0.5% / Rm Maxi	Allongement A% Mini
	Mini	Maxi	Mini	Maxi		
X60M	415	565	520	760	0.93	22

**Tableau.4.1.Caractéristique mécanique exigé selon la norme API**

❖ **L’épreuve hydrostatique**

- L’épreuve hydrostatique consiste à un test de pression des tubes avec un temps de maintien
- pour voir la résistance des tube a une pression déterminée sans fuite au travers de la paroi.

3) Caractéristique de tube testé

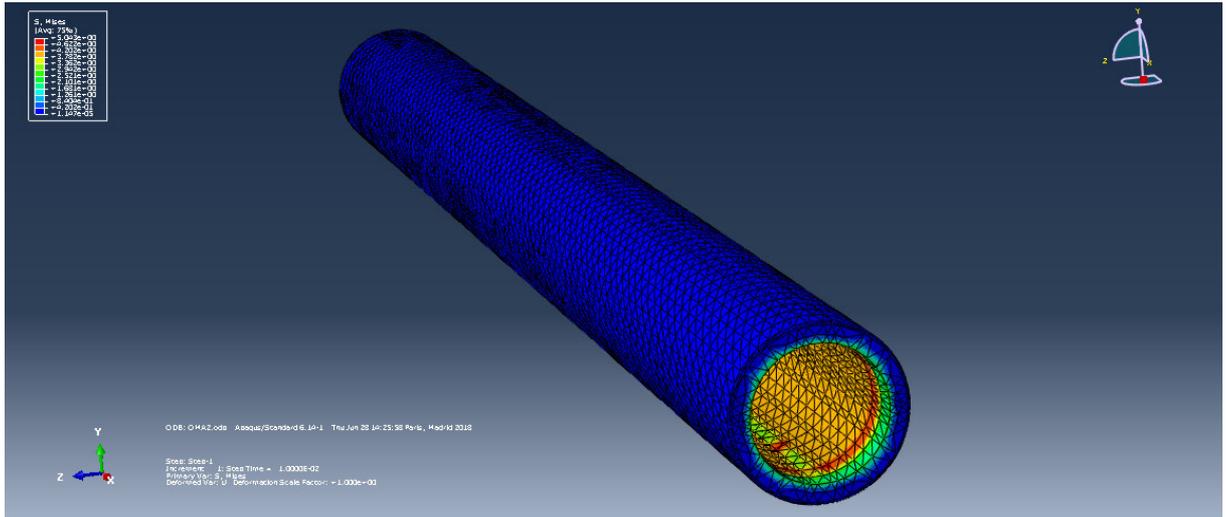


Fig4.4 tube testé

- Nuance X60 M.
- Diamètre tube  $D = 16'' = 559$  [mm].
- Epaisseur  $e = 11.13$  [mm].
- Longueur tube  $10842 = 12.00$  [m].
- Temps de maintien  $18$  [s].
- Pression d'essai  $p = 153$  [bar] exigence API 5L.

La pression d'essai est déterminée grâce à cette équation :

$$P = \frac{20 * T * e * Re}{D}$$

**T** : taux du rapport  $Re_{0.5}/R_m$  normalisé a  $0.79\%$ .

**e** : l'épaisseur en [mm].

**Re** : limite élastique  $Re_{0.5}$  minimal.

**Rm** : la résistance en MPa.

**D** : diamètre en [mm].

**Premier simulation**

**1) Résultats N1**

légende	Nr	$R_{P0.2}$ MPa	Rm MPa	me GPa	$R_{P0.2}/R_m$ %	Ra MPa	$a_0$ mm	$b_0$ mm	$S_0$ $mm^2$
	1	456	574	183	79.51	398	11.1	38.2	424.02
	2	450	574	142	78.32	408	11.1	38.2	424.2
	3	459	580	183	79.10	403	11.1	38.7	429.2

**Tableau 4.2 interprétation des résultats**

2) Nous avons procédé à des essais sur le banc hydrostatique pour observer leur résistance a la pression de 2MPa, on a pris un exemple sur le tube 10842 D. Les résultats d'essai sont illustrés sur les figures.

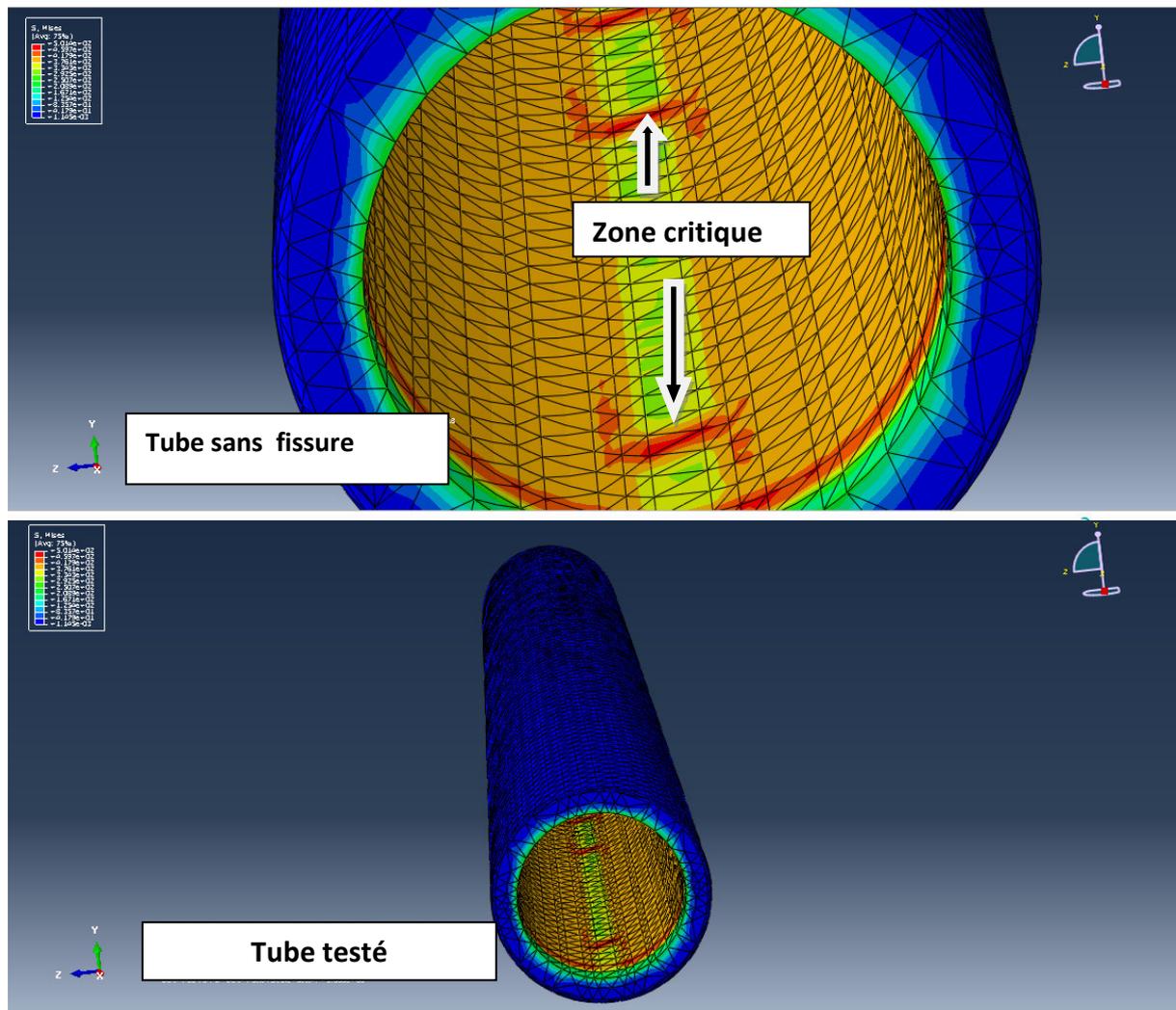


Fig4.5 résultats d'essais sur le tube (sans fissure)

3) Pour le tube 10842 D lorsqu'il est placé dans le banc hydrostatique suite au remplissage d'eau dans le tube on remarque qu'elle est constante une fois le tube est plein la pression augmente jusqu'à une pression de 2MPa il reste 18 seconde le temps de maintien, on remarque aucune chute de pression donc le tube peut résister à une pression de 2MPa

