

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

.....



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية و الكهروميكانيك

Département d'Automatique et d'Electromécanique

**Mémoire**

Pour l'obtention du diplôme de master

Domaine: science et technologie

Filière: Electromécanique

Spécialité: Maintenance Industrielle

**Thème**

**Méthode ultrason pour le contrôle  
des joints de soudure des pipelines**

Soutenue publiquement le 11/06/2022

Présente Par

LAGHOUITER AMAR

BEN TERKIA BOUBAKEUR

Devant le jury composé de:

AKERMI Faouzi

MAA

Université de Ghardaïa

Examineur

AISSAOUI Fares

MCB

Université de Ghardaïa

Examineur

MOUATS Sofiane

MAA

Université de Ghardaïa

Encadreur

Année universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## ***DEDICACES***

*À nos pères*

*À notre département*

*Pour nos amis*

*Et d'autres*

## **REMERCIEMENTS**

*Nous sommes très reconnaissants à  
Tous ceux qui ont contribué à ce  
Travail, et nos sincères  
Remerciements vont à notre mentor, le  
**Dr : MOUATS SOFIANE**, qui  
A été si généreux en nous aidant avec  
les meilleurs conseils.*

*Merci à tous les employés du  
département automatique et  
Électromécanique pour leur aimable  
assistance et leur précieux conseil*

**Résumé :**

Le contrôle non destructif (CND) est une étape importante du processus industriel car il permet de vérifier l'intégrité des composants sans les endommager. L'objectif de cette thèse est de fournir des outils de traitement du signal permettant un diagnostic précoce des pièces examinées pour la caractérisation et/ou la détection et la localisation de défauts. Pour atteindre cet objectif, nous avons présenté dans ce travail les principales méthodes de contrôle non destructif des solides, et parmi ces méthodes nous nous sommes appuyés sur les ultrasons, ce dernier a été vérifié expérimentalement dans ALPHAPIPE, et ces méthodes devraient permettre la mesure de divers paramètres physiques des matériaux en l'absence de Solide et d'hétérogénéité locale. Nous avons utilisé l'analyse du signal ultrasonore (amplitude et phase) ayant traversé un échantillon métallique d'épaisseur fixe. L'analyse de ce signal permet d'accéder aux différences d'atténuation et de vitesse de propagation des ultrasons dans l'échantillon. Nous avons également étudié les défauts des joints de soudure des pièces soumises à des contraintes destructrices et déterminé leurs dimensions (détection, localisation et évaluation). Le CND a pour but d'évaluer la sécurité d'une pièce sans l'endommager, et cette étape du processus industriel est destinée à assurer la sécurité d'utilisation des pièces contrôlées.

**Mots clés :** contrôle non destructif (CND), ultrasons, cordon de soudure, défauts.

**Abstract:**

Non-destructive testing (NDT) is an important step in the industrial process because it makes it possible to check the integrity of components without damaging them. The aim of this thesis is to provide signal processing tools that allow early diagnosis of the examined parts for characterization and/or detection and locating of defects. To achieve this goal, we have presented in this work the main methods of non-destructive testing of solids, and among these methods we have relied on ultrasound, the latter has been experimentally verified in ALPHAPIPE, and these methods should allow the measurement of various physical parameters of materials in the absence of solid and local heterogeneity. We used the analysis of the ultrasound signal (amplitude and phase) that passed through a metal sample of a fixed thickness. Analysis of this signal makes it possible to access differences in the attenuation and propagation velocity of ultrasound in the sample. We also studied the defects of welding joints of parts subjected to destructive stresses and determined their dimensions (detection, localization and evaluation). The purpose of the NDT is to assess the safety of a part without damaging it, and this stage of the industrial process is intended to ensure the safety of the use of controlled parts.

**Key words:** non-destructive testing (NDT), ultrasound, welding bead, defects.

## ملخص:

يعد الاختبار غير المتلف (NDT) خطوة مهمة في العملية الصناعية لأنه يجعل من الممكن التحقق من سلامة المكونات دون إتلافها. الهدف من هذه الأطروحة هو توفير أدوات معالجة الإشارات التي تسمح بالتشخيص المبكر للأجزاء التي تم فحصها لتوصيف و / أو الكشف عن العيوب وتحديد موقعها. لتحقيق هذا الهدف ، قدمنا في هذا العمل الطرق الرئيسية للاختبار غير المدمر للمواد الصلبة ، ومن بين هذه الطرق التي اعتمدنا فيها على الموجات فوق الصوتية ، تم التحقق من الأخيرة بشكل تجريبي في ALPHAPIPE ، ويجب أن تسمح هذه الطرق بقياس مختلف المعلمات الفيزيائية للمواد في حالة عدم وجود عدم تجانس صلب ومحلي. استخدمنا تحليل إشارة الموجات فوق الصوتية (السعة والمرحلة) التي مرت عبر عينة معدنية بسمك ثابت. يتيح تحليل هذه الإشارة إمكانية الوصول إلى الاختلافات في التوهين وسرعة الانتشار للموجات فوق الصوتية في العينة. كما درسنا عيوب مفاصل اللحام للأجزاء المعرضة للضغوط المدمرة وحددنا أبعادها (الكشف والتوطين والتقييم) الغرض من NDT هو تقييم سلامة جزء ما دون إتلافه، وتهدف هذه المرحلة من العملية الصناعية إلى ضمان سلامة استخدام الأجزاء الخاضعة للرقابة.

**الكلمات المفتاحية:** الفحص غير الإتلافي (NDT) ، الموجات فوق الصوتية ، خرزة اللحام ، العيوب.

---

**SOMMAIRE**

SOMMAIRE .....	i
LISTE DES FIGURES .....	i
LISTE DES TABLEAUX ET ORGANIGRAMME .....	i
LISTE DES ABREVIATIONS .....	i
LISTE DES SYMBOLE.....	ii
Introduction générale .....	1
<b>CHAPITER I : INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR ALFAPIPE .....</b>	<b>1</b>
I.1. INTRODUCTION .....	3
I.2. HISTORIQUE .....	3
I.3. PRESENTATION DE SOCIETES ALFA PIPE .....	3
I.4. DESCRIPTION DU PROCEDE DE FABRICATION.....	4
I.4.1. Machine à soude en spirale .....	4
I.4.1.1. Description.....	4
I.4.1.2. Caractéristiques techniques.....	6
I.4.1.3. Fonctionnement de la machine à souder en spirale .....	7
I.5. LE CONTROLE QUALITE.....	8
I.6. CONCLUSION.....	9
<b>CHAPITER II : LE CONCEPT ET LES TYPES DE CONTRÔLE NON DESTRUCTIF. ....</b>	<b>3</b>
II.1. INTRODUCTION .....	12
II.1.1. Production intensive, la complexité des systèmes et surtout la rentabilité .....	12
II.1.2. Différentes tâches sont attribuées à ce service, en particulier.....	12
II.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE .....	13
II.3. LES DEFINITIONS DE BASE DANS LA FONCTION DE MAINTENANCE SONT [2] .....	13
II.4. STRUCTURE DES ACTIVITES DE L'ATELIER DE MAINTENANCE .....	14
II.5. LA MAINTENANCE CORRECTIVE .....	15
II.5.1. Maintenance corrective curative .....	16
II.5.2. Intervention est imprévue et provient d'un incident (technique) .....	16
II.6. GENERALITES SUR LE CONTROLE NON DESTRUCTIF (CND) .....	17
II.6.1. Définition et l'intérêt du contrôle non destructif (CND) .....	17
II.6.2. Principaux contrôles non destructifs .....	18
II.6.3. Principe De Détection Des Défauts - Différentes Techniques Du (CND).....	19
II.6.4. Éléments sur les méthodes de contrôle non destructif (CND) .....	19
II.6.4.1. Principes de détection des défauts.....	19
II.6.4.1.1. Défauts internes .....	19

II.6.4.1.2. Défauts de surface.....	20
II.6.5. Différentes techniques de CND .....	20
II.7. LE SOUDAGE .....	21
II.8. SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE .....	22
II.8.1. Soudage avec l'électrode enrobée.....	22
II.8.2. Soudage sous gaz inerte avec l'électrode réfractaire (TIG).....	22
II.8.3. Le soudage semi-automatique sous protection gazeuse.....	23
II.9. CARACTERISTIQUES DE LA SOUDURE .....	24
II.10. LES DEFAUTS DE SOUDAGE .....	25
II.11. CONCLUSION .....	28
<b>CHAPITER III : L'ÉTUDE THÉORIQUE DE L'ÉCHOGRAPHIE ET DE SON APPLICATION DANS L'INDUSTRIE .....</b>	<b>20</b>
III.1. INTRODUCTION.....	29
III.2. CAUSES PROFONDES POSSIBLES DANS LES TUBES EN SPIRALE QUI ENTRAINENT UNE DEFAILLANCE DU PIPELINE.....	29
III.2.1. Les défauts de soudure.....	29
III.3. VERIFICATION DE L'EQUIPEMENT (APPAREILS DE TEST A ULTRASONS) .....	30
III.3.1. Choix du milieu de couplage .....	30
III.3.1.1. Les couplant les plus utilisés.....	30
III.3.2. Etalonnage et bloc d'étalonnage .....	31
III.3.2.1. Mode opératoire .....	31
III.3.3. Bloc de référence .....	32
III.3.4. Principe de trace d'une Courbe Amplitude-Distance (CAD).....	32
III.3.5. Localisation des défauts en profondeur .....	32
III.3.6. Dimensionnement des défauts .....	32
III.4. LE CONTROLE PAR ULTRASONS .....	33
III.4.1. Émission et réception des ultrasons .....	33
III.4.2. Technologie des palpeurs.....	34
III.4.2.1. Les types des palpeurs.....	35
III.4.2.1.1. Palpeurs droits ou normaux .....	35
III.4.2.1.2. Palpeurs doubles monoblocs .....	36
III.4.2.1.3. Palpeurs d'angle .....	36
III.4.2.2. Le choix du palpeur :.....	36
III.4.3. Principe de la méthode.....	36
III.4.4. Méthodes de contrôle.....	37
III.4.4.1. Méthode par transmission .....	37
III.4.4.2. Méthode par écho .....	38

III.4.4.3. Techniques mises en œuvre .....	39
III.4.4.4. Contrôle par contact .....	39
III.4.4.5. Contrôle en immersion .....	40
III.4.5. Etalonnage et bloc d'étalonnage .....	40
III.4.6. Caractéristiques du bloc d'étalonnage .....	40
III.4.7. Paramètres à régler avant l'examen .....	42
III.5. APPLICATION DES DIFFERENTES METHODES DE CONTROLE DES TUBES CND.....	42
III.5.1. Contrôle Par Ultrasons .....	42
III.5.2. L'appareil à ultrason .....	43
III.5.3. Détection des défauts des tubes .....	44
III.6. CONCLUSION .....	45

## **CHAPITER IV : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE APPLIQUÉE SUR LES JOINTS**

### **SOUDÉS.....45**

IV.1. INTRODUCTION.....	47
IV.2. CLASSEMENT DES ACIERS UTILISES DANS LA FABRICATION DES TUBES SPIRALES ...	49
IV.3. LES ACIERS ORDINAIRES OU ACIERS AU CARBONE.....	49
IV.3.1. Spécification Techniques De Tube En Spirale .....	50
IV.4. COMPOSITION CHIMIQUE DES ACIERS X70 UTILISES DANS CE TRAVAIL .....	51
IV.5. APPLICATION D'ESSAI D'ULTRASON DE TUBE EN SPIRALE DE CND.....	52
IV.5.1. La réalisation du cordon de soudure.....	52
IV.5.2. La création du défaut .....	54
IV.5.3. Les procédés du soudage utilisés.....	54
IV.6. PREPARATION DU CONTROLE .....	55
IV.6.1. Le choix de la méthode d'évaluation.....	55
IV.6.2. La méthode de cascade .....	56
IV.6.3. L'étalonnage de l'appareillage .....	58
IV.6.3.1. Le matériel utilisé .....	58
IV.6.3.2. L'étalonnage de la base du temps .....	59
IV.6.3.3. Vérification du pouvoir de résolution .....	60
IV.6.3.4. Vérification de la linéarité horizontale et verticale.....	61
IV.6.3.5. Vérification des caractéristiques des palpeurs .....	62
IV.6.3.6. Traçage de la courbe amplitude distance (CAD).....	67
IV.6.3.7. Correction du transfert .....	68
IV.7. DETECTION DE DEFAUTS DANS LE BLOC ETALON : .....	69
IV.8. EXECUTION DU CONTROLE.....	70
IV.9. LE TRAVAIL DE DETECTION DU DEFAUT DANS LE CORDON DE SOUDURE .....	72
IV.9.1. Le matériel utilisé .....	72

---

IV.10. EXECUTION DU CONTROLE.....	73
IV.11. CARACTERISATION DES INDICATIONS.....	75
IV.11.1. Localisation et estimation des défauts .....	76
IV.11.1.1. Positionnement du défaut.....	76
IV.11.2. Évaluation du pouvoir réfléchissant .....	76
IV.11.3. Localisation du défaut .....	77
IV.11.4. Dimensionnement de défaut .....	78
IV.12. CONCLUSION.....	79
Conclusion générale.....	81
BIBLIOGRAPHIQUE .....	71