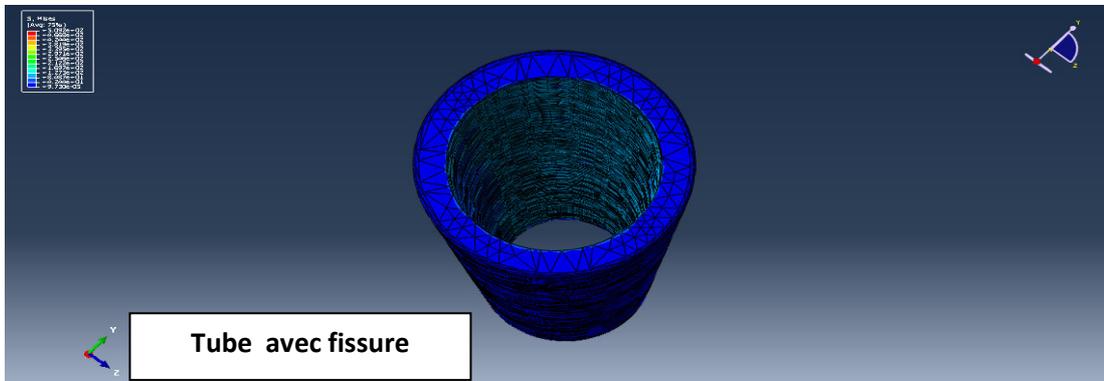
**Deuxième simulation :**

**1) Résultats N2**

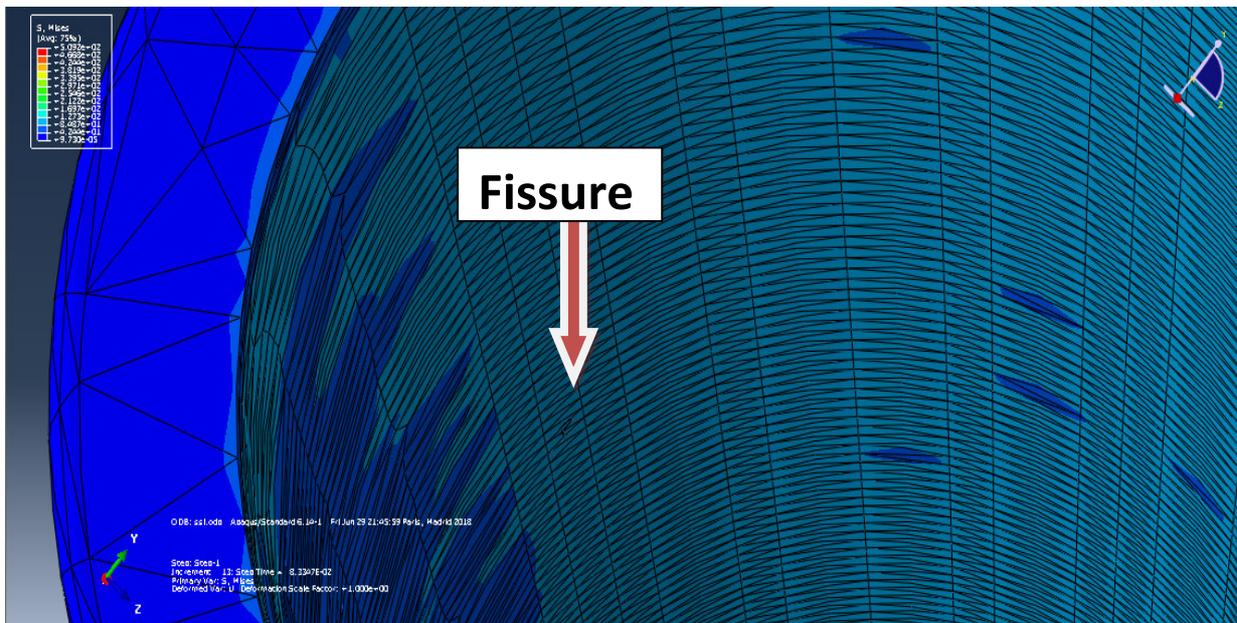
légende	Nr	$R_{p0.2}$ MPa	Rm MPa	me GPa	$R_{p0.2}/R_m$ %	Ra MPa	$a_0$ mm	$b_0$ mm	$S_0$ $mm^2$
	1	570	780	183	73.05	398	11.1	38.2	424.02

**Tableau 4.3 interprétation des résultats**

2) Nous avons procédé à des essais sur le banc hydrostatique pour observer leur résistance a la pression de 16.5MPa, on a pris un exemple sur le tube 10842 D. Les résultats d'essai sont illustrés sur les figures.



**Fig.4.6 résultats d'essais sur le tube (avec fissure)**



**Fig. 4.7 Les fissures**

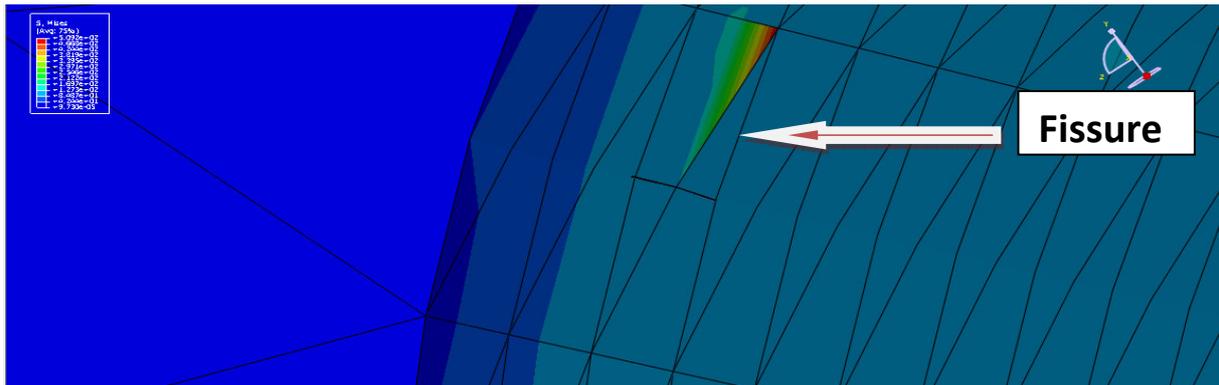


Fig. 4.7 Les fissures

3) Pour le tube 10842 D lorsque la pression d'eau exercée atteint 16.5Mpa elle reste Constante pendant 5 secondes une chute de pression apparait sur la courbe due à une fuite d'eau le long d'une extrémité du tube une déchirure dans la ligne du cordon de soudure, le

Tube ne résiste pas à la pression de 16.5MPa donc le tube n'est pas conforme à l'exigence de l'API pour le transport des hydrocarbures le tube passe en réparation pour éliminer la Fissure. Le tube sera destiné ensuite pour le transport hydraulique.

#### ➤ Contrôle par ultrasons

##### 1) Introduction :

Le contrôle par ultrasons est réalisé sur le cordon de soudure, le métal de base et les Extrémités du tube afin de détecter tout défaut. Les résultats du contrôle sont enregistrés Automatiquement sur PC et imprimé sur papier (rapport Ultrason ou numéro du tube y est Reporté ; les indications des défauts sont affichées d'une manière acoustique et optique). Pour contrôler la fiabilité de l'installation ultrasonique, un tube étalon est passé périodiquement en contrôle début et fin de chaque poste de travail, l'inspecteur s'assurera que tous les défauts artificiels créés sur ce tube sont repérés lors du contrôle.

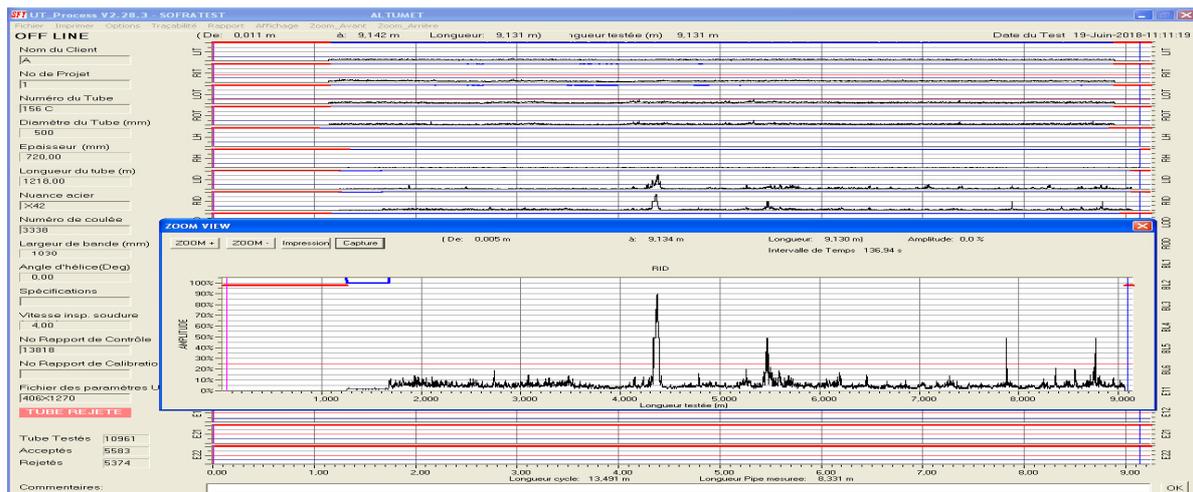
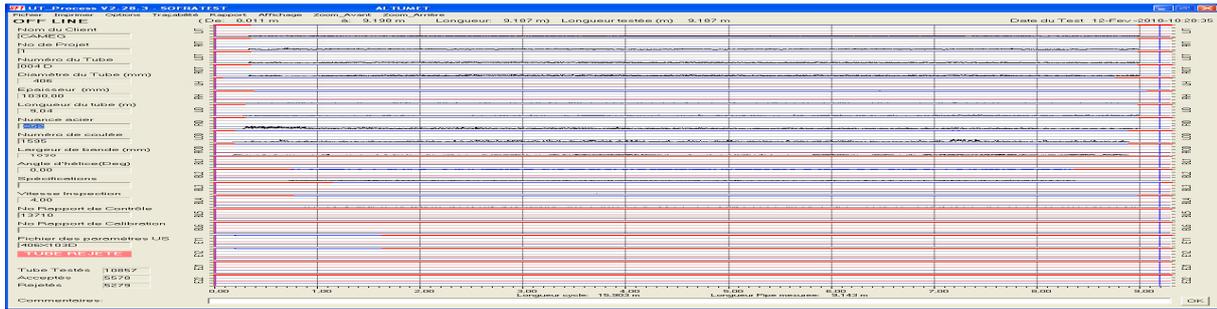


Fig. 4.8 : tube contrôlé par la technique ultrasonique avec des défauts



**Fig. 4.9 tube contrôler son défauts**

## 2) Machine de control ultrason

Il existe deux types de machines de contrôle ultrasonique, l'une est une composante de la machine à souder spirale ATIS et l'autre est une machine indépendante qui est utilisée pour le contrôle final des tubes avant le revêtement.



**Fig. 4.10 machine ultrason**

## 3) Définition des ultrasons :

Les ultrasons sont des vibrations de même nature que le son, dont les fréquences dépassent la plus haute fréquence audible par l'être humain. Ce sont des ondes acoustiques comprises entre 16 kHz et quelques centaines de mégahertz..

**Infrasons** : entre 0 Hz et 20 Hz.

**Spectre audible** :

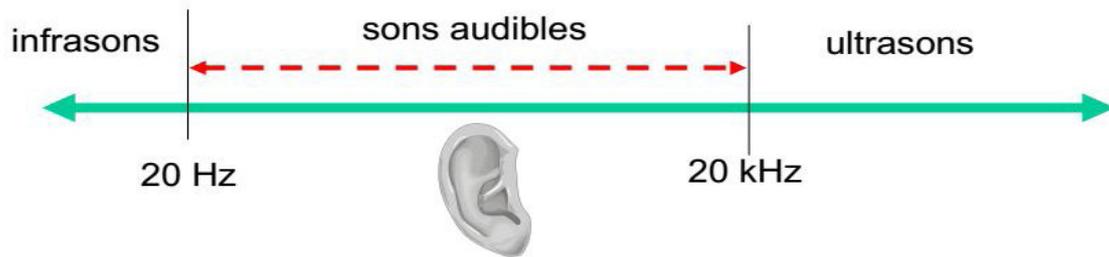
**Graves** : 20 Hz à 300 Hz

**Médium** : 300 Hz à 6 kHz

**Aigus** : 6 kHz à 20 kHz

**Ultrasons** : 20 kHz à 200 MHz.

**Hyper sons** : >200 MHz.



**Fig 4.11 : Classification des sons selon la fréquence utilisée**

#### **4)Le principe de production des ondes ultrasoniques :**

De nombreux systèmes sont susceptibles de produire des ultrasons. Un appareil produisant des ultrasons est communément appelé transducteur ou convertisseur d'ultrasons. La technologie des transducteurs peut être basée sur des générateurs pneumatiques (sifflets, sirènes,...), électrodynamiques (haut-parleur) ou électrique. Dans ce dernier cas, on utilisera les propriétés des matériaux magnétostrictifs ou piézoélectriques pour convertir l'énergie électrique en une énergie mécanique ultrasonore. Les matériaux les plus utilisés actuellement sont des matériaux piézoélectriques. Ces matériaux se présentent le plus souvent sous la forme d'un disque ou d'un anneau sur les faces du quelles sont disposées deux électrodes métallisées. Lorsqu'une tension électrique est appliquée sur ces deux électrodes, le matériaux se dilate ou se comprime selon l'orientation de la tension par rapport à la polarisation de la céramique. Inversement, en appliquant une force sur le matériau, il se produira l'effet inverse, une tension apparaîtra aux bornes des électrodes, permettant de produire l'énergie ultrasonique.

Les amplitudes de déplacement ou de vibration de ces céramiques sont très faible (environ quelques microns). Pour créer des effets intéressants sur la matière, l'amplitude de vibration de l'outil en contact avec le milieu doit être de plusieurs dizaines de microns. Pour obtenir ce résultat, on empile généralement plusieurs céramiques l'une sur l'autre qui seront maintenues en pression entre deux masses métalliques. Le choix du matériau constituant ces masses et celui de la section de ces dernières permettant de favoriser la vibration dans une direction privilégiée (plan de coupe). Les transducteurs ainsi constitués développent un déplacement maximal à certaines fréquences particulières qui dépendent de la géométrie du transducteur lui-même. On nomme ces fréquences, fréquences de résonance. L'utilisation de ces transducteurs est généralement limitée à ces fréquences particulières. Pour fournir une onde ultrasonique, le principe consiste à fournir aux systèmes ultrasons une tension électrique dont la fréquence est égale à leur fréquence de résonance.

Le spectre des ultrasons a été élargi suivant le progrès technologique doivent présentée dans la figure ci-dessous :

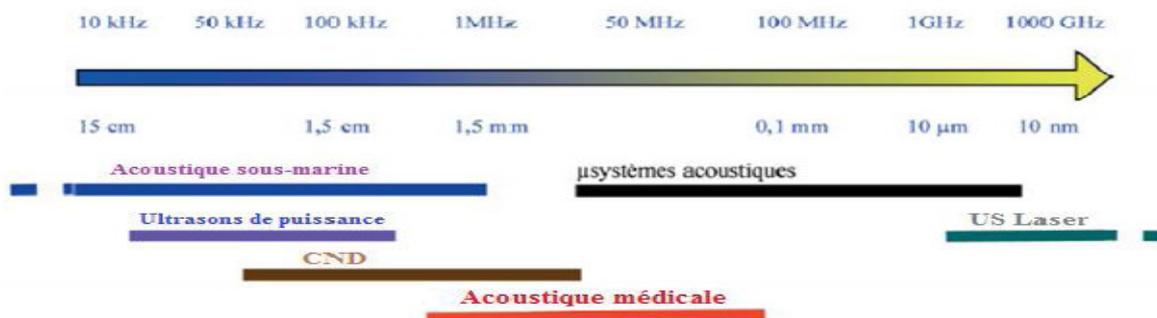


Fig 4.12 : Spectre fréquentiel des ultrasons

### 5) Effet piézo-électrique :

Ce phénomène se caractérise par l'apparition de charge électrique sur les faces d'un matériau capable de se dilater ou de se contracter sous l'effet d'une pression liée à une onde mécanique appliquée entre les 2 faces d'un disque de ce matériau. Ce matériau sera le siège d'un effet Piézo-électrique s'il apparaît entre les deux faces une différence de potentiel électrique liée à une modification de la répartition des charges électriques (dipôles) dans le matériau (Effet direct). A l'inverse, un effet piézo-électrique indirect apparaît lorsque le matériau est soumis à une DDP entre les faces d'une céramique provoque une variation de son épaisseur. Cette déformation cyclique induit la vibration du milieu de propagation (l'apparition à la surface d'une onde mécanique).