---

**LISTE DES FIGURES**

FIGURE I.1 LES BANDES EN ACIERS. ....	5
FIGURE I.2 ÉLÉMENT DE PREPARATION DE BOBINE. ....	5
FIGURE I.3 COUPER LES LONGUETTE DE FIN DE BANDE.....	6
FIGURE I.4 TUBE PREPARE A LA MACHINE SOUDEE EN SPIRALE. ....	8
FIGURE II.1 STRUCTURE DES ACTIVITES DE L'ATELIER DE MAINTENANCE. ....	15
FIGURE II.2 SCHEMA SYNOPTIQUE D'UN SYSTEME DE CND. ....	18
FIGURE II.3 SOUDAGE A L'ELECTRODE ENROBEE.....	22
FIGURE II.4 SOUDAGE AVEC L'ELECTRODE REFRACTAIRE .....	23
FIGURE II.5 PRINCIPE DE SOUDAGE GMAW. ....	24
FIGURE II.6 CARACTERISTIQUES DE LA SOUDURE. ....	25
FIGURE III.1 CHAINES DE MESURE DE CONTROLE PAR ULTRASON.....	34
FIGURE III.2 CONTROLE PAR TRANSMISSION.....	38
FIGURE III.3 METHODE DE CONTROLE PAR REFLEXION. ....	39
FIGURE III.4 METHODE DE CONTROLE PAR EMERSION.....	40
FIGURE III.5 SCHEMA MONTRANT LA SUREPAISSEUR DU CORDON DE SOUDURE. ....	42
FIGURE III.6 EXAMEN ULTRA-SONS. ....	43
FIGURE III.7 DETECTEUR AUTOMATIQUE A ULTRASONS.....	43
FIGURE III.8 DETECTEUR A ULTRASONS MANUEL. ....	44
FIGURE III.9 TUBE SANS DEFAUT.....	44
FIGURE III.10 TUBE AVEC DEFAUT .....	45
FIGURE III.11 TUBE AVEC PLUSIEURS DEFAUTS.....	45
FIGURE IV.1 UNE VIROLE DECOUPEE A PARTIR D'UN TUBE. ....	47
FIGURE IV.2 PRELEVEMENT DES PLAQUES : (A) EN METAL DE BASE TRANSVERSALE PAR RAPPORT AU VIROLE ET (B) TRANSVERSALES AU CORDON DE SOUDURE. ....	48
FIGURE IV.3 (A) PLAQUE "1" TOTALEMENT EN METAL DE BASE (B) PLAQUE "2" CONTENANT LE CORDON DE SOUDURE.....	48
FIGURE IV.4 LE CROQUIS DU CHANFREIN. ....	52
FIGURE IV.5 UNE VIROLE DECOUPEE A PARTIR D'UN TUBE. ....	53
FIGURE IV.6 ILLUSTRATION MICROSCOPIQUE DES ZONES EXISTANTES SUR UNE EPROUVETTE CONTENANT LE CORDON DE SOUDURE. ....	53
FIGURE IV.7 PREPARATION DU CHANFREIN .....	53
FIGURE IV.8 PLAQUE EN ACIER ASSEMBLE PAR SOUDAGE.....	54
FIGURE IV.9 LA VUE EN COUPE DE LA PIECE.....	54
FIGURE IV.10 LA VUE EN DESSUS DE LA PIECE. ....	54
FIGURE IV.11 LE PROCEDE TIG. ....	55
FIGURE IV.12 LE PROCEDE SMAW .....	55

---

FIGURE IV.13 MATERIEL UTILISE.....	59
FIGURE IV.14 MATERIEL UTILISE.....	60
FIGURE IV.15 VERIFICATION DU POUVOIR DE RESOLUTION.....	61
FIGURE IV.16 RESOLUTION OBTENUE PAR UN PALPEUR DROIT.....	61
FIGURE IV.17 VERIFICATION DE LA LINEARITE HORIZONTALE.....	62
FIGURE IV.18 VERIFICATION DE LA LINEARITE VERTICALE.....	62
FIGURE IV.19 DETERMINATION DE LA ZONE MORTE.....	64
FIGURE IV.20 DETERMINATION DE LA ZONE MORTE DE NOTRE PALPEUR.....	64
FIGURE IV.21 DETERMINATION DE LA ZONE MORTE DE NOTRE PALPEUR.....	64
FIGURE IV.22 DETERMINATION DU POINT D'EMERGENCE.....	65
FIGURE IV.23 POSITION DE POINT D'EMERGENCE.....	66
FIGURE IV.24 DETERMINATION DE L'ANGLE DE REFRACTION.....	66
FIGURE IV.25 VERIFICATION DE L'ANGLE DE BIGLE.....	67
FIGURE IV.26 TRAÇAGE DE LA CAD.....	68
FIGURE IV.27 ONDULEUR UTILISE 1.5.....	68
FIGURE IV.28 RECHERCHE D'UN TROU DE DIAMETRE 50MM SUR LA CALE.....	69
FIGURE IV.29 RECHERCHE DU TROU DE DIAMETRE 2MM SUR LA CALE.....	70
FIGURE IV.30 CALCUL DE REcul MAX.....	70
FIGURE IV.31 CALCUL DE L'ETENDU.....	71
FIGURE IV.32 APPAREIL D'US D'USM 35.....	73
FIGURE IV.33 DIFFERENTS PALPEURS D'UTILISES.....	73
FIGURE IV.34 BLOC ETALONNAGE.....	73
FIGURE IV.35 ÉTALONNAGE DE L'APPAREIL A ULTRASON PAR PALPEUR DROIT.....	74
FIGURE IV.36 ECHOS REÇUS DE L'ECHANTILLON D'ACIER.....	74
FIGURE IV.37 ÉTALONNAGE DE L'APPAREIL AULTRASON PAR PALPEUR ANGLE.....	75
FIGURE IV.38 BALAYAGE PAR PALPEUR DROIT.....	75
FIGURE IV.39 PHOTOS POUR UN ESSAI SANS FAUTE.....	76
FIGURE IV.40 RECHERCHE DU DEFAUT.....	76
FIGURE IV.41 EVALUATION DU POUVOIR REFLECHISSANT.....	77
FIGURE IV.42 LOCALISATION DU DEFAUT.....	77
FIGURE IV.43 DIMENSIONNEMENT DU DEFAUT.....	79

**LISTE DES TABLEAUX ET ORGANIGRAMME**

TABLEAU I.1 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES BOBINES.....6

TABLEAU II.1 PRINCIPAUX CONTROLE NON DESTRUCTIFS.....19

TABLEAU II.2 TYPES DE DEFAUTS DES JOINTS SOUDES. [21].....26

TABLEAU IV.1 ACIERS ORDINAIRES OU ACIERS AU CARBONE NON ALLIES.....49

TABLEAU IV.2 SPECIFICATION TECHNIQUES DE TUBE GAZ ET PETROLE SELON API5L.....50

TABLEAU IV.3 SPECIFICATION TECHNIQUES DE TUBE GAZ ET PETROLE SELON API 5L. ....50

TABLEAU IV.4 SPECIFICATION TECHNIQUES DE TUBE HYDRAULIQUE SELON API 5L .....51

TABLEAU IV.5 LA COMPOSITION CHIMIQUE DE L'ACIER API 5L X70.....51

TABLEAU IV.6 EXIGENCE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE POUR ANALYSE NUANCE X70 [14].  
.....52

TABLEAU IV.7 RESULTATS OBTENUS POUR LOCALIER LE DEFAUT.....78

ORGANIGRAMME IV.1 SYNOPTIQUE DE LA PROCEDURE CASCADE .....57

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**CND** : Contrôle non destructif

**CND-US** : Contrôle non destructif par ultrasons

**RX** : Rayon X.

**ZM** : Zone morte.

**CAD** : Courbe amplitude distance.

**US** : Ultrason.

**DAC** : Correction amplitude distance.

**OT** : Onde transversale

**OL** : Onde longitudinale

**ZAT** : la zone affectée thermiquement

## LISTE DES SYMBOLE

**U** : Elongation instantané (dB).

**A** : Elongation maximal (dB).

**T** : Temps[s].

$\lambda$  : Longueur de l'onde [mm].

$\omega$  : Pulsation de mouvement [rad/s].

**C** : Vitesse de propagation de l'onde [m/s].

**T** : Période de l'onde [s].

**f** : Fréquence d'oscillation [Hz].

**Z** : Impédance acoustique [ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ].

**$\rho$**  : Masse volumique [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

**C** : Célérité du son [m/s].

$\xi$  : Déplacement des particules[m].

$\omega$  : Pulsation cyclique [rad/s].

**P** : Pression [Pa].

**E** : Module d'Young [Pa]

**$\nu$**  : Coefficient de poisson [sans unité].

**$\mu$**  : Module de cisaillement [Pa].

**V** : La vitesse de propagation des ultrasons dans le milieu considéré[m/s].

**$V_L$**  : La vitesse des ondes longitudinales [m/s].

**$V_T$**  : La vitesse des ondes transversales [m/s].

**$V_R$**  : La vitesse des ondes de Rayleigh[m/s].

**$V_S$**  : La vitesse de l'onde de surface [m/s].

**$V_P$**  : La vitesse de propagation de l'onde de plaque [m/s].

**E** : L'épaisseur de la plaque[mm].

**C** : La vitesse de son dans ce milieu [m/s].

**D** : Diamètre du cristal piézoélectrique [mm].

**K** : Constante dépend de la géométrie de la source.

**$\alpha$**  : Demi-angle du cône (en degré °).

**PE** : Le point d'émergence.

**T** : Le coefficient de transmission.

**$\alpha$**  : Le coefficient d'atténuation des ondes ultrasonore.

**P** : Le parcours ultrasonore mesurée sur l'écran [mm].

**d** : La distance entre le défaut et le palpeur [mm].

**h** : La profondeur à laquelle se trouve le défaut [mm].

**$\theta$**  : L'angle de réfraction du faisceau ultrasonore ( en degré °).

**H** : L'amplitude de l'écho[mm].

**$H_{MAX}$**  : L'amplitude maximale de l'écho affiché sur écran[mm].



# INTRODUCTION GENERALE

## **Introduction générale**

La demande croissante d'énergie comme le gaz et le pétrole nécessite de plus en plus la construction de nouveaux pipelines. En effet, ce dernier est devenu au cours des 50 dernières années le moyen de transport le moins cher et le plus sûr de grandes quantités d'énergie et sur de longues distances. (Plusieurs centaines voire plusieurs milliers de kilomètres).

Pour la fabrication des canalisations, un grand nombre de matériaux peuvent être utilisés : acier, fonte, plastique, résines renforcées, etc... Le choix du matériau dépend de la nature et de l'état des produits à transporter.

Dans ce cas, nous prenons en compte l'utilisation de l'acier dans la fabrication de tuyaux, de pièces et de matériaux qui répondent aux exigences les plus strictes de l'industrie du gaz.

Le type et le nom du tuyau dépendent des propriétés physiques et des conditions directionnelles du produit à transporter.

- Quant au gaz naturel, on parle d'un gazoduc.
- Quant au pétrole, on parle d'un oléoduc.

Les tubes en spirale sont fabriqués avec un procédé de soudage à l'arc, qui est le type de soudage le plus courant qui occupe une place importante dans l'industrie pétrolière et gazière.

La capacité portante des coutures hélicoïdales des tuyaux diminue encore plus en présence de concentration de contraintes et de déformations, qui à leur tour dépendent de la présence de défauts technologiques dans le joint et de la forme du joint. En ce sens, l'inspection plutôt que les essais destructifs (CND) semble être l'élément clé du contrôle qualité des joints de soudure.

Le terme contrôle non destructif ou contrôle non destructif regroupe l'ensemble des techniques et procédés capables de renseigner sur l'état de santé d'une pièce ou d'une structure sans entraîner de modifications préjudiciables lors de son utilisation ultérieure.

Mais il existe plusieurs types de défauts trouvés dans les tendons. Il faut alors savoir quelle méthode de contrôle sera utilisée.

La présente étude sur le « Contrôle des joints soudés des tubes spiralés par ultrasons » Pour ce faire, un échantillon de joints soudés a été réalisé où un défaut de type encastrement rigide a été volontairement introduit. Pour démontrer l'efficacité de la détection de ce type de défaut CND, l'échographie a été utilisée pour identifier et quantifier cette anomalie.

Nous avons donc développé l'étude théorique des méthodes ultrasonores à travers un stage à ALFAPIPE dans le laboratoire CND du Département Inspection/Corrosion.

Le développement du sujet est divisé en quatre chapitres :

**Chapitre I :** Informations générales sur ALFAPIPE et informations générales sur la technologie de fabrication des tuyaux.

Ce chapitre est consacré à la technologie de fabrication des tuyaux et aux procédés de soudage, les plus couramment utilisés pour son assemblage, nous avons montré certains types de défauts de soudage.

**Chapitre II :** Le concept et les types de maintenance industrielle et mentionne les caractéristiques des méthodes de contrôle non destructif.

Dans ce chapitre, nous avons présenté un concept général de la maintenance industrielle et ses types ainsi que les principes de contrôle de quatre méthodes d'essais non destructifs (CND).

**Chapitre III :** Définir les échographes et les appareils de détection et connaître la méthode d'examen échographique.

Ce chapitre traite de l'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie et les démarches pour y accéder, en mentionnant les types d'appareils et de machines désignés pour ce type d'examen.

**Chapitre IV :** étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

Dans ce chapitre on présente le rapport de l'étude pratique qui était sur un joint soudé, à l'intérieur duquel on a créé un défaut, on a appliqué le contrôle par ultrason et à la fin la présentation des résultats obtenus.



# **CHAPITER I : Informations générales sur ALFAPIPE**

## **I.1. Introduction**

Le but de « L'entreprise ALFA PIPE GHARDAIA » est la fabrication de tubes en acier soudés en spirale (de diamètre 20 à 64 pouces, d'épaisseur ,9 à 1 mm et d'une longueur de 7 à 13 m), à partir d'une bobine, adéquats à différents buts d'utilisation :

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

Grâce à la qualité de ses produits, à la rigueur et l'expérience de son personnel, ALFAPIPE Tubérisé de Ghardaïa répond aux demandes spécifiques de ses clients et offre des prestations diverses, en respectant les délais. La satisfaction de nos clients, est l'objectif principal de notre société : elle conditionne le succès et la pérennité de l'entreprise.

ALFAPIPE tubérisé de Ghardaïa est aujourd'hui un partenaire incontournable qui reste à l'écoute des nouvelles technologies et contribue pleinement au développement national.

## **I.2. Historique**

Les puits de contrôle et de gaz se trouvent à proximité de l'usine Hassi R'mel et Hassi Messaoud la tubérisé spiral d'El-Hadjar (Annaba) ne peuvent pas seul satisfaire les gros besoins de SONARTRACH en matière de transport et hydrocarbures .Il a été de céder de créer cette 2ème unité similaire a au 1er . La mise en chantier de l'unité a démarré en Avril 1974 par une société allemande, et elle est entrée en production en 1977 d'une capacité de 120 .000 tonnes annuelle, d'une équivalence de 375KM de tube de 42 pouces de diamètre.