La mise en jeu d'une DDP de sinusoïdale de fréquence donnée permet de produire une onde ultrasonore de même fréquence. Pour détecter des Ultrasons, il suffit d'utiliser le phénomène inverse et d'enregistrer la DDP produite.

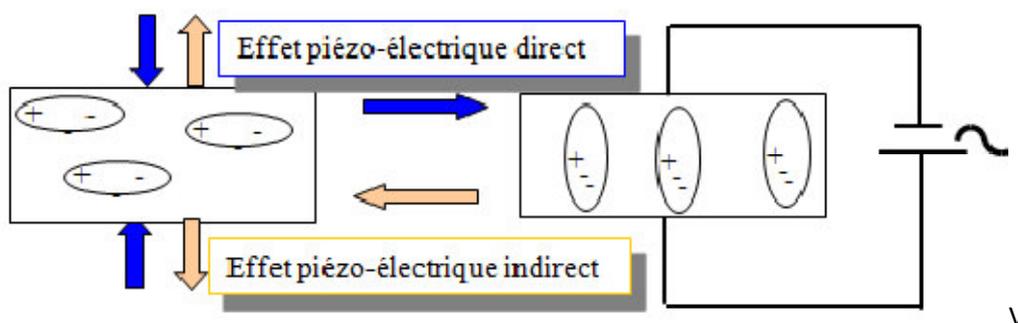


Fig 4.13 : piézoélectrique direct et indirect effet

### 6) Le transducteur piézoélectrique :

D'un point de vue terminologie le terme transducteur devrait être distingué du terme capteur, par définition est un convertisseur d'énergie d'une forme à une autre, par contre le second convertit un stimulus vers un signal électrique

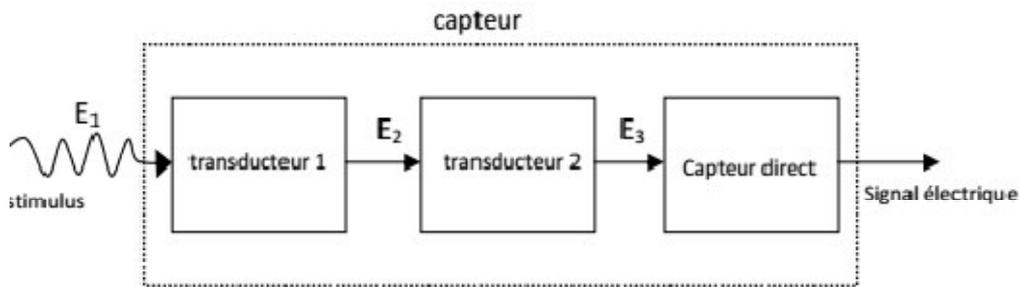


Fig 4 .14 : Composition d'un capteur (E1, E2, et E3 : forme quelconque d'énergies)

Le transducteur est constitué principalement d'un cristal piézoélectrique qui se met à vibrer Lorsqu' une variation de tension est appliquée aux ces bornes, une onde de pression est alors Produite. Inversement, lorsqu'un cristal piézoélectrique est exposé à une onde de pression il se déforme et produite un signal électrique. La composition standard d'une capsule à ultrasons est détaillée dans la figure (1.5).

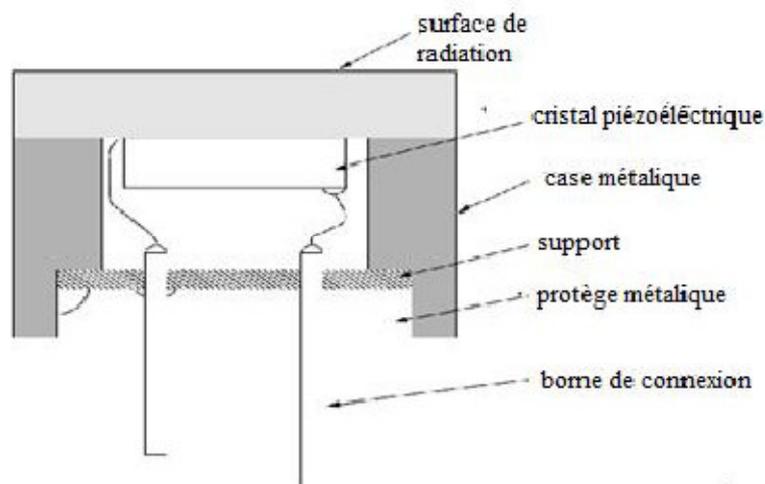


Fig 4.15 : La composition standard d'une capsule à ultrason

La largeur de bande, l'impédance acoustique, la sensibilité d'un piézoélectrique ainsi que L'intensité et la température maximale sont les paramètres qui déterminent la fréquence de résonance. Les matériaux piézoélectriques possèdent une fréquence naturelle de résonance. Chaque piézoélectrique est conçu pour une fréquence spécifique tel que présenté par l'équation suivant :

Les paramètres qui déterminent cette fréquence naturelle l'épaisseur de Piézo-électrique  $a$  et la vitesse de propagation  $c$  de l'onde à l'intérieur de piézoélectrique

$$f = C/2A \text{ (Hz)} \quad (4.1)$$

Les avantages principaux dans l'utilisation des transducteurs ultrasoniques sont les suivants :

- Une mesure directe sans passer par des algorithmes de calcul,
- Une réponse rapide usuellement en fraction de seconde,
- Une très bonne résolution.

### 7) Propriétés Physiques Des Ultrasons :

Cette section présente les différents paramètres nécessaires à la caractérisation de l'onde Ultrasonore.

#### ❖ L'impédance acoustique :

Les ultrasons pénètrent plus ou moins bien dans les différents milieux qu'ils traversent. La Résistance à la propagation d'une onde acoustique s'appelle une **impédance acoustique**. Elle Exprime le comportement d'un milieu vis-à-vis des ondes ultrasonores :

$$Z = \sqrt{\left(\frac{\rho}{x}\right) \left(\frac{kg}{m^2 s}\right)} \quad (4.1)$$

Avec :

$x$  : la compressibilité du milieu

$\rho$  : La masse volumique

#### ❖ Célérité de l'onde acoustique :

La célérité est la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le milieu étudié. La Célérité de l'onde dépend uniquement des caractéristiques du milieu matériel traversé qui sont son élasticité et son densité.

$$C = Z / \rho \quad (\text{m/s}) \quad (4.2)$$

Avec :

$Z$  : l'impédance acoustique

$\rho$  : la densité du tissu étudié respectivement

$C$  : la célérité de l'onde.

#### ❖ Fréquence et Longueur d'onde :

##### *La longueur d'onde ( $\lambda$ ) :*

Elle est caractérisé à la fois de l'onde et du milieu de propagation. Elle mesure l'étendue Spatiale d'un cycle de vibration. Elle correspond à la distance parcourue par l'onde au cours d'un cycle de vibration. La fréquence et la longueur d'onde sont reliées par l'équation (2)

##### *La fréquence $F$ (Hz) :*

Elle est définie comme le nombre de vibrations de la source émettrice (cristaux) par unité de Temps. Elle correspondant au nombre de cycles observés par seconde; Elle dépend des caractéristiques des cristaux piézo-électriques :

$$\lambda = c/f$$

Dans le tableau ci-dessous nous avons donné quelques valeurs de la longueur d'onde suivis par ses valeurs de célérité et de la fréquence :

tissu	célérité	fréquence	$\lambda$
muscle	1540 m.s <sup>-1</sup>	5 MHz	0,308 mm
muscle	1540 m.s <sup>-1</sup>	10 MHz	0,154 mm
graisse	1450 m.s <sup>-1</sup>	5 MHz	0290 mm
os	4080 m.s <sup>-1</sup>	5 MHz	0816 mm

**Tableau 4.4: la fréquence et la longueur d'onde dans différent milieu**

❖ **La pression :**

En chaque point, la pression acoustique **P** varie selon la fréquence de l'onde ultra sonore. L'énergie délivrée au tissu dépend de ces variations de pression qui soumettent les particules du milieu à des mouvements vibratoires.

❖ **Intensité :**

On appelle intensité ultrasonore l'énergie qui traverse perpendiculairement l'unité de surface pendant l'unité de temps. Elle est reliée à la pression acoustique par la formule suivante :

$$I = C^2/2\rho C \quad (4.3)$$

Avec :

**P**: Pression acoustique

**$\rho$** : Masse volumique

**C** : célérité

❖ **L'équation de l'onde ultrasonore :**

L'équation de l'onde ultrasonore plane dans un milieu peut se mettre sous la forme suivante :

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \frac{\rho}{E_y} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \quad (4.4)$$

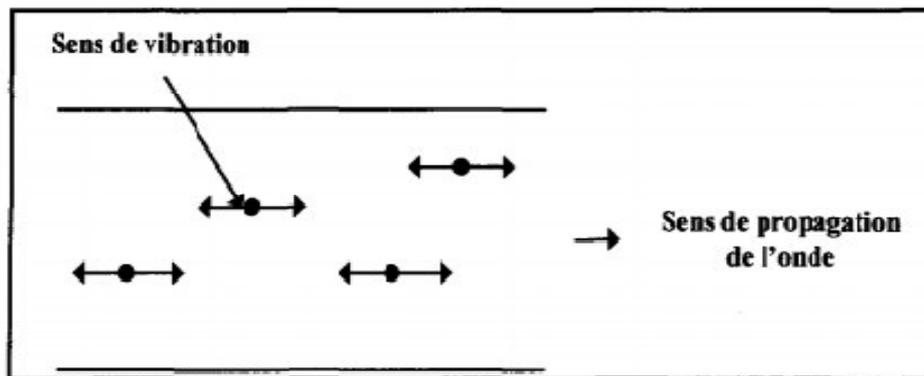
**P** : la densité du milieu en kg. m<sup>-3</sup>

**$\rho$** : La pression d'onde acoustique exprimée en kg.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>

**E<sub>y</sub>** : Le module de Young en kg. m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>

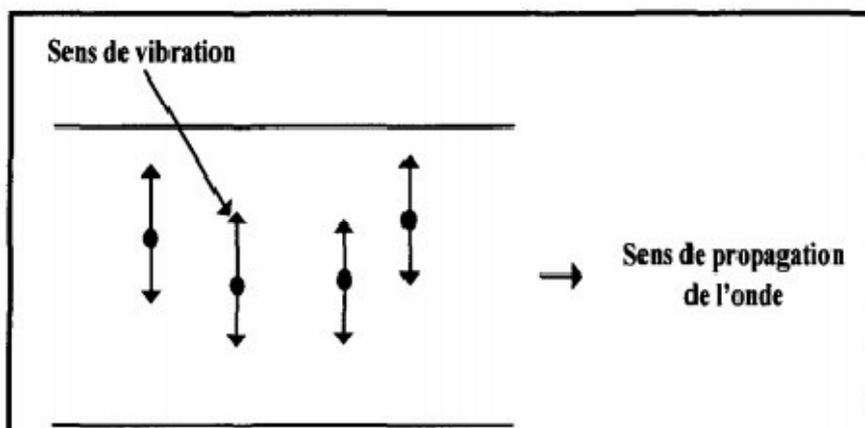
### 8) Propagation des ultrasons dans un milieu solide :

La propagation d'ultrasons dans les milieux solides, indépendamment de la puissance du Transducteur, peut produire un échauffement ou une vibration. Dans les solides cependant, non seulement les forces de compression sont transmises, mais aussi les forces de cisaillement. C'est pourquoi, en plus des ondes longitudinales, des ondes transversales et des ondes de torsion peuvent se propager. La nature des ondes existantes dans un milieu dépend beaucoup de la forme et des dimensions de ce milieu. Si on s'intéresse à un solide de dimension finie, les ondes longitudinales ou de compressions sont caractérisées par le fait que la direction de la vibration des particules est parallèle à la direction de propagation de l'onde, telle qu'illustrée à la figure 4-16



**Fig 4.16: propagation des ondes longitudinales dans un solide**

Par opposition, on peut distinguer les ondes transversales ou de cisaillement, lorsque la direction de vibration des particules est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde, comme illustré par la figure (4.17).



**Fig 4.17: propagation des ondes transversales dans un solide**

Enfin, en plus des ondes longitudinales et transversales, des ondes de surface (ou de Rayleigh) peuvent se propager sous certaines conditions, le long de la surface d'un solide sans pénétrer dans le volume. De telles ondes sont une combinaison de déplacements longitudinaux et transversaux.

### 9) Propagation des ultrasons dans un milieu liquide :

La propagation des ultrasons dans les liquides se limite à celle d'ondes longitudinales puisque ces milieux ne peuvent résister aux contraintes tangentielles. La vitesse avec laquelle les ultrasons se propagent dans le milieu dépend de l'élasticité et de la densité du milieu.

Lorsque les ondes sonores se propagent dans un liquide, on observe une perte d'énergie due au mouvement relatif des particules qui constituent le milieu. Elle est due aux forces de viscosité qui tendent à dégrader l'énergie acoustique en chaleur. La viscosité dans ce cas, est équivalente à la rigidité pour un matériau. Ainsi, plus la viscosité est élevée plus la température du milieu augmente.

### 10) Émission et réception de l'onde ultrasonore :

L'intensité d'une onde acoustique qui se propage dans les différents milieux s'atténue le long de son parcours. Plusieurs facteurs contribuent à cette atténuation telle que l'absorption, la réfraction, la réflexion et la diffusion. L'émission d'impulsions ultrasoniques dans un solide produit deux effets: un effet thermique qui dépend de la puissance acoustique de l'onde et qui engendre une propagation de la chaleur dans le milieu et un effet mécanique qui est la transmission figure (4-16)

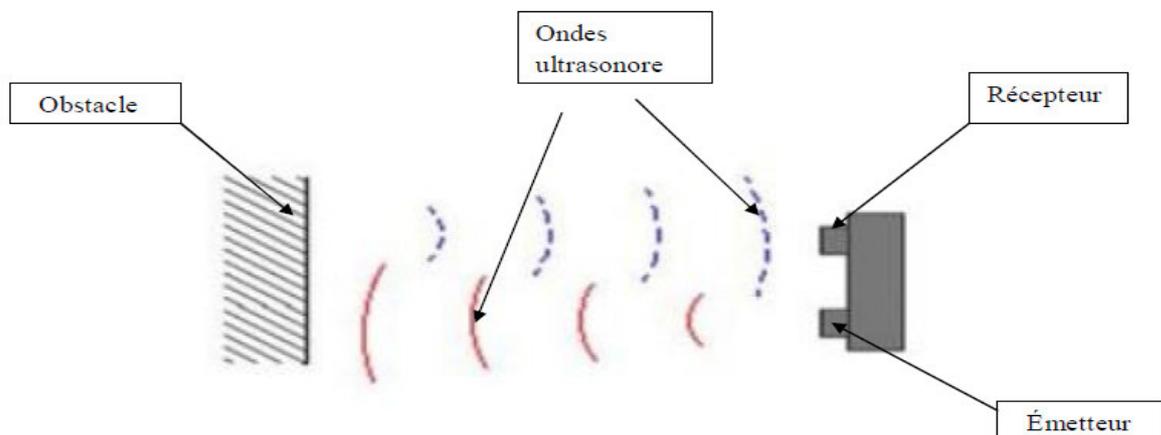


Fig4.18 : Emission et réception des ultrasons

### 11) Principes des mesures

#### ✓ Mesures dans l'air

La période des signaux est de 25  $\mu$ s. En déplaçant le récepteur, on constate une périodicité spatiale de 8,1 mm.

La vitesse du son dans l'air est ainsi de  $V = d/t = 8,1 \cdot 10^{-3} / 25 \cdot 10^{-6} = 324 \text{ ms}^{-1}$  ce qui est conforme à la valeur attendue.

On peut aussi procéder par l'envoi période de salves d'US. Le temps qui s'écoule entre le début de la salve émise et celui de la salve reçue correspond à la distance les séparant. On mesure ici 1,8 ms pour parcourir 60 cm soit  $V = 0,6 / 1,8 \cdot 10^{-3} = 333 \text{ ms}^{-1}$ .