Les bobines sont transportées par voie ferrée de Annaba à Touggourt ou elles sont stockées dans un dépôt d'une capacité De 40 .000 tonnes, pour être transportées par camion SNTR jusqu'à GHARDAIA (350Km). Le transport constitue pour limiter un goulot d'étranglement qui gêne par fois les paramètres de production.

## **I.3. Présentation de sociétés ALFA PIPE**

Implantée à la zone industrielle de Bounoura à Ghardaïa, à 10 km du chef-lieu de wilaya, l'usine occupe une superficie de 230 000 m<sup>2</sup> et son effectif s'élève en moyenne à 500 employés. En production depuis 1977, ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa adopte la politique du

## CHAPITER I : Informations générales sur ALFAPIPE

---

changement dans la continuité. Sa spécialité est la fabrication de tubes en acier soudés en spirale (de diamètre 20 à 64 pouces, d'épaisseur 7,92 à 15 mm et d'une longueur de 7 à 13 m), adéquats à différents buts d'utilisation :

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

Grâce à la qualité de ses produits, à la rigueur et l'expérience de son personnel, ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa répond aux demandes spécifiques de ses clients et offre des prestations diverses, en respectant les délais. La satisfaction de nos clients, est l'objectif principal de notre société : elle conditionne le succès et la pérennité de l'entreprise.

ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa est aujourd'hui un partenaire incontournable qui reste à l'écoute des nouvelles technologies et contribue pleinement au développement national.

### **I.4. Description du procédé de fabrication**

#### **I.4.1. Machine à soude en spirale**

Il existe dans l'usine ALFAPIPE quatre grandes machines de production (M5, M6, M7, M8 et la nouvelle (machine à souder E) qui produisent chaque jour environ 120 tubes.

##### **I.4.1.1. Description**

La machine à souder en spirale sert à fabriquer des tubes à partir des bandes de différentes largeurs et épaisseurs dévidés des bobines. Ces bandes sont roulées en hélice et sont ensuite soudées intérieurement et extérieurement selon le procédé de soudure en flux.

Ces éléments essentiels sont constituées par :

- élément de préparation de bobine (BANDE)
- Élément de formage du tube.
- Élément de sortie du tube.

## CHAPITER I : Informations générales sur ALFAPIPE



**Figure I.1** Les bandes en aciers.

L'élément de réparation des bandes : s'étend du dispositif de déroulage des bandes dévidées jusqu'aux rouleaux de l'entraîneur. Dans cette zone la bobine est tirée au travers de la machine et passe par différents stades de l'usinage. Elle est dressée, guidée et rongée des deux côtés par la cisaille circulaire de rognage qui fait ensuit.

L'élimination des bords de laminage est liée à la mise au point d'une largeur constant de bande. Ensuite à l'aide des outils raboteurs et de brosse de nettoyage, on prépare les rives pour la soudure.



**Figure I.2** Élément de préparation de bobine.

Le défilement des bobines est assuré par le rabotage des bobines pour obtenir une bande sans fin fait également partie de la réparation des bandes.

L'opération se fait comme suit :

- couper les languettes de fin de bande.
- aligner les rives.

## CHAPITER I : Informations générales sur ALFAPIPE

---

- souder.

Pendant cette phase de l'usinage, la soudure de tube est interrompue, pendant un court laps de temps. Tous les éléments de la partie préparation des bobines sont boulonnés fixés sur le châssis de base de la machine, celui-ci repose sur des galets et il est pivoté dans la position correspondante (angle d'entrée) selon la largeur et le diamètre du tube.



**Figure I.3** Couper les languette de fin de bande.

Dans la cage de formage, la bande est formée en tube selon le principe de la cintruse à rouleaux multiples. Les rives qui convergent dans la cage de formage sont soudées intérieurement d'abord, extérieurement ensuite. Sur un châssis orientable pour le réglage de la fonte de soudure sont montées la lunette de commande (dispositif de guidage du tube) le support avec la traverse pour l'installation de soudage extérieur et le dispositif de descente du tube.

Le tube sortant est réduit à la longueur correspondante par le chariot mobile d'oxycoupage.

Le tube sectionné à la longueur voulue, pendant son passage continu, est descendu sur l'installation de transport (grille) est évacuée latéralement hors de la machine.

### I.4.1.2. Caractéristiques techniques

**Tableau I.1** Caractéristiques techniques des bobines.

Largeur de bande	630 à 1830mm
Bande non rongée	

## CHAPITER I : Informations générales sur ALFAPIPE

Bande rongée	600 à 1800mm
Poids de bobine	Max .30MP=30tonnes
Diamètre extérieur de bobine	1200 à 2000mm
Diamètre intérieur de bobine	600 à 820mm
Angle d'entrée de bobine	18° à 45°
Epaisseur de la paroi du tube	8 à 16mm
Gamme de diamètre du tube	16 à 64pouce (406.4 à 1625.6mm)
Gamme de longueur du tube	9 à 16m
Qualité de tube	Acier+Fer

### I.4.1.3. Fonctionnement de la machine à souder en spirale

- conformément à la largeur de la bande selon l'échelle graduée, la chaise support de la bobine se trouve dans la position requise transversalement à la direction du déroulement de la bobine (bande).

- le chariot récepteur de bobine est avancé, c'est-à-dire que le dispositif de serrage se trouve face à face.

- la bobine se trouve dans la machine, la précédente bobine est épuisée, il y a lieu, maintenant, de souder l'extrémité de la bande de la nouvelle bobine, sur l'extrémité (fin) de la précédente Planeuse avec guide bande

Cisaille circulaire avec râcheuse. Support de raclage avec outil de raclage des rives. Brosse des rives et des surfaces.

Cylindre de l'intérieur, galet de préformage des rives et barre de guidage sont pré réglés sur l'épaisseur respectivement, la largeur de la bande.

- cage de formage, tête de soudure extérieur avec dispositif de réglage, lunette de commande avec dispositif de réglage de la fente de soudure, dispositif de control aux ultra-sons, chevalet support du tube, chariot d'oxycoupage et dispositif de descente son pré réglé sur le diamètre du tube, respectivement sur l'angle d'inclinaison.

\* le châssis de la machine est réglé sur l'angle d'entré de la bande.

## CHAPITER I : Informations générales sur ALFAPIPE

---

\* l'arrêt automatique sur le pupitre de commande un est mise en point.

\* les réservoirs à flux pour la soudure spirale et transversale sont remplis.

\* le tambour de fil à souder pour soudure intérieur et extérieur, comme pour le rabotage des bandes, sont équipé de bobine de fin à souder.

\* propane et oxygène pour dispositif de rabotage et chariot d'oxycoupage sont branchés, la veilleuse sur le chariot d'oxycoupage est allumée. L'air comprimé pour les dispositifs de soufflage entre le racleur et la brosse de surface et avant les cisailles circulaires sont branchés. il en est de même pour le raccordement de l'eau de refroidissement du tube sur le dispositif du control aux ultra-sons et l'eau de couplage pour refroidissement du support de soudure (soudure intérieur).



Machine à soudée  
Extérieurement.



Machine à soudé  
Intérieurement

**Figure I.4** Tube préparé à la machine soudée en spirale.

### I.5. Le contrôle qualité

Durant toute la phase de production, des contrôles rigoureux et des essais sont effectués à tous les stades de fabrication assurant au final, un produit aux performances élevées, conforme aux normes internationales.

## CHAPITER I : Informations générales sur ALFAPIPE

---

La matière première (acier) et les tubes sont soumis à différents contrôles répartis en deux types :

### **I.6. Conclusion**

Au cours d'une semaine de ma formation chez Alfa Pipe Compagnie à Ghardaïa, j'ai eu l'opportunité de développer mes connaissances théoriques et d'obtenir une aide concrète du milieu industriel mécanique.

Ce travail permet d'apprendre les procédés de fabrication de canalisations de différents diamètres, normes, essais non destructifs (ultrasons, radiographie, etc.), essais destructifs (dureté à la traction, etc.), étapes internes et externes.



## **CHAPTER II : Le concept et les types de contrôle non destructif.**

## **II.1. Introduction**

L'évolution et la complexité des systèmes de production ainsi que le besoin de produire vite et bien, ont obligé les industriels à structurer et à organiser les ateliers d'entretien ; ils ont surtout créé de nouveaux concepts d'organisation et de nouvelles manières d'intervenir sur des structures de production concernant les produits manufacturés.

Aujourd'hui, l'entretien a laissé la place à la maintenance. Ce changement ne réside pas uniquement dans un changement de dénomination, mais aussi dans un bouleversement complet de la manière de faire et de concevoir ce qui s'appelait l'entretien et que l'on appelle aujourd'hui maintenance.

Il y a quelques dizaines d'années, les ateliers de production ne disposaient d'aucune structure de maintenance.

L'entretien des machines ou des unités de production se faisait par des personnes, spécialisées ou non, sans logistique établie et surtout définie.

### **II.1.1. Production intensive, la complexité des systèmes et surtout la rentabilité**

Ont poussé les industriels à créer un domaine et une structure dans l'entreprise appelée : « service maintenance ». Ce service structuré comporte différents corps de métiers comme des électriciens, des mécaniciens, des électroniciens, des automaticiens. Ces spécialistes interviennent chacun dans leur domaine respectif, mais en respectant une coordination dans les tâches à effectuer.

### **II.1.2. Différentes tâches sont attribuées à ce service, en particulier**

- L'entretien du matériel de production.
- la remise en état du matériel en situation de dysfonctionnement.
- la remise à neuf du matériel (rénovation).
- la gestion et l'étude des coûts d'intervention.
- l'organisation et la planification judicieuse des opérations de maintenance.
- le suivi informatique de l'évolution dans le temps du matériel (fichier historique).

## II.2. Définition de la maintenance

L'opération de maintenance peut se définir comme étant une suite d'actions organisées, intervenant sur un système et ayant un double objectif

- **Premier objectif** : rétablir un bien, en état de dysfonctionnement et le replacer en état de fonctionnement, donc de produire.

- **Deuxième objectif** : maintenir ce bien, par une suite d'actions préventives et planifiées, en état parfait de fonctionnement, donc de produire. En règle générale, le service maintenance doit garder l'outil de production en état opérationnel, afin d'assurer une production efficace et maximale. [1]

## II.3. Les définitions de base dans la fonction de maintenance sont [2]

**La défaillance** : est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Après défaillance d'une entité, celle-ci est en état de panne.

**Le diagnostic** : est un processus de recherche des causes et des conséquences d'une défaillance, à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle d'un test ou d'un historique de pannes. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.

**La maintenance** : est « l'ensemble des actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». Maintenir un bien est considéré comme étant une action à long terme contrairement à l'action rétablir, considérée à court terme.

Les définitions complémentaires suivantes sont selon la norme AFNOR, 2001 [3] :

**La sûreté de fonctionnement** : est « un ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité, et logistique de maintenance ».

**La disponibilité** : est « une aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en

## CHAPITER II : Le concept et les types de contrôle non destructif.

---

supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée ». Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et du su portabilité de maintenance.

**La fiabilité :** est « une aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné ».

**La maintenabilité :** est « dans des conditions données d'utilisation, une aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits ».

**La su portabilité :** est « une aptitude d'une organisation de maintenance à mettre en place les moyens de maintenance appropriés à l'endroit voulu en vue d'exécuter l'activité de maintenance demandée à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné ».

**La logistique de maintenance :** représente « des ressources, services et moyens de gestion nécessaires à l'exécution de la maintenance ».

**La fonction requise :** est définie comme « une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné ».

### II.4. Structure des activités de l'atelier de maintenance

Schéma ci-dessous donne un aspect général de cette structure. [1]

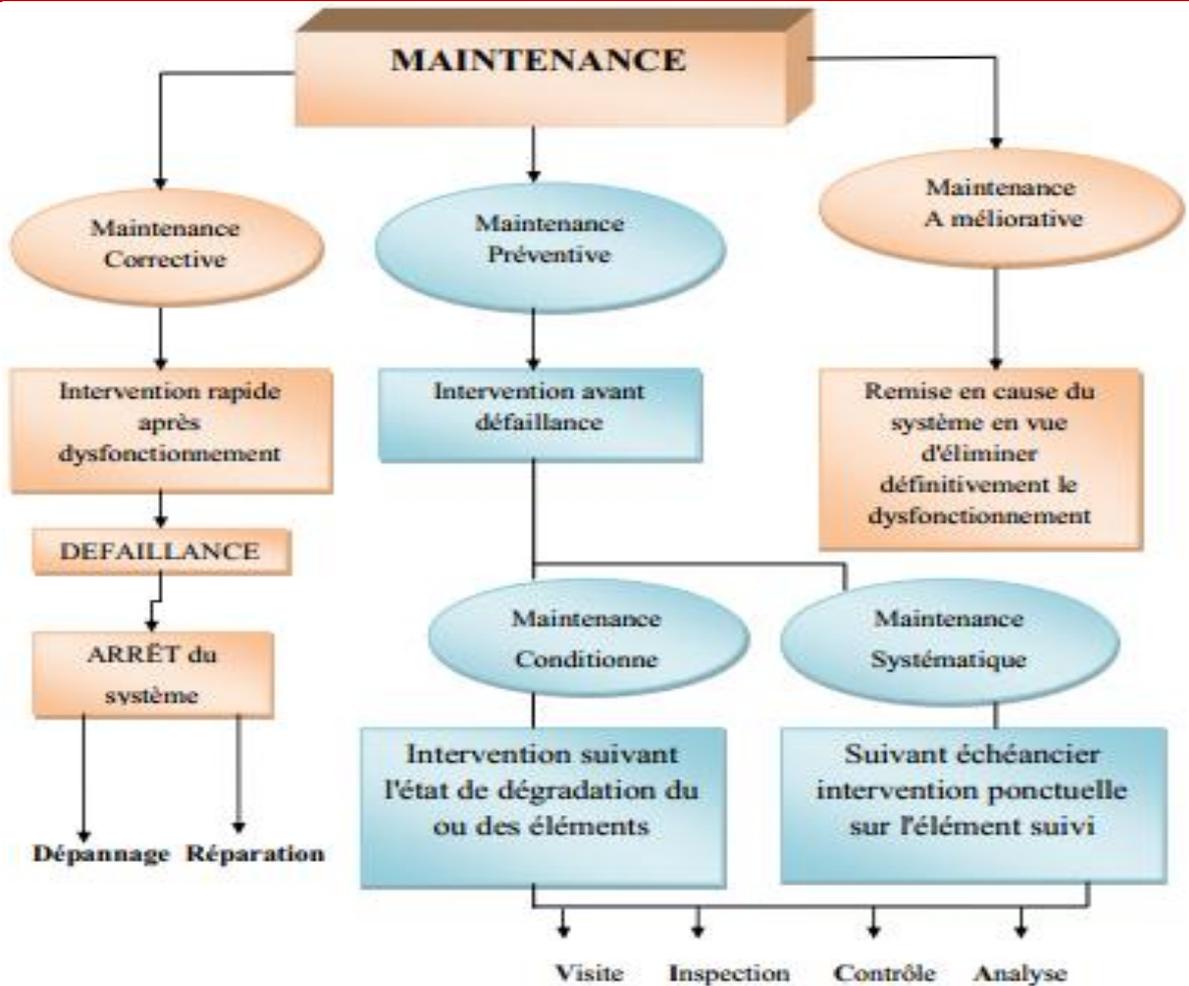


Figure II.1 Structure des activités de l'atelier de maintenance.