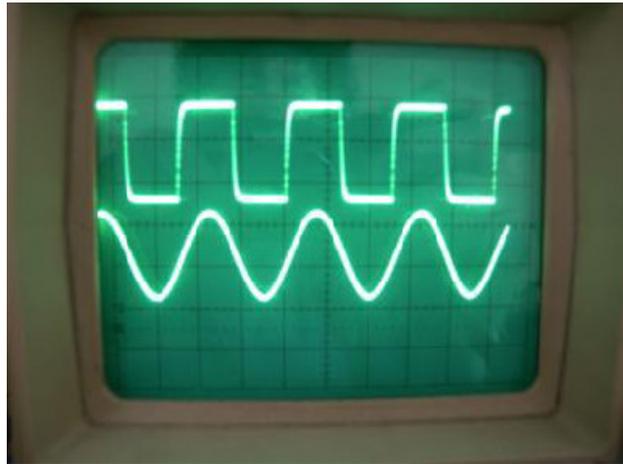


Fig. 4.19 : mesures dans l'air

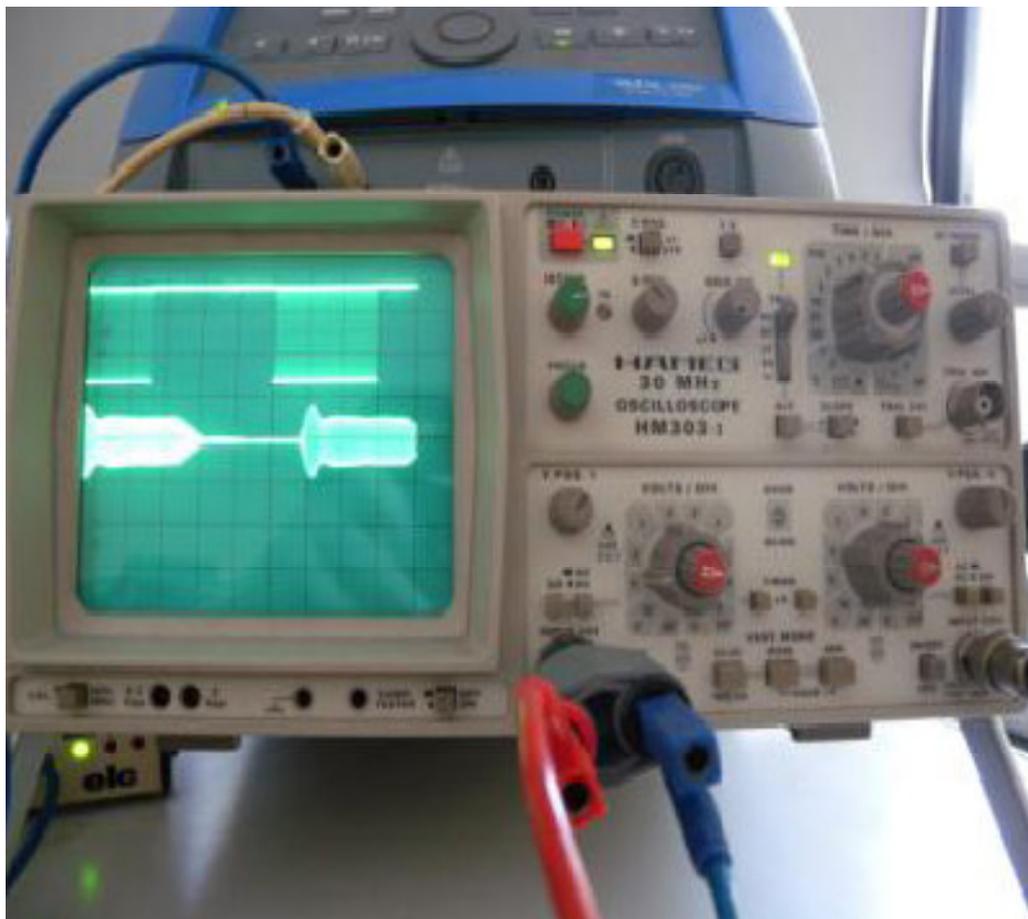


Fig. 4.20 mesures dans l'air

✓ **Mesures dans un matériau métallique :**  
On utilise par exemple le Sonates :



Fig. 4.21 mesures dans un matériau métallique

En utilisant la cale calibrée, on mesure une distance de 100 mm et on déduit donc que la vitesse des US dans l'acier est de 5976 ms.<sup>-1</sup>. L'appareil est ainsi étalonné pour mesurer d'autres dimensions et éventuellement pour déterminer la position de défauts dans ce même matériau.

Le principe utilisé est celui de l'écho :



Fig. 4.22 : principe de mesure

## 12) Analyse et interprétation des résultats

### ➤ Caractéristique mécanique de l'acier X60 M

On peut déterminer le module d'Young E et le module de compressibilité K du matériau et le coefficient de Poisson  $\nu$  les constantes de second ordre ou constantes de lamé  $\lambda$  et  $\mu$  par l'intermédiaire des ondes longitudinales et transversales.

▪ connaissant la vitesse de propagation des ondes longitudinales et transversales, les constantes du second ordre ou constantes de lamé  $\lambda$  et  $\mu$  sont obtenues à l'aide des relations suivantes:

Les constantes de lamé  $\lambda$  et  $\mu$  :

$$\rho V_{OL}^2 = \lambda + 2\mu$$

$$\rho V_{OT}^2 = \mu$$

▪ Coefficient de poisson  $\nu$  :

$$\nu = \frac{1 - 2\left(\frac{v_{ot}}{v_{ol}}\right)^2}{2 - 2\left(\frac{v_{ot}}{v_{ol}}\right)^2}$$

▪ Module de Young E :

$$E = (V_{OL})^2 [(\rho * (1 + \nu) * (1 - 2\nu)) / (1 - \nu)]$$

▪ Module de compressibilité K

$$K = \lambda + (2/3) \mu$$

- L'acier utiliser c'est X60 M.
- Epaisseur  $e = 6.35$  [mm].
- Masse volumique de l'acier est  $\rho = 7900$  [Kg /m<sup>3</sup>].
- Vitesse d'onde longitudinale  $V_{OL} = 5640$  [m/s].
- Vitesse d'onde transversale  $V_{OT} = 3070$  [m/s].

Caractéristiques	E [GPas]	K [GPas]	$\lambda$ [GPa]	$\mu$ [GPa]	$\nu$
Résultats	191.76	152.01	102.38	74.45	0.29

**Tableau 4.5 Caractéristique mécanique de l'acier X60 M**

➤ **Exécution du contrôle**

L'examen des ultrasons ne se fait pas tout au long du tube, il commence à partir de 150 mm d'une extrémité de tube à cause des conditions de sécurité des palpeurs à se rompre, lorsque le balayage des palpeurs commence au début, les deux premiers palpeurs sont placer sur le tube et les autres qui suivent ont tendance à se cassé en heurtant le tube.

Pour le contrôle du métal de base, 08palpeurs droits avec onde longitudinale balayent la surface de tube comme le montre la figure suivante :



**Fig 4.23. Balayage des palpeurs droits sur le métal de base.**

Pour le contrôle du cordon de soudure et ZAT, 10 palpeurs d'angle 46° avec onde transversale,

les palpeurs sont positionnés correctement grâce à un laser qui place le cordon de soudure au milieu des palpeurs droite et gauche comme le montre la figure suivante :

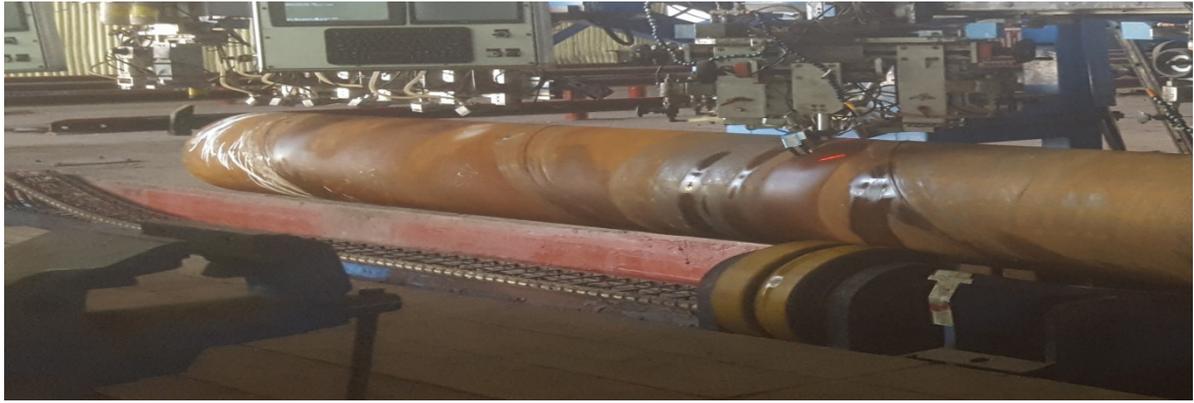


Fig 4.24 balayage des palpeurs d'angle pour la soudure est la ZAT.

Le contrôle de la totalité de la soudure s'obtiendra par un déplacement des palpeurs d'angle de  $46^\circ$  le long de la soudure dans une zone de balayage de largeur donnée par :

$$S = 4 * e * \text{tg } \alpha$$

$$S = 4 * 6.35 * \text{tg } 46^\circ$$

$$S = 26.3 \text{ mm}$$

S : largeur de la zone de balayage.

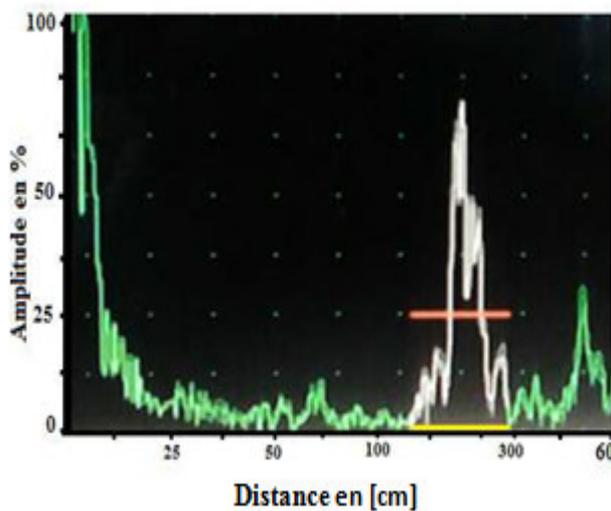
e : épaisseur du tube.

$\alpha$  : angle de réfraction du palpeur.

Le balayage est effectué sur les deux côtés de la soudure dans le but de localiser le maximum des défauts, avec un système d'arrosage automatique d'eau qui sert comme couplant sur toute au long du tube.

➤ **Résultats et interprétation du contrôle des ultrasons**

On a relevé 3 défauts sur l'acheminement de plusieurs tubes, les échos représentatifs de chaque défaut sont donnés par les figures suivantes :

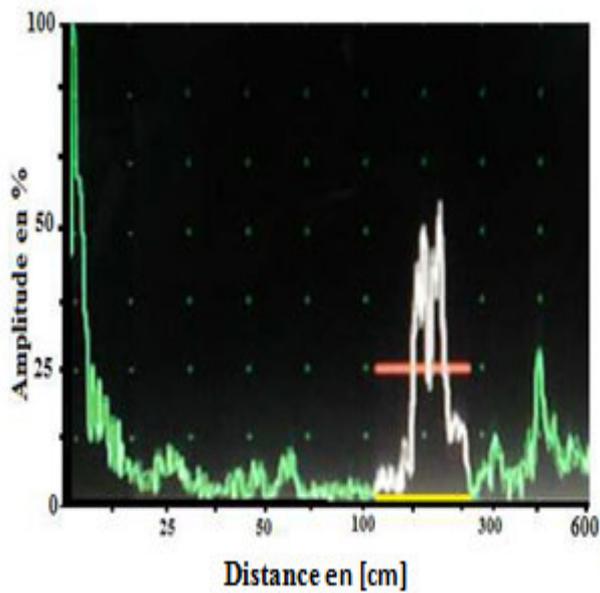


Défaut N° : 1

Détection : sur la ligne du  
Cordon de soudure.

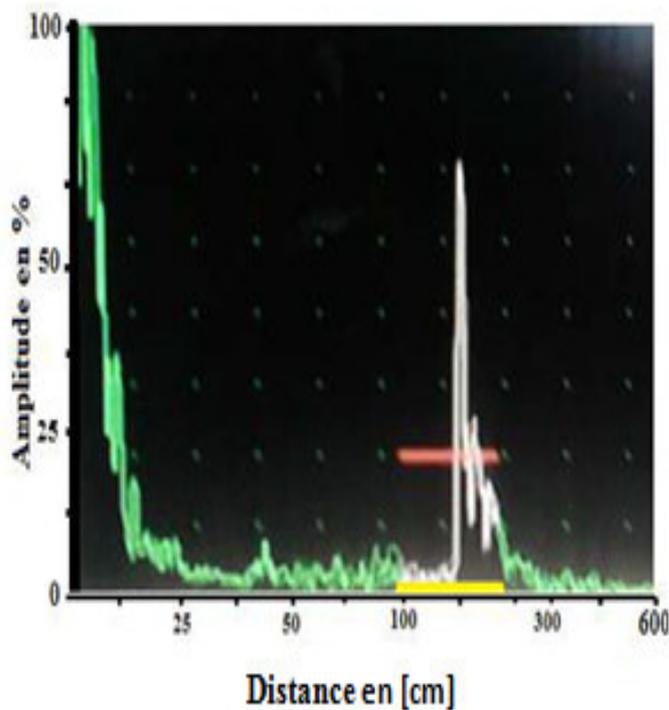
Position : 165 cm.

Fig. 4.25 L'écho en pouvoir réfléchissant du défaut N 1.



Défaut N° : 2  
Détection : sur la ligne du  
Cordon de soudure.  
Position : 150 à 200 cm.

Fig. 4.26. L'écho en pouvoir réfléchissant du défaut N°2



Défaut N° : 3  
Détection : sur la ligne de  
Cordon de soudure.  
Position : 150 cm.