Suivant les interventions de maintenance à effectuer, la logique la méthode de travail qui permettent de garder le système en état fonctionnement optimum sont différentes. Deux types d'événements sont possibles.

## II.5. La maintenance corrective

Exécutée après la détection d'une panne et destinée à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement. Ses actions s'effectuent par étapes, dans l'ordre suivant [2] :

- Test : comparaison des mesures avec une référence,
- Détection : déceler l'apparition d'une défaillance,
- Localisation : les éléments par lesquels la défaillance se manifeste,
- Diagnostic : analyse des causes de la défaillance,

## CHAPITER II : Le concept et les types de contrôle non destructif.

---

- Dépannage et réparation : remise en état (avec ou sans modification),
- Contrôle : contrôle du bon fonctionnement,
- Amélioration éventuelle : éviter la réapparition de la panne,
- Historique : mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

Une intervention de la maintenance corrective peut être de caractère provisoire (dépannage) appelée maintenance palliative, ou de caractère définitif (réparations) appelé maintenance curatif.

### **II.5.1. Maintenance corrective curative**

Elle permet de rétablir un matériel ou une entité dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Elle ne prend en compte que les défaillances dites catalectiques.

### **II.5.2. Intervention est imprévue et provient d'un incident (technique)**

L'intervention est alors une opération de maintenance corrective. L'arrêt machine n'a pas été prévu et a presque toujours des conséquences sur la production. Les interventions doivent être rapides et ne sont pas toujours définitives.

Il peut se produire dans un premier temps, pour remettre rapidement le système en fonctionnement, une opération dite « de dépannage » qui ne sera pas définitive. Elle sera suivie. Le plus rapidement possible d'une réparation qui elle sera définitive.

#### **Remarque :**

Dans le cas d'une intervention de maintenance corrective, si les éléments défectueux sont disponibles, il est alors possible d'effectuer une opération dite « de réparation ». Dans le cas contraire, il faut.

Procéder le plus vite possible à un approvisionnement des pièces manquantes. Suivant le degré d'urgence, le technicien procède à une intervention provisoire afin de remettre le système en service en respectant, toutefois, les consignes de sécurité.

Dans tous les cas, chaque intervention fait l'objet d'un compte rendu d'intervention, suivi d'une mise à jour des fichiers historiques.

## **II.6. Généralités sur le contrôle non destructif (CND)**

### **II.6.1. Définition et l'intérêt du contrôle non destructif (CND)**

CND est un ensemble des méthodes qui permet de caractériser l'état d'intégrité des structures industrielles sans les dégrader, soit au cours de la production (les pièces qui sortent des fonderies ne sont jamais exemptes de défaut), soit en cours d'utilisation (apparition de défaut). Il faut donc déterminer qu'elle taille de défaut est acceptable de façon empirique à la casse (destruction) ensuite pouvoir les détecter sans détruire la pièce. [4].

Le contrôle non destructif (CND) consiste à rechercher la présence éventuelle de défauts au sein des matériaux constituant les objets ou parties d'objets à tester par l'utilisation de techniques diverses, sans attenter à l'intégrité de ceux-ci. La mise en œuvre d'un contrôle non destructif demande la connaissance :

- Des possibilités et limites des procédés utilisables,
  - De l'histoire de la pièce (forme et mode de fabrication),
  - Des défauts recherchés (nature, position, dimensions,...),
  - Des propriétés physiques du matériau contrôlé.
- Ces connaissances permettent de choisir :
- La méthode de contrôle la mieux adaptée,
  - La procédure permettant :
    - D'observer les défauts recherchés avec le maximum de chances de détection,
    - De quantifier de façon la plus fidèle ces défauts.

❖ Mise en œuvre des contrôles non destructifs :

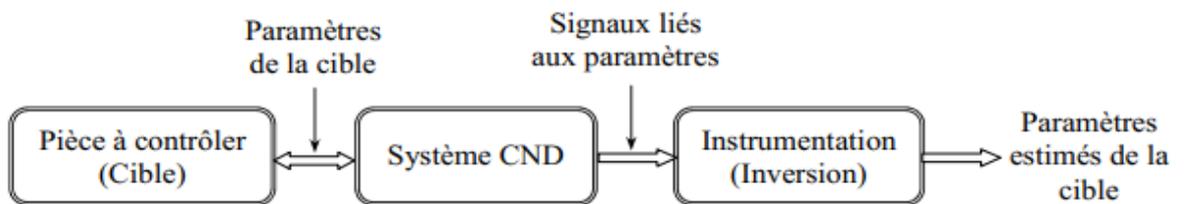
La mise en œuvre correcte de contrôles non destructifs comporte trois volets :

- La qualification des opérateurs,
- Le choix des équipements,
- La définition des modes opératoires.

## II.6.2. Principaux contrôles non destructifs

Les contrôles non destructifs peuvent se classer en trois catégories :

- Les méthodes dites de surface pour lesquelles l'anomalie est localisée, soit en surface, soit dans une zone proche de la surface (Examen visuel, le ressuage, la magnétoscopie, les courants induits),
- Les méthodes dites volumiques pour lesquelles l'anomalie est localisée dans le volume de la pièce (Ultrasons, rayonnements ionisants),
- Les méthodes complémentaires (Etanchéité, thermographie, émission acoustique).



**Figure II.2** Schéma synoptique d'un système de CND.

### II.6.3. Principe De Détection Des Défauts - Différentes Techniques Du (CND)

Tableau II.1 principaux contrôle non destructifs.

PROCEDE	DEFAUTS DE CIBLLES	AVANTAGES	LIMITES
Examen visuelle	-défauts de surface (manque de pénétration, caniveaux) -forme de cordon incorrect	-contrôle permanent pendant le soudage -peu couteux	-défauts de surface -pas de documents
Ressuage	-défauts de surface invisibles à l'œil (fissures débouchantes)	-simple d'emploi -peu couteux	- défauts de surface -pas de documents d'archive -interprétation délicate -non utilisable sur matériaux poreux
Magnétoscopie	-défauts de surface (fissures, manque de pénétration,...)	-méthode sensible et simple -peu couteux	-défauts de surface -interprétation délicate -utilisable que sur matériaux ferromagnétiques
Rayons ionisants	-défauts volumiques porosité, inclusions, manque de pénétration,	-détection de défauts internes -résultats archivables	-matériel couteux -opérateur qualifié -sensibilité fonction de l'orientation du défaut

### II.6.4. Éléments sur les méthodes de contrôle non destructif (CND)

#### II.6.4.1. Principes de détection des défauts

Le terme défaut est ambigu, relatif et peu précis, mais sa connotation négative. Évoque bien le rôle qui joue le CND dans la recherche de la qualité. En fait, détecter un défaut dans une pièce, c'est physiquement, mettre en évidence une hétérogénéité de matière, une variation locale de propriété physique ou chimique préjudiciable au bon emploi de celle-ci. Cela dit, nous avons l'habitude de classer les défauts en deux grandes catégories liées à leur emplacement : les défauts de surface et, les défauts internes. [6]

##### II.6.4.1.1. Défauts internes

Il s'agit de tous les défauts localisés dans le volume du corps à contrôler qu'il s'agisse de pièce moulée, forgées, laminées ou soudées. Leur nomenclature est spécifique à chaque branche d'activité technologique et industrielle, dans l'industrie des métaux il peut s'agir par exemple de porosité, de soufflures ou d'inclusions.

## CHAPITER II : Le concept et les types de contrôle non destructif.

---

Pour ce type de défauts le contrôle visuel est exclu d'office nous utiliserons l'un ou l'autre des grands procédés du CND

### **II.6.4.1.2. Défauts de surface**

Accessible à l'observateur direct mais pas toujours visible à l'œil nu, ils peuvent se classer en deux catégories distinctes Défauts ponctuels correspondent aux défauts les plus nocifs sur le plan technologique puis- qu'il s'agit des criques, fissures et craquelures généralement aptes à provoquer à terme la rupture de la pièce, en initiant par exemple des fissures de fatigue.

Les méthodes de contrôle non destructif les plus sensibles sont les mieux adaptées pour ce type de défauts (ressuage, magnétoscopie, courants de Foucault). Défauts d'aspect correspondent à une variation de paramètre géométriques ou physiques qui rend le produit inutilisable (rugosité, taches diverses). Pour ce type de défauts le contrôle visuel est possible mais on cherche à le remplacer par des contrôles optiques automatiques. [6]

### **II.6.5. Différentes techniques de CND**

Les méthodes CND utilisées couramment sont :les procédés optiques, le ressuage, la radiologie, les ultrasons, l'émission acoustique, le procédé par courants de Foucault). La diversité des pièces à inspecter, leurs géométries, leurs matériaux et les conditions d'inspection interdit à une méthode de CND d'être universelle. [8]

Les techniques non destructives doivent s'adapter aux matériaux que contrôler.

Dans le cas des métaux, et pour un contrôle au sein du métal, il faut exploiter les Phénomènes physiques qui permettent de pénétrer dans le métal et sélectionner celui qui permet le mieux de fournir les informations requises par Actuellement, pour la plupart des métaux, il existe différents moyens de pénétrer au sein de la matière. Nous allons décrire le principe de chacun de ces moyens et faire une analyse succincte donnant une idée sur les possibilités d'emploi de ces techniques. Chaque environnement industriel impose ces conditions propres et il n'existe donc pas de méthode (universelle) permettent de réaliser le contrôle non destructif dans toutes les conditions au meilleur rendement. [5]

## **II.7. Le soudage**

C'est une opération consistant à réunir deux ou plusieurs parties constituées d'un assemblage, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler (continuité de la matière des matériaux assemblés : matériaux métallique, matière plastique, etc.), soit par chauffage, soit par intervention de pression, soit par l'un et l'autre, avec ou sans emploi d'un produit d'apport dont la température de fusion est de même ordre de grandeur que celle du matériau de base. Pour l'assemblage des pipelines on utilise uniquement les procédés de soudure électriques, plus rapides et plus faciles à contrôler, les électrodes doivent être sélectionnées en fonction de la qualité du métal de tube pour obtenir un dépôt d'une nuance équivalente et résistance au moins égale au métal du tube ; l'enrobage doit être également choisi de façon à obtenir une protection convenable de l'arc pendant la soudure et éviter ainsi toute oxydation. La soudure est effectuée en plusieurs passes :

- la première passe : est effectuée pour fixer bout à bout les éléments de tube maintenus, pendant l'opération, par des colliers soit intérieurs, soit extérieurs. Cette passe est effectuée en générale en descendant, avec un dépôt rapide (intensité supérieur à 200A) ; une de ces qualités est essentielles est une pénétration correcte évitant d'une part les gouttes de soudure en relief à l'intérieur de la canalisation, d'autre part au contraire des insuffisances qui diminueraient la résistance de l'ouvrage.
- La deuxième passe : est effectuée encore avec un dépôt rapide en se chevauchant le long de la canalisation assemblée.
- La troisième : si nécessaire la quatrième, cinquième passes sont des passes de remplissage plus larges, effectuées généralement à une cadence de dépôt un peu plus lent (180 A) ; le chanfrein doit se trouver finalement rempli, mais la dernière passe ne doit faire qu'un bourrelet aussi régulier et aussi peu épais que possible pour éviter des difficultés au moment de l'application du revêtement. [20]

## II.8. Soudage à l'arc électrique

### II.8.1. Soudage avec l'électrode enrobée

Le soudage à l'arc à l'électrode enrobée (SMAW) est réalisé à partir d'un arc électrique créé et entretenu entre l'âme métallique de l'électrode et la pièce à souder. L'énergie calorifique de l'arc fait fondre localement la pièce à assembler et l'âme métallique de l'électrode pour constituer le bain de fusion et après refroidissement le cordon de soudure recouvert d'un laitier protecteur. Un générateur électrique fournit le courant continu ou alternatif avec une intensité variant de 30 à 400 ampères en fonction de différents paramètres comme le diamètre de l'électrode, la nature de l'enrobage, la position de soudage, le type d'assemblage, la dimension et la nuance des pièces à assembler. La tension à vide du générateur ( $U_0$ ) doit être supérieure à la tension d'amorçage (surtout en courant alternatif). Sa valeur doit être comprise entre 40 et 80 volts. [21].

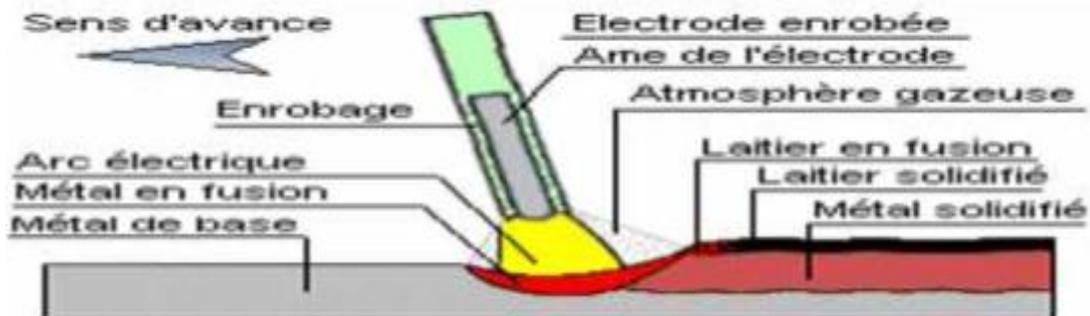


Figure II.3 Soudage à l'électrode enrobée

### II.8.2. Soudage sous gaz inerte avec l'électrode réfractaire (TIG)

Le soudage à l'arc sous protection de gaz inerte ou non actif avec fil électrode fusible (GMAW) est réalisé à partir d'un arc électrique créé et entretenu entre le fil d'apport (de  $\varnothing$  0,6 mm à  $\varnothing$  2,4 mm) à dévidage continu et à vitesse constante (de 2 à 20 mètres/minutes environ) et la pièce à souder. La vitesse de dévidage du fil détermine l'intensité de soudage. L'énergie calorifique de l'arc fait fondre localement la pièce à assembler et le fil métallique pour constituer le bain de fusion et après refroidissement le cordon de soudure. Le bain de fusion est protégé de l'atmosphère externe par un cône invisible de gaz (de 10 à 30 litres/minute de gaz) de protection inerte ou non actif (Argon pur, Argon + CO<sub>2</sub>, Argon + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>). Un générateur électrique fournit le courant exclusivement continu avec une intensité variant de 40

CHAPITER II : Le concept et les types de contrôle non destructif.

à 700 ampères en fonction de différents paramètres comme le diamètre du fil électrode, la position de soudage, le type d'assemblage, la dimension et la nuance des pièces à assembler. La polarité du fil électrode est toujours positive. [21].

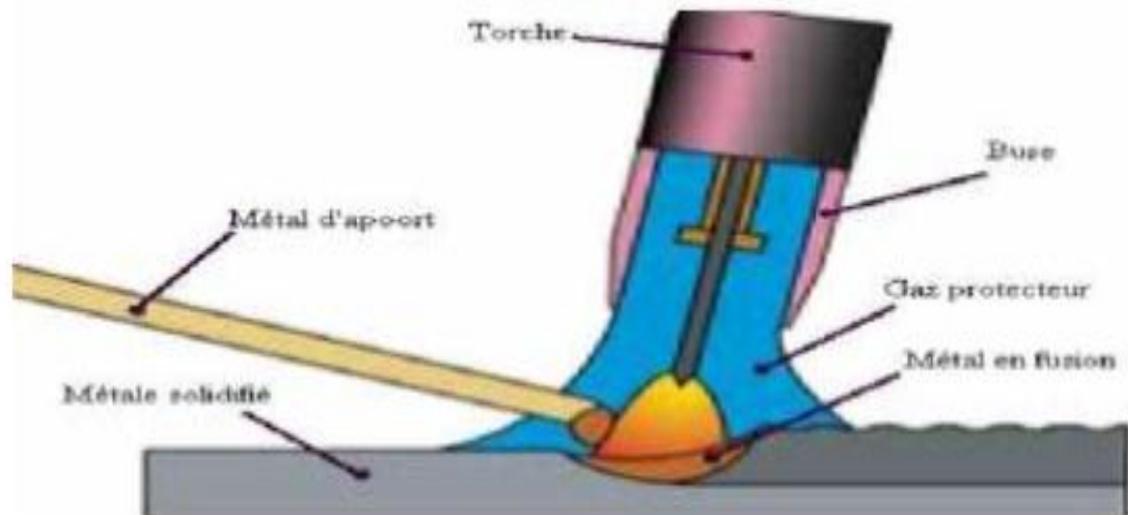


Figure II.4 Soudage avec l'électrode réfractaire

### II.8.3. Le soudage semi-automatique sous protection gazeuse

**MIG ou MAG (GMAW: Gas Metal Arc Welding / FCAW: Flux Core Arc Welding)**

Avec le procédé GMAW, la fusion est obtenue grâce à un arc électrique s'établissant entre le fil-électrode, continu et fusible, et le métal de base. Un gaz ou un mélange de gaz provenant d'une source externe assure la protection du bain de fusion et l'arc contre la contamination atmosphérique durant le soudage. La chaleur que dégage l'arc provoque la fusion de l'extrémité du fil-électrode et du métal de base. Différentes formes de gouttelettes de métal fondu, projetées du fil-électrode vers le bain de fusion où elles se solidifient, produisent la soudure désirée.

Le fil-électrode, généralement de petit diamètre, est continuellement amené à l'arc de soudage, par un mécanisme de dévidage. Où il fond sous l'effet de la chaleur qui y est générée.

## CHAPITER II : Le concept et les types de contrôle non destructif.

Les procédés de soudage semi-automatiques ont en commun l'usage d'un fil électrode comme métal d'apport, fil qui est dévidé automatiquement par un dévidoir intégré à la soudeuse ou indépendant. La distinction entre ces procédés provient du type de fil-électrode utilisé.

Ainsi, les procédés de soudage semi automatiques se divisent en deux :

Le procédé GMAW (gas metal arc welding), qui utilise un fil électrode plein.

Le procédé FCAW (flux core arc welding), qui emploie un fil tubulaire (fil fourré). [21]

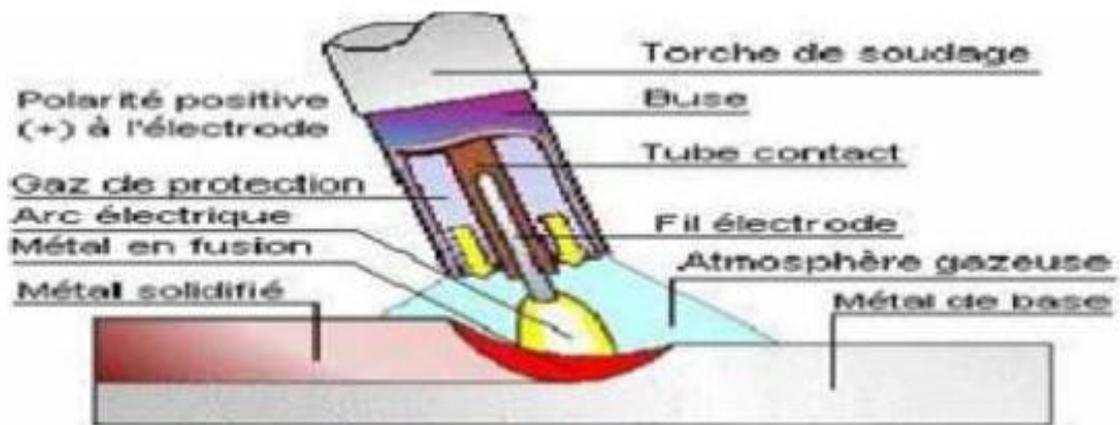
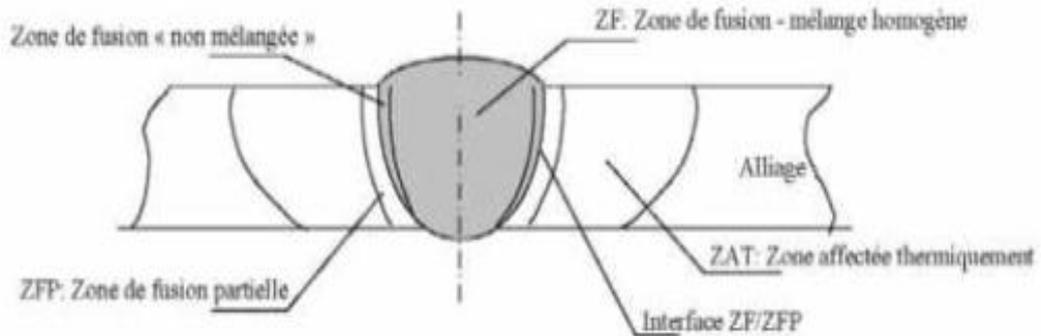


Figure II.5 Principe de soudage GMAW.

### II.9. Caractéristiques de la soudure

Le soudage est le procédé qui permet de reconstituer la continuité métallique entre les surfaces des éléments à assembler pour activer les surfaces, la fusion est une méthode très efficace qui permet également le nettoyage de surface afin d'assurer l'installation de la liaison métallique. On obtient ainsi après solidification un joint homogène de même dans le cas de métaux différents.

Quel que soit le procédé de soudage par fusion, la structure d'une soudure typique d'un alliage est composée de 6 zones principales. [21]

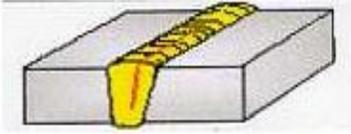
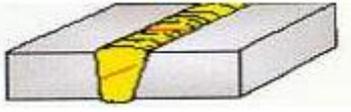
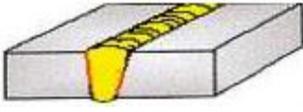
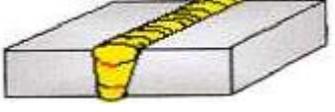
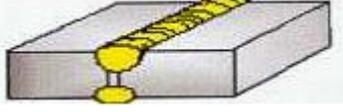


**Figure II.6** Caractéristiques de la soudure.

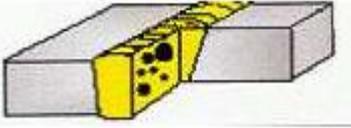
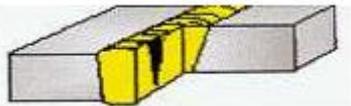
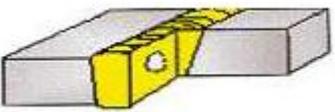
- **(ZF)** la zone de fusion : est la région chauffée au-dessus de température liquides. Le bain de fusion est similaire à un système de fonderie ou le métal de base est considéré comme un moule.
- **(ZNM)** la zone non mélangée : est la zone étroite à l'extrémité du bain de fusion, dans cette zone, les forces de convection étant inférieures aux forces de friction des fluides.  
La composition chimique est identique à celle du métal de base.
- **(ZFP)** la zone partiellement fondue : est directement adjacente à l'interface de la soudure.  
Le cycle thermique de soudage s'opère dans cette zone à des températures comprise entre le liquide et le solidus de l'alliage.
- **(ZF/ZFP)** la surface formant clairement la frontière entre le métal de base non fusionnée et le métal de soudure solidifiée.
- **(ZAT)** la zone affectée thermiquement : est la zone où la température est comprise entre la température du solidus et une température plus basse mais suffisamment élevée pour permettre des réactions ou des transformations à l'état solide, en modifiant la structure du métal de base.
- **(MB)** le métal de base : est la partie du matériau qui ne subit pas de modifications microstructurales. Bien que métallurgiquement inchangé.

## II.10. les défauts de soudage

**Tableau II.2** Types de défauts des joints soudés. [21].

Types de défauts	Descriptions	Illustration
Fissurations.	Les fissures sont des discontinuités de type fracture caractérisées par une extrémité en pointe et à haut rapport de longueur /largeur. Les fissures peuvent être décrites comme étant longitudinales ou transversales, en fonction de leur orientation.	 <p>Fissure longitudinale</p>  <p>Fissure transversale.</p>
Manque de fusion	C'est une discontinuité de métal, avec manque de liaison entre la soudure et une face du chanfrein (collage) ou entre deux passes	 <p>-Manque de fusion des bords ou collage</p>  <p>-Manque de fusion entre passe</p>
Manque de pénétration.	C'est l'absence du métal à la racine du chanfrein.	 <p>-Manque de pénétration.</p> 

CHAPITER II : Le concept et les types de contrôle non destructif.

		-Manque d'interprétation.
Inclusions gazeuses.	<p>Les inclusions gazeuses peuvent se présenter sous forme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Des soufflures sphériques.</li> <li>-Des soufflures vermiculaires se disposant les unes a la suite des autres</li> </ul>	 <p>-Soufflures sphériques.</p>  <p>-Soufflures vermiculaires.</p>
Inclusions solides	Restes de laitier ou d'autres matières étrangères au joint.	 <p>-Inclusion de laitier.</p>  <p>-Inclusion métallique.</p>
Défauts de surfaces	Un creux irrégulier à la surface du cordon juste au contact du métal d'apport et du métal de base.	 <p>-caniveau.</p>  <p>- Morsure</p>  <p>-caniveau a la racine.</p>  <p>-Excès de pénétration.</p>  <p>-Surépaisseur excessive</p>

## **II.11. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons fourni des informations générales sur la maintenance industrielle, le but de la maintenance et la différence entre maintenance et maintenance.

Ensuite, nous avons parlé de la structure de maintenance, et les processus de maintenance préventive et corrective ont été mis en évidence ; « Optimisation » Enfin, nous expliquons les niveaux de maintenance.

Nous avons brièvement abordé la définition et le but du CND, les différents types de défauts détectés au CND, le principe de détection d'un défaut potentiel et les fondements physiques qui régissent les inspections. Puis nous décrivons les principes des principales techniques de contrôle non destructif les plus couramment utilisées dans le secteur industriel, à savoir : (inspection visuelle, contrôle laser, radiographie, contrôle par magnétoscopie, imagerie thermique, procédé d'induction thermique et enfin contrôle par ultrasons).

L'échographie est l'objet de ce travail. Le choix d'une telle commande se justifie par sa simplicité, sa mise en œuvre pratique et peu coûteuse. Dans le troisième chapitre, nous rappelons les notions de base sur les appareils et machines utilisés en contrôle non destructif par ultrasons.

Les méthodes de contrôle non destructif sont souvent appliquées aux assemblages soudés. Quel que soit le procédé de soudage utilisé, le contrôle non destructif est nécessaire pour qualifier les pièces à assembler.



## **CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie**

### **III.1. Introduction**

L'ultrason est une onde mécanique et élastique, qui se propage au travers de supports fluides, solides, gazeux ou liquides. La gamme de fréquences des ultrasons se situe entre 20000 et 10 000 000 Hertz, trop élevées pour être perçues par l'oreille humaine.