Fig. 4.27. L'écho en pouvoir réfléchissant du défaut N 3

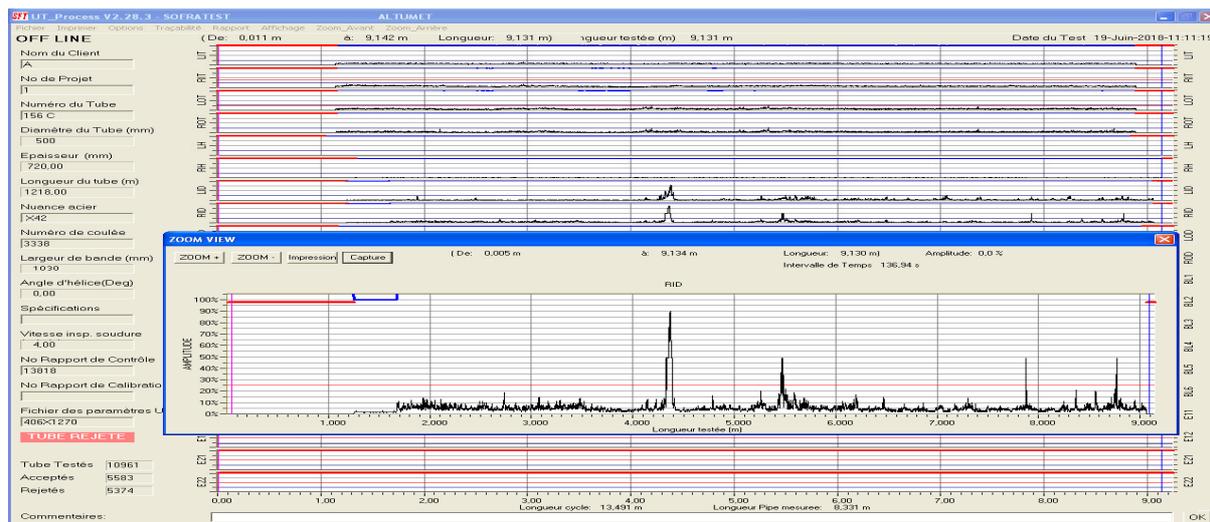


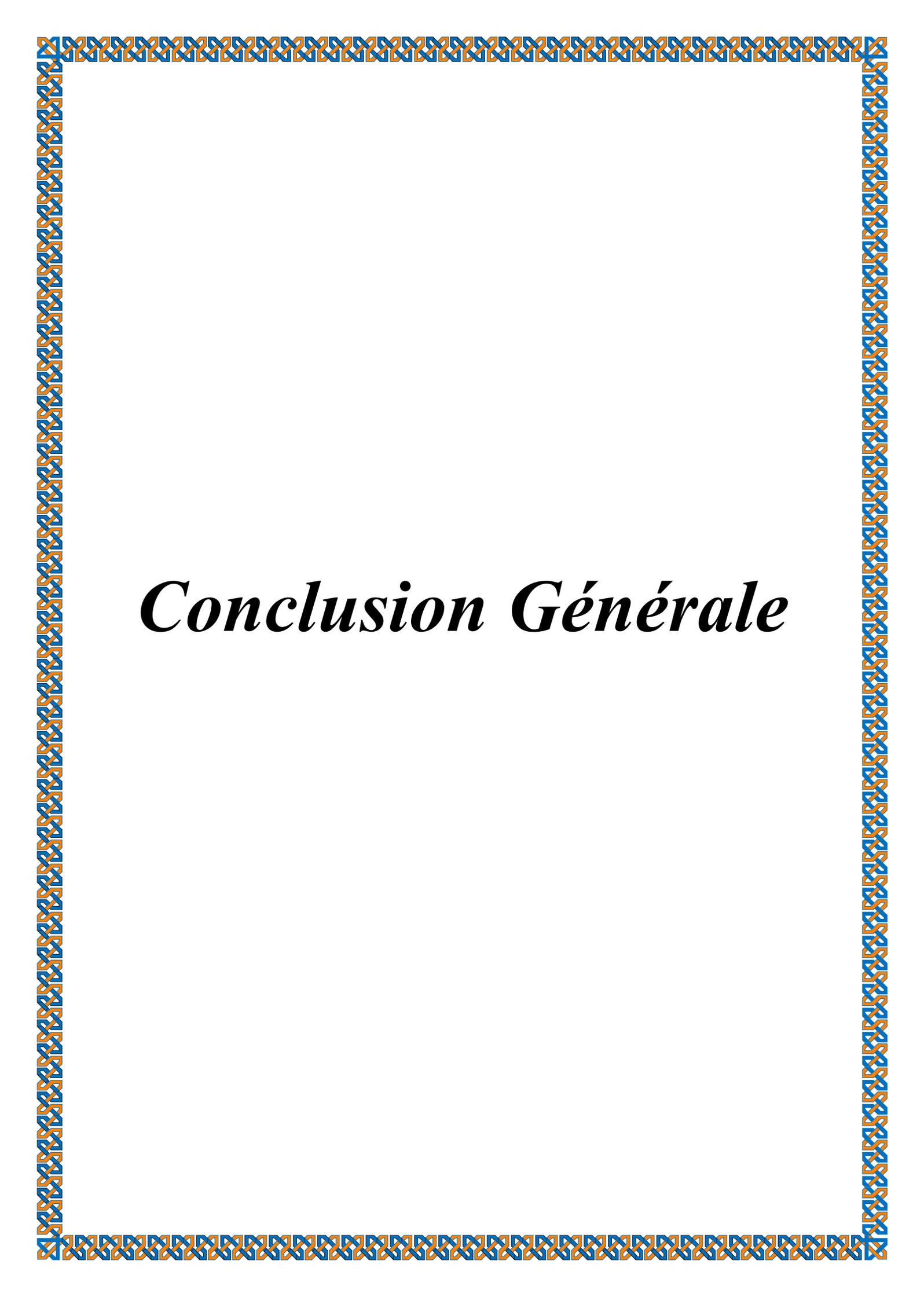
Fig.4.28. Les défauts enregistrés sous forme spectrale

Avec ce contrôle on a extrait 3 indications c'est-à-dire 3 défauts à évaluer, les figures de 22 à 24

représentent les échos de pouvoir réfléchissant des 4 défauts relevés, les défauts relevés dépassent largement les 25 % exigés, donc ce sont des défauts non tolérés par la norme API pour les ultrasons. Tous les défauts détectés par les ultrasons seront interprétés par un film radiographie plus les 150 mm des deux extrémités qui est une étape obligatoire pour chaque tube. La figure 2 représente l'enregistrement des spectres des différents défauts détectés par les ultrasons dans une fenêtre d'un logiciel intégré dans la machine SOFRATEST

#### 4.4 Conclusion

Pour avoir un tube sain est prêt pour l'exploitation et d'assurerons rôle sans dégradation ou défaillance il faut qu'il subisse une série de contrôle indispensable, les contrôles destructifs donnent les caractéristiques mécaniques de l'acier utilisé, sa résistance à la traction et la rupture la qualité de la soudure, la résistance au choc et à la pénétration et la résistance à L'endommagement du pliage, part contre les contrôle non destructif est une étape plus qu'indispensable sur le contrôle de la surface avec le contrôle visuel et dimensionnel ainsi le contrôle de la pression pour voir l'évolution de chaque tube à une pression déterminer l'exécution des deux méthodes ultrasons et radiographie à rayon X, le contrôle des ultrasons donne la détection et le positionnement du défaut sur la surface balayé du tube ou sur le cordon de soudure, ensuite la radiographie donne l'image du défaut est ces dimension pour les évaluer grâce à la norme API, on constate que la majorité des défauts se situe sur la ligne du cordon de soudure, le contrôle radiographique permet la précision et la nature des défaut ce qui indique leur cause et nous permet aussi de qualifier le procédé de soudage aussi il assure un archivage permanent des résultat qui peuvent être révisé et discuté dans le temps voulu.



# *Conclusion Générale*

## *Conclusion générale*

L'objectif de ce mémoire de master avait par but est l'étude de la machine a souder spirale des pipeline (ATIS) et les défauts de soudage dans les pipelines en acier au niveau de ANABIB REGHAIA .

En a suives tous les étapes de fabrication des tubes en spirale et a la fin nous avons fait aussi un teste de qualité de soudure par une machine ultrasonique. et un test hydrostatique.

Dans le cadre de notre étude numérique, on a présenté une première tentative de l'étude de l'influence de pression sur un tube soudé en acier de nuance X60. Les résultats obtenus révèlent une différence de comportement aux niveaux de corduans de soudeur choisis relativement aux conditions imposées par le model proposé.

A partir de ce travail, on a trouvé que :

- Plusieurs types de défauts sont observés dans un fabrication d'une pipeline, comme :  
(Fissure, Inclusion solide, Manque de fusion et de pénétration, défauts divers).

## Référence Bibliographiques

- (1) S.BENSAADA.D.FEIIACHI. « TECHNOLOGIE ».Office de publication universitaires.2<sup>e</sup> Edition.01-2009
- (2) Collection terme et définition utilisés en soudage et techniques connexes, Publications de la soudure autogène, 1996
- (3) R.BAUS. W, CHAPRAU, Application de soudage aux constructions ,1979.
- (4) V.RYBARCOV, « le soudage et le coupage des métaux».2<sup>e</sup> EDITION.1983.EDITION MIR.MOSCOU
- (5) Site Internet :  
<http://www.google.dz/search?q=Page+1+OBJECTIF+Donner+une+vue+globale+des+cons%C3%A9quences+de+la+r%C3%A9alisation+des+assemblages+par+soudage.+RESUME+Cette+le%C3%A7on+d%C3%A9crit+les+principes+de+base&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:fr:official&client=firefox-aFichier+pratique+de+scuté+ED83+3<sup>E</sup>+Edition.+Septembre2099.>
- (6) SAF-AIR LIQUIDE, Procédés TIG. et plasma, Ed.1-SUY 542/20/2000.
- (7) Guide de soudage, Soudage l'arc sous gaz de protection TIG ,MIG ,MAG, T ou V, publications de la soudure autogène, 1996(En cyclopie).
- (8) R.GAZES. Soudage à l'arc. Techniques de l'ingénieur B7730, AOUT1995.
- (9) VARIANTE DE BROCEE TIG PAR MPULSION, Soudage électrique à l'électrode réfractaire ; publications Centre de Soudage de Che raga
- (10) H.GRANJON. «Bases métallurgiques de soudage » 2<sup>ème</sup> édition. Publications de soudage et de ses applications Paris .1995.
- (11) Documents (PDF) défauts de soudage des pipelines Yamani Institute of Technology.