Le contrôle par ultrason est appliqué aux fabrications, aux demi-produits et éventuellement aux produits finis, en petite ou grande série, il est capable de mettre en évidence les défauts en préservant l'intégrité des produits contrôlés.

### **III.2. Causes profondes possibles dans les tubes en spirale qui entraînent une défaillance du pipeline**

#### **III.2.1. Les défauts de soudure**

Une définition possible de ce qu'on entend par défaut pourrait être «Accident géométrique autre que ceux inhérents aux cordons de soudure proprement dits ».

On rencontre donc, toutes les entailles inhabituelles présentées par le cordon de soudure et son voisinage immédiat. On citera, en se référant par exemple à la classification suivante :

- les fissures ;
- les cavités ;
- les inclusions solides ;
- les manques de fusion et de pénétration ;
- les défauts de forme.

**Les fissures** : Les fissures sont des ruptures qui sont provoqués en générale au cours de refroidissement, par des contraintes exercées sur les structures au cours de solidification ou de refroidissement, éventuellement fragilisées, notamment par la présence d'hydrogène.

L'orientation de la localisation des fissures dépend de leur origine. Elles entrent toute fois, d'une manière systématique dans la famille des défauts plans c'est-à-dire des défauts dont l'une des dimensions est très petite devant les deux autres et dont le pourtour constitue, par conséquent, une entaille particulièrement aigüe.

## CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie

**Les cavités** : appartiennent à la famille des défauts volumiques et peuvent résulter de mécanismes différents. On distinguera :

- Les retassures : suite à un retrait du métal lors de son refroidissement, l'espace vide formé apparaît visuellement à la surface du cordon, ainsi qu'à l'intérieur du cordon.
- Les soufflures : formées par des gaz emprisonnés lors de la solidification, qui se présente sous la forme des bulles.

**Les inclusions solides** : constituées de particules de laitier ou d'oxydes.

Les manques de fusion ou collages résultent d'une absence de liaison entre le métal fondu et le métal de base tandis que les manques de pénétration représentent l'absence de fusion des bords à souder lors de la première passe. Ces défauts sont également des défauts plans.

**Les défauts de forme** : sont particulièrement nombreux et on citera, sans y insister :

- Les surépaisseurs excessives et les effondrements ;
- Les défauts d'alignement ;
- Les caniveaux.

### **III.3. Vérification de l'équipement (appareils de test à ultrasons)**

Le contrôleur à ultrasons doit être vérifié et ajusté avant chaque examen en raison de Ses propriétés peuvent être modifiées en fonction des exigences du test.

#### **III.3.1. Choix du milieu de couplage**

Une matière de couplage doit être existée entre le palpeur et la pièce à contrôler et :

- Elle doit avoir de bonnes propriétés de mouillage.
- Ses caractéristiques doivent rester constantes de l'étalonnage à la fin de l'examen.
- Elle doit être compatible avec la position de travail et la température de la pièce.
- Après l'examen, elle doit être éliminée.

##### **III.3.1.1. Les couplants les plus utilisés**

- Huiles.
- Graisses.
- Pâtes de contact.

- Colles additionnées d'eau.
- Gel thixotropique.
- Eau additionnée ou non d'agent mouillant

### **III.3.2. Etalonnage et bloc d'étalonnage**

Pour utiliser rationnellement un matériel de contrôle par ultrasons, il est nécessaire à la fois de connaître de manière aussi précise que possible les caractéristiques de ce matériel et de vérifier les réglages mis en jeu au cours des divers examens.

Ceci rend indispensable l'usage des dispositifs d'étalonnage constitués par des blocs de forme normalisée permettant de :

- Contrôler l'appareillage et les palpeurs, afin de définir leurs caractéristiques propres.
- Reproduire les conditions de réglages antérieurement utilisés.
- Comparer éventuellement les possibilités de différents matériels en vue d'une opération donnée. [9].

#### **III.3.2.1. Mode opératoire**

Pour l'étalonnage, on doit effectuer :

- **A l'appareil**
  - Correction du point zéro.
  - Etalonnage de l'échelle de mesure par réglage de la base de temps.
  - Contrôle de la linéarité horizontale et la linéarité verticale.
  - Réglage de la sensibilité relative.
- **Aux palpeurs droits**
  - Contrôle de la zone de silence.
  - Contrôle du pouvoir de résolution.
- **Aux palpeurs d'angles**
  - Contrôle du pouvoir de résolution.
  - Détermination de point d'incidence (ou d'émergence).

- Vérification de l'angle de réfraction

### **III.3.3. Bloc de référence**

Le bloc de référence est constitué d'une pièce métallique de forme et de dimensions normalisées. Ce bloc contient des trous de diamètres et de positions bien définis. Le bloc de référence est utilisé pour tracer les courbes Amplitude-Distance(CAD) avant l'examen

### **III.3.4. Principe de trace d'une Courbe Amplitude-Distance (CAD)**

La CAD est une courbe qui donne les amplitudes des échos [dB] en fonction de la distance [mm].

Après le choix du bloc de référence, on trace un CAD de chaque palpeur utilisable pendant le contrôle. Sur le bloc de référence, on peut utiliser plusieurs trous par un palpeur donné qui nous donnent des échos à des amplitudes et des distances différentes. [10]

La courbe est tracée en jointant les différents sommets des échos, ceci est fait en ajustant le premier écho maximal observé à 80% de la hauteur de l'écran.

Le nombre des points reliés dépend de l'épaisseur de la pièce à contrôler, si la courbe est descendue sous la ligne de 25%, on doit refaire l'ajustement une autre fois ; ainsi l'évaluation des défauts sera basée sur cette courbe tracée. Si le matériau à contrôler est différent de celui du bloc de référence, on doit effectuer une correction de transfert.

### **III.3.5. Localisation des défauts en profondeur**

Elle est aisée lorsqu'on travaille en échographie. Il existe toutefois une zone sous la surface de couplage pour laquelle l'écho de défaut peut être noyé dans l'écho d'émission ou d'interface, ce qui peut rendre à la fois la détection et la localisation aléatoires. La localisation en plan se fera en relation avec le relevé manuel de la position du palpeur.

### **III.3.6. Dimensionnement des défauts**

C'est une préoccupation légitime du contrôleur en vue de les relier à des critères de nocivité technologique faisant en général l'objet d'une procédure normalisée ou spécifique. C'est un problème délicat auquel on peut toutefois donner des solutions pratiques simples. Deux cas se

**CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie**  
présentent en théorie, selon que le champ du palpeur est censé être supérieur ou inférieur à la dimension moyenne du défaut.

Le premier cas, tout le défaut est éclairé par le faisceau et l'on peut relier l'amplitude de l'écho de retour à la dimension du défaut à l'aide de diagrammes qui prennent en compte l'ensemble des paramètres ultrasonores du sondage. Cette méthode, souvent appelée méthode AVG est intéressante, mais délicate d'emploi surtout lorsque le défaut à dimensionner présente une orientation et une morphologie très éloignées des cas théoriques (généralement matérialisés par des réflecteurs constitués par des trous à fond plats forés dans les blocs d'étalonnage).

Lorsque le défaut est plus grand que le faisceau, ce que l'on peut parfois volontairement obtenir en utilisant l'étroit champ d'un palpeur focalisé, on trace son contour apparent, soit en repérant et en quantifiant le basculement entre écho de fond et écho de défaut (normes de contrôle de tôles fort espar exemple), soit en utilisant la règle «des - 6 dB» qui prend en compte un rapport 1/2 entre l'amplitude maximale de l'écho de défaut et celle obtenue lorsque les bords du défaut occultent environ à moitié la section du faisceau ultrasonore.

Le champ d'application du contrôle ultrasonore concerne principalement, outre bien entendu le domaine médical, l'examen des pièces métalliques et de leurs assemblages en fabrication et en service, donc l'ensemble des industries métallurgiques, mécaniques, nucléaires et aéronautiques.

### **III.4. Le contrôle par ultrasons**

#### **III.4.1. Émission et réception des ultrasons**

L'émission doit se faire par impulsions pour que la réception puisse être effectuée entre deux impulsions. Pour cela un appareil à ultrason est utilisé, qui permet de visualiser sur un écran, le parcours des ultrasons entre deux impulsions successives. Les appareils à ultrason sont deux types principaux, [11] :

- **Appareils de chantier** : qui possèdent un faible encombrement, un faible poids et des possibilités réduite.

### CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie

- **Appareils de laboratoire** : lourds, encombrement, complexes. Et qui permettent grâce à leur multiples de possibilités la mise au point de méthodes de recherches.

La chaîne de mesure qui englobe les différentes parties d'un appareil doit comporter :

- **Un élément d'excitation ou de commande** : Pour fixer le déroulement du cycle de contrôle, à quel moment émettre et à quel moment écouter (recevoir et évaluer).
- **Un générateur d'impulsions** : Il délivre l'impulsion grâce à laquelle le palpeur sera excité pour engendrer les oscillations mécaniques.
- **Un palpeur (ou des palpeurs)** : Il transforme les impulsions électriques d'excitation en oscillations mécaniques (ultrasons) et, à l'inverse, les oscillations ultrasonores en impulsions électriques. Les palpeurs peuvent être au même temps émetteur-récepteur ou séparés.
- **Un amplificateur** : A la réception, le signal provoqué par l'écho est très faible (0.01V) pour être visualisé sur l'écran, il faut l'amplifier et filtrer, alors l'amplificateur lui associe avec un gain suffisant pour la visualisation.
- **Un tube cathodique (ou écran de visualisation)** : Après le traitement du signal, les résultats sont affichés sur un écran d'un tube cathodique, les distances et les amplitudes des échos sont obtenues grâce à un balayage horizontal et vertical.

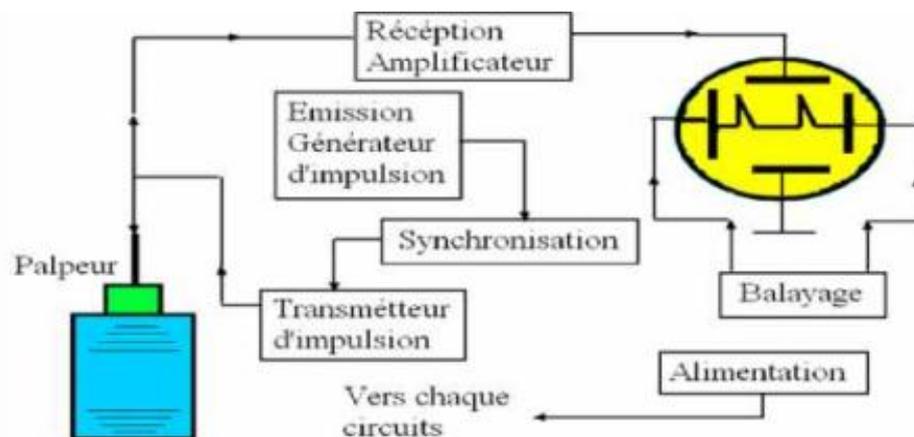


Figure III.1 chaînes de mesure de contrôle par ultrason.

#### III.4.2. Technologie des palpeurs

Un palpeur est un dispositif permettant d'émettre et/ou de recevoir des ultrasons. Il est principalement constitué par le transducteur et qui est l'élément piézoélectrique. Un palpeur est constitué principalement de quatre éléments [11] :

## CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie

---

- La pastille piézoélectrique :

Le choix de la nature des pastilles piézoélectriques est déterminé par des critères des prix, de fragilité de sensibilité, de tension d'excitation, de coefficient de couplage piézoélectrique et de résistance à la température.

Actuellement les matériaux les plus utilisés pour réaliser industriellement les éléments sensibles sont à la base de zirconite-titanate de plomb et de titanate de baryum. On joint à ces deux matériaux de base des produits qui améliorent leur sensibilité.

- L'amortisseur :

L'amortisseur a pour but de supprimer la transmission, il permet d'obtenir un signal bref, son impédance acoustique étant égale à celle de la pastille, la vibration est très rapidement amortie (pas de réflexion sur la face arrière).

- Les connections électriques :

Les faces de l'élément sensible sont métallisées pour permettre un bon couplage électrique avec les fils de connexion à l'aide de soudure, colles conductrices, ressorts...

- Le boîtier :

Le boîtier permet une manipulation simple et des montages spécifiques, il protège la pastille, assure l'étanchéité et la résistance à l'usure

### III.4.2.1. Les types des palpeurs

L'utilisation des ultrasons pour le contrôle des pièces de formes complexes nécessite la conception de palpeurs parfaitement adaptés. [11]

#### III.4.2.1.1. Palpeurs droits ou normaux

Les palpeurs droits sont ceux qui émettent des ondes de compression (longitudinale) dont l'axe du faisceau est perpendiculaire à la surface d'émission. Ce sont les palpeurs les plus couramment utilisés, ils offrent une gamme étendue de fréquence, de diamètre et d'amortissement ; le prix est relativement peu élevé. Ce type de palpeurs est utilisé dans les méthodes d'examen par réflexion en jouant successivement le rôle d'émetteur et de récepteur ou dans la technique de transmission soit comme émetteur soit comme récepteur.

#### **III.4.2.1.2. Palpeurs doubles monoblocs**

Les palpeurs doubles ou « émetteur-récepteur » sont constitués de deux palpeurs jumelés dans un seul bloc support ; les cristaux sont inclinés afin de permettre par chevauchement des zones déterminées au sein de la pièce en examen. Toutefois, il faut mentionner que la sensibilité de ces palpeurs est maximale au point d'intersection ou foyer des faisceaux et il est impossible de définir les notions du champ proche et du champ éloigné. L'utilité de ces palpeurs s'étend, pour un palpeur déterminé, sur une profondeur relativement courte.

#### **III.4.2.1.3. Palpeurs d'angle**

Les palpeurs d'angle produisent des ondes transversales dans les matériaux en envoyant une onde longitudinale incidente entre le 1er et le 2ème angle critique. En pratique, on construit des palpeurs d'angle avec des valeurs angulaires de réfraction dans l'acier de 350, 450, 600, 700 et 800.

#### **III.4.2.2. Le choix du palpeur :**

Il est guidé par son utilisation ultérieure, et les Considérations essentielles sont :

- type de palpeur et son élément actif.

Selon les modalités du contrôle et le type et l'orientation des défauts recherchés, nous prenons un des palpeurs décrits déjà (palpeur droit, palpeur d'angle) en considérant son fonctionnement en émission et/ou en réception.

- choix de la fréquence.

La fréquence du palpeur est subordonnée au contrôle à effectuer :

- ✓ pour les épaisseurs faibles ou les défauts très fins on utilise les fréquences élevées.
- ✓ pour les matériaux à gros grains, on choisit les fréquences faibles pour éviter le phénomène de diffusion.

#### **III.4.3. Principe de la méthode**

Les ultrasons sont des ondes sonores qui se propagent dans les milieux élastiques. Des modifications locales du milieu parcouru (fissures, défaut de compacité, ...) engendrent des perturbations dans la propagation de l'onde. Le contrôle par ultrasons a donc pour principe

**CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie**  
d'analyser, à l'aide d'instruments de mesure appropriés, les modifications apportées à la progression des ondes sonores.

Les vitesses de propagation des ondes étant grandes (5850 m/s en onde longitudinale et 3250 m/s en onde transversale pour l'acier) et les distances à contrôler faibles (de quelques dixièmes à quelques centaines de millimètres), les échos de défaut ou de fond sont donc très proches de l'écho d'émission (quelques microsecondes) [12].

#### **III.4.4. Méthodes de contrôle**

Pour le contrôle non destructif des matériaux par ultrasons, on peut citer deux principales méthodes d'examen : la méthode par transmission et la méthode par écho. La dernière méthode citée est généralement retenue pour les avantages qu'elle présente tels que. [12] :

- Localisation précise des défauts.
- Possibilité de n'utiliser qu'un seul transducteur en émission réception.
- L'accès, à une seule face du matériau à contrôler, est suffisant pour effectuer le contrôle.

##### **III.4.4.1. Méthode par transmission**

Cette méthode consiste à placer deux transducteurs de part et d'autre de la pièce à analyser. Le transducteur émetteur émet une onde ultrasonore dans la pièce ; si un défaut existe au sein du matériau, l'onde ultrasonore est y réfléchi sélectivement.

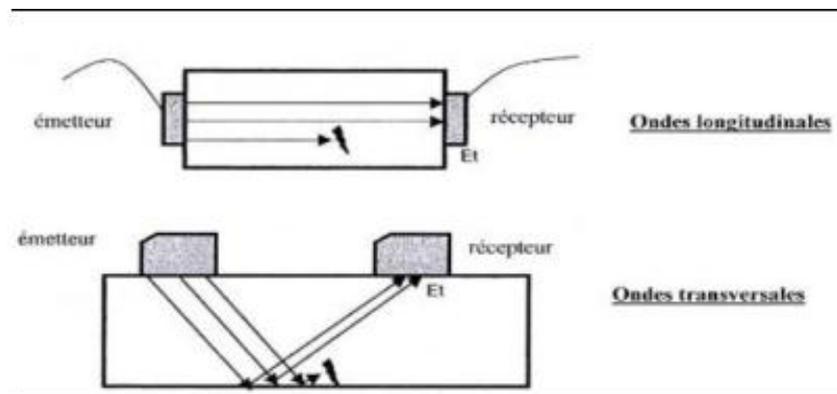
Si on place un second transducteur en regard de l'émetteur sur l'autre face de la pièce, et qui sert uniquement de récepteur, on recueillera une énergie plus faible en présence de défaut.

Cette perte d'énergie est d'autant plus importante que la dimension de l'hétérogénéité est grande. Quand un défaut intercepte le signal, une partie de l'énergie ultrasonore est arrêtée et par conséquent l'énergie parvenant au capteur récepteur est diminuée. La répartition ponctuelle de la pression acoustique sur la surface du récepteur sera fonction, en quelques sorte, de «l'opacité» du défaut aux ultrasons ; par analogie aux ondes lumineuses, on dit que l'on a l'ombre du défaut projetée sur la surface du récepteur, d'où son appellation : méthode de l'ombre. En déplaçant un récepteur de petites dimensions, on peut évaluer les dimensions du défaut.

### CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie

Le contrôle par transmission a été largement utilisé dans les années 50, et a pratiquement disparu dans les années 70 au profit du contrôle par échographie.

La diminution du signal peut être la conséquence de nombreux autres phénomènes que des défauts proprement dits : mauvais couplage dans le cas de contrôle par contact, changement d'état de surface du métal, désalignement des palpeurs émetteurs et récepteur, changement de la structure de la pièce, ...etc. De plus, quand un défaut est détecté, aucune information sur sa position ne peut être obtenue immédiatement, ce qui est extrêmement gênant dans le cas de l'analyse de nocivité des défauts.



**Figure III.2** Contrôle par transmission.

#### III.4.4.2. Méthode par écho

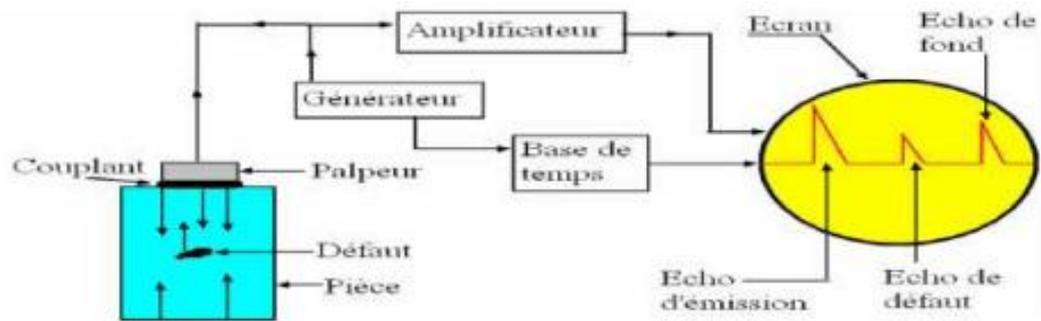
Cette méthode est la plus utilisée dans le contrôle ultrasonore. Elle est appelée : l'échographie et consiste en un seul transducteur émetteur récepteur dans le cas où le palpeur est appliqué au contact de la pièce par l'intermédiaire d'un film de couplage.

On excite le palpeur au moyen d'une brève impulsion électrique, à laquelle correspond un premier écho appelé écho d'émission ; le train d'onde progresse dans la pièce et en l'absence de défaut, vient frapper la face arrière de la pièce contrôlée, sur laquelle il est réfléchi. Il refait alors la progression inverse jusqu'au palpeur où il génère un signal électrique correspondant à l'écho de fond. En cas de présence d'un défaut dans l'épaisseur de la pièce, celui-ci, quand il est frappé par la bouffée d'onde ultrasonore, est réfléchi en partie, et pendant que le train d'ondes principal poursuit sa propagation vers le fond, l'onde réfléchie sur le défaut revient vers le palpeur où elle génère un écho de défaut. Du point de vue interprétation, tout se passe comme si les faces avant et arrière de la pièce étaient indiquées par les échos d'émission et de

### CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie

fond, et la présence d'un défaut signalé par un écho dont la position sur l'écran entre les deux autres, est proportionnelle à sa profondeur. Il faut noter que ces distances sur l'écran correspondent à des temps de vol, aller-retour de chaque impulsion ultrasonore.

En résumé, au lieu de détecter, comme dans le cas précédent l'énergie transmise, on cherche l'énergie réfléchiée et on utilise généralement une émission pulsée. Toute variation de cette énergie correspond à la présence d'un défaut.



**Figure III.3** méthode de contrôle par réflexion.

#### III.4.4.3. Techniques mises en œuvre

Les ultrasons aux fréquences utilisées (1 à 10 MHz), ne se propagent pas dans l'air, il y a une très mauvaise transmission des ondes en présence d'une interface air/solide, et les ultrasons sont très fortement atténués. Pour assurer le passage des ultrasons entre le transducteur et la pièce à contrôler, il faut placer entre les deux un milieu dit de couplage, qui consiste à diminuer le phénomène de rupture d'impédance et pour garder la propagation d'énergie transmise sensiblement constante lorsque le transducteur se déplace. Deux techniques existent pour assurer ce couplage : le contrôle par contact et le contrôle en immersion.

#### III.4.4.4. Contrôle par contact

Le transducteur est directement placé sur la pièce à contrôler. La liaison acoustique est assurée par un film de couplage qui est généralement une graisse, une huile ou des gels spéciaux. Cette technique est surtout employée lors du contrôle manuel.

Elle ne nécessite qu'un seul transducteur et un appareil de contrôle. Cependant, elle présente deux inconvénients : elle nécessite d'abord l'intervention d'un opérateur qui assure le déplacement du transducteur, deuxièmement, la constante du couplage n'est pas bonne, c'est à

CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie  
dire qu'au cours du contrôle, la qualité du couplage risque d'évoluer et donc la qualité du contrôle.

#### III.4.4.5. Contrôle en immersion

Le transducteur est situé à une certaine distance de la pièce, le couplage est assuré par un liquide, habituellement de l'eau. Il peut s'agir : D'une immersion totale. Le transducteur et la pièce sont entièrement immergés dans une cuve de contrôle. D'une immersion locale. Le transducteur et la partie de la pièce qui est contrôlée sont reliés entre eux par un volume de liquide, grâce à des dispositifs spéciaux

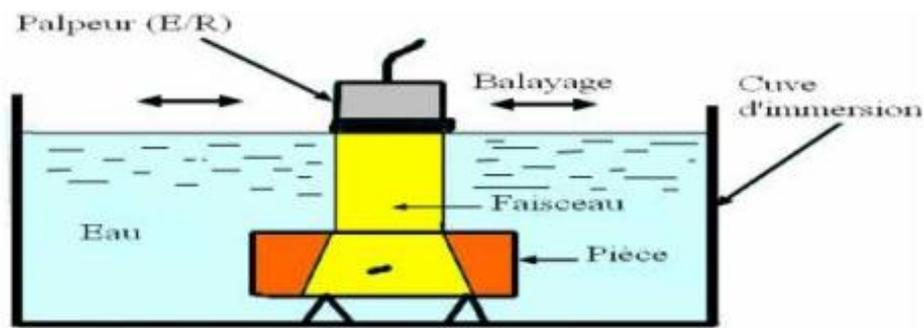


Figure III.4 méthode de contrôle par émergence.

#### III.4.5. Etalonnage et bloc d'étalonnage

Pour utiliser rationnellement un matériel de contrôle par ultrasons, il est nécessaire à la fois de connaître de manière aussi précise que possible les caractéristiques de ce matériel et de vérifier les réglages mis en jeu au cours des divers examens. Ceci rend indispensable l'usage des dispositifs d'étalonnage constitués par des blocs de forme normalisée permettant de :

- Contrôler l'appareillage et les palpeurs, afin de définir leurs caractéristiques propres.
- Reproduire les conditions de réglages antérieurement utilisés.
- Comparer éventuellement les possibilités de différents matériels en vue d'une opération donnée. [13],[14]

#### III.4.6. Caractéristiques du bloc d'étalonnage

a) Nature du matériau :

Le matériau utilisé pour la fabrication des blocs d'étalonnage doit répondre aux conditions suivantes :

### CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie

---

- Acier non allié ( $C\% \leq 0.15 \%$ ).
- Indice conventionnel de grosseur de grains  $\geq 8$ .
- Vitesses de propagation des ondes ultrasonores longitudinales et transversales sont respectivement (5920 et 3255 m/s).
- D'autres matériaux peuvent utiliser en fonctions des applications (tenir compte des vitesses de propagation des ondes ultrasonores)

#### b) Contrôle du matériau :

Avant usinage du bloc, il convient de s'assurer de leur bonne homogénéité et de l'absence des défauts.

#### c) Tolérances :

Les tolérances admises sur les différentes dimensions sont les suivants :

- Angle de découlement circulaire  $\pm 1^\circ$ .
- Emmanchement du cylindre en polyacrylate de méthyle H8 n7.
- Toutes les autres dimensions :  $\pm 0.1 \text{ mm}$

#### d) Mode opératoire :

Pour l'étalonnage, on doit effectuer :

- A l'appareil :
  - Correction du point zéro.
  - Etalonnage de l'échelle de mesure par réglage de la base de temps.
  - Contrôle de la linéarité horizontale et la linéarité verticale.
  - Réglage de la sensibilité relative.
- Aux palpeurs droits :
  - Contrôle de la zone de silence.
  - Contrôle du pouvoir de résolution.
- Aux palpeurs d'angles :
  - Contrôle du pouvoir de résolution.
  - Détermination de point d'incidence (ou d'émergence).
  - Vérification de l'angle de réfraction.

### III.4.7. Paramètres à régler avant l'examen

#### a) Détermination de l'axe de soudure :

Pour repérer les distances utilisées pendant l'examen, il faut déterminer un repère, souvent l'axe des soudures.

#### b) Volume à contrôler :

C'est la zone incluant le métal fondu et le métal de base thermiquement affecté (ou la ZAT à 10 mm de part et d'autre du joint de soudure)

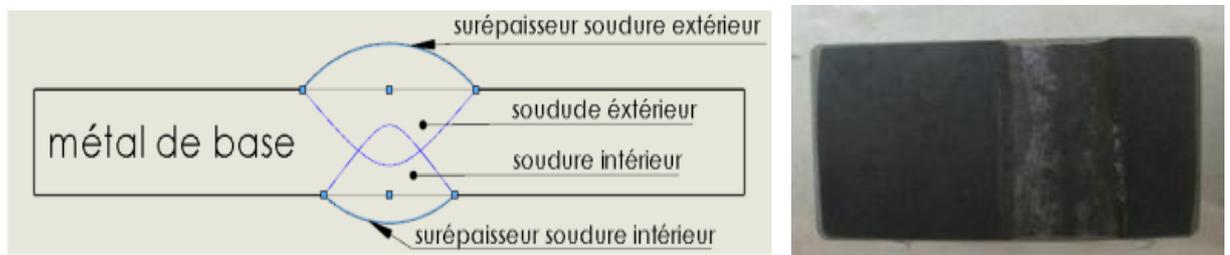
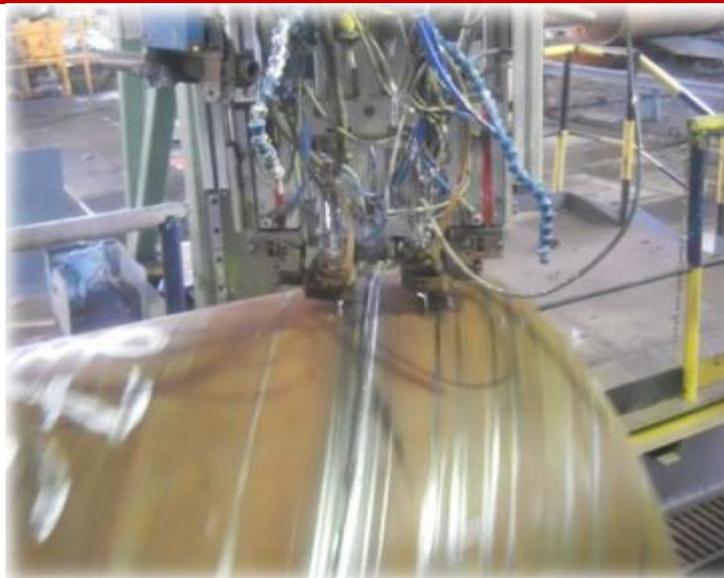


Figure III.5 Schéma montrant la surépaisseur du cordon de soudure.

## III.5. Application des différentes méthodes de contrôle des tubes CND

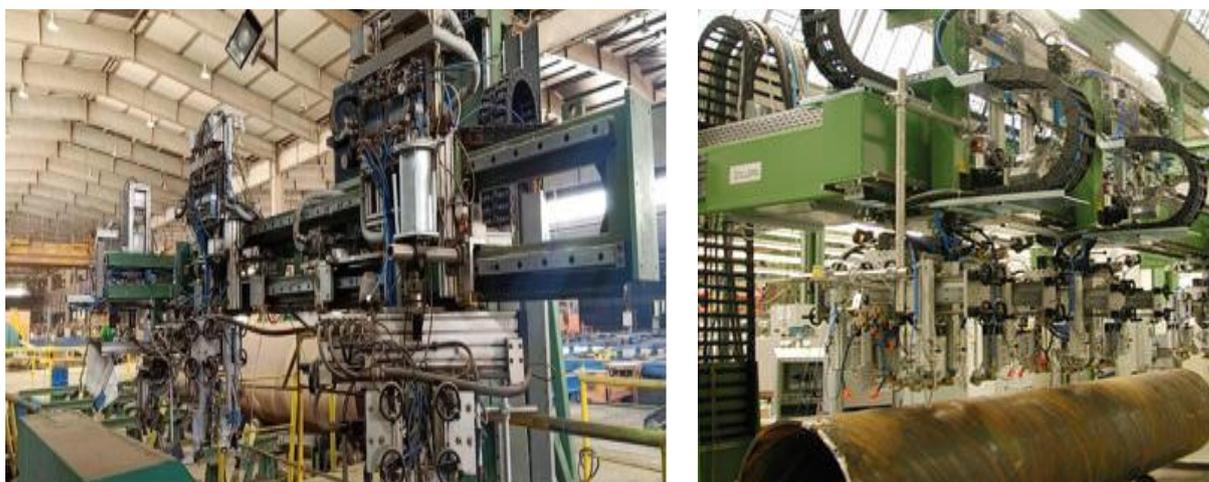
### III.5.1. Contrôle Par Ultrasons

La surveillance interne de la qualité de la soudure spirale a lieu immédiatement après le soudage à l'aide d'installation automatique. Ils existent deux examens aux ultra-sons, l'un est fait pour le contrôle de la soudure, l'autre est fait pour le contrôle et la détection des dédoubleurs.



**Figure III.6** examen ultra-sons.

### III.5.2. L'appareil à ultrason



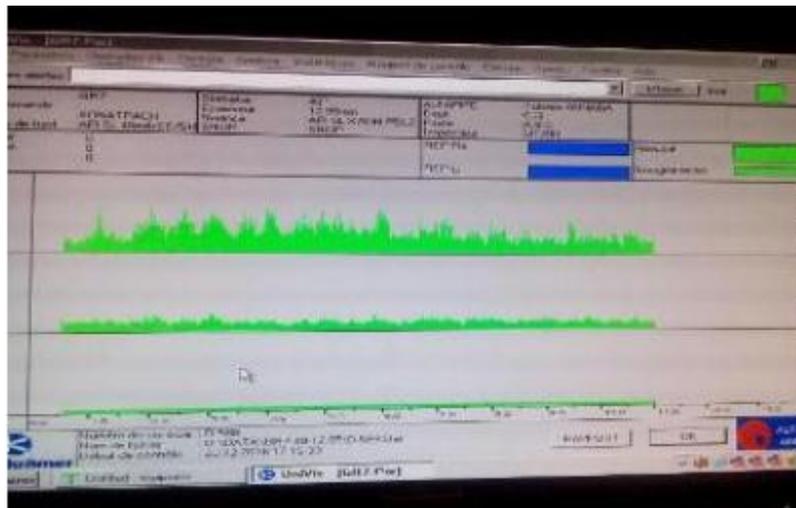
**Figure III.7** Détecteur automatique à ultrasons.



**Figure III.8** Détecteur à ultrasons manuel.

### III.5.3. Détection des défauts des tubes

- L'affichage des défauts de soudure détecté par ultrason :



**Figure III.9** Tube sans défaut

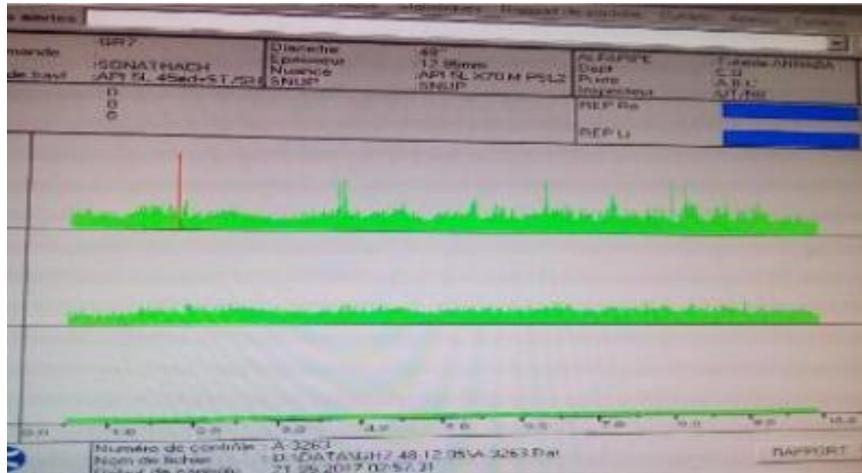


Figure III.10 Tube avec défaut



Figure III.11 tube avec plusieurs défauts.

### III.6. Conclusion

La science des ultrasons est aujourd'hui le fruit de l'union de l'électronique moderne et de l'acoustique, Le contrôle par ultrasons est une méthode technologique efficace. Grâce aux caractéristiques des ultrasons on peut avoir beaucoup d'informations sur les propriétés des matériaux. Dans ce chapitre, on a donné une vue générale sur les notions de base de la propagation ultrasonore afin de mettre en évidence leur utilisation dans le contrôle non destructif des matériaux.

Le contrôle par ultrasons est fréquemment utilisé car il présente de nombreux avantages tels que la facilité de mise en œuvre, la possibilité de travailler sur une seule face de la pièce à contrôler (pas besoin d'un accès à la deuxième face), et la capacité à traverser d'importantes

**CHAPITER III : L'étude théorique de l'échographie et de son application dans L'industrie**  
épaisseurs de matière en fonction de la fréquence de travail. De plus, l'existence de relations entre la matière de propagation des ultrasons et les caractéristiques du matériau permet sa caractérisation. L'utilisation des ultrasons offre donc la possibilité, sans aucune détérioration.



## **CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.**

## IV.1. Introduction

Le contrôle par ultrasons est un procédé de contrôle non destructif consistant à engendrer une impulsion ultrasonore dans le matériau et à observer les échos éventuels réfléchis par les discontinuités rencontrées. La connaissance de ce procédé implique les analyses suivantes :

- Etude de la propagation des ondes ultrasonores,
- Etudes de l'appareillage permettant l'émission d'impulsions ultrasonores, la réception et l'observation des échos,
- Etudes des principes généraux du contrôle par ultrasons,
- Etudes des principes particuliers propres aux différents types de produits industriels.
- Ce travail pratique consiste à détecter, mesurer et identifier un défaut à l'intérieur d'un cordon de soudure d'une canalisation en acier au carbone en utilisant le contrôle par ultrasons.



**Figure IV.1** Une virole découpée à partir d'un tube.



(A)



(B)

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

**Figure IV.2** Prélèvement des plaques : (a) en métal de base transversale par rapport au virole et (b) transversales au cordon de soudure.



**Figure IV.3** (a) Plaque "1" totalement en métal de base (b) Plaque "2" contenant le cordon de soudure.

L'acier étudié, est prélevé à partir d'un tube en acier de type API 5L X70 PSL2 SAWH destiné pour la canalisation du gaz naturel pour le projet GR7. Les significations de ces dernières désignations sont comme suit :

- **API:** American Pétroleur Institute;
- **5L:** Spécification pour le pipeline;
- **X :** Désignation de catégorie pour le pipeline de haute résistance ;
- **PSL2:** les spécifications sont sous forme des intervalles;
- **SAWH:** Submerged Arc Wilding Helical.

Le chiffre après le "**X**" correspond à la valeur de la limite d'élasticité minimale. Par exemple **X70** a une limite d'élasticité minimale de **70 ksi (Min=485 Mpa)** [13].

L'épaisseur nominale du tube étudié est 12.95 mm et de diamètre 48"(1219.2mm) avec une longueur variable.

### Remarques générales

- Selon la norme API 5L les éprouvettes doivent être préparées conformément à la norme ASTM A 370.
- L'exécution des essais est suivant la norme API 5L.

## IV.2. Classement des aciers utilisés dans la fabrication des tubes spiralés

Du fait du nombre élevé d'éléments ajoutés au fer et de la gamme étendue de leur teneur, les aciers présentent un très grand nombre de nuances différentes. On peut classer les divers types d'alliages à base de fer selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation.

L'adoption de cette dernière nous permet de recenser quatre familles d'aciers [15] :

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

Dans notre étude on s'est intéressé aux aciers au carbone, utilisé pour la fabrication des tubes.

## IV.3. Les aciers ordinaires ou aciers au carbone

Les aciers ordinaires sont des aciers standards d'usage général qui sont parfois improprement appelés aciers au carbone. Ils sont utilisés tels quels, sans traitement ultérieur, constituent environ 80 % de la production des aciers (**Tableau IV.1**). Outre le carbone, ces aciers contiennent des éléments d'addition et des impuretés dont la présence découle de leur mode d'élaboration : manganèse (1.2 %), silicium (0.6 %), soufre (0.06 %), phosphore (0.06 %). Ces pourcentages présentent les teneurs limites de ces éléments dans ces aciers

**Tableau IV.1** Aciers ordinaires ou aciers au carbone non alliés.

Nuance	Pourcentage de carbone(C)	Résistance $R_m$ (Mpa) Etat recuit	Emplois
Extra-doux	$C < 0.15$	330-420	Tôles pour carrosserie, feuillards, quincaillerie Pièces de forge
Doux	$0.15 < C < 0.20$	370-460	Charpente métalliques, profiles, construction mécaniques, courante, boulons, fils ordinaire
Demi-doux	$0.20 < C < 0.30$	480-550	Pièces de machines pour application mécaniques Pièces ou bâtis moulés,

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

			pièces forgées
Demi dur	$0.30 < C < 0.40$	550-650	Petites outillage, éléments de machines agricoles, organe de transmission
Dur	$0.40 < C < 0.60$	650-750	Pièces d'outillage d'armement, glissières, rails et bandages, ressorts, coutelleries, pièce moulées et traités
Extra dur	$0.60 < C$	< 750	Outils d'usinage et découpe, câbles, ressort

Bien qu'on puisse les obtenir avec des propriétés mécaniques variées, les aciers ordinaires ne répondent pas à toutes les exigences d'utilisation. Les principales propriétés des aciers au carbone susceptibles d'être améliorées sont les suivantes :

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

### IV.3.1. Spécification Techniques De Tube En Spirale

❖ Tube Gaz et Pétrole selon API 5L :

**Tableau IV.2** Spécification Techniques De Tube Gaz et Pétrole selon API5L

Diamètre extérieur	Epaisseur	Longueur unitaire
20" à 64"	7,92 à 14,30 mm	8 à 12,5 m

**Tableau IV.3** Spécification Techniques De Tube Gaz et Pétrole selon API 5L.

Grade de l'acier	Limite élastique E 0,2 MPA	Résistance à la rupture MPA
X42 M	290	415
X46 M	320	435
X52 M	360	460

CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

<b>X56 M</b>	390	490
<b>X60 M</b>	415	520
<b>X70 M</b>	485	570

❖ Tube hydraulique selon API 5L Constructions pipeline :

**Tableau IV.4** Spécification Techniques De Tube hydraulique selon API 5L

<b>Grade de l'acier</b>	<b>Tube hydraulique</b>	<b>Tube de construction</b>
A partir du grade B Jusqu' à X70 M PSL 1 et PSL 2	Réemploi pour les usages dans le secteur de l' eau avec un profil d' utilisation : - Résistance à des pressions jusqu' à 45 bars et plus sur commande. - Protection intérieure et extérieure santé corrosion de qualité. - Longue durée de vie.	Réemploi pour les activités du BTP (poteaux, pieux battus pour fondation)

#### IV.4. Composition chimique des aciers X70 utilisés dans ce travail

Le matériau de notre étude est un acier au carbone manganèse utilisé pour le transport des hydrocarbures sous une pression de service de 70 bars de dénomination APIX70, et répond à la spécification imposée par la norme API5L.

À l'aide d'un spectromètre à flamme, la composition chimique de cet acier a été déterminée. Le **tableau IV.5** représente la composition chimique de l'acier utilisé. La composition telle qu'elle ressort des analyses sur coulée est conforme aux exigences de la norme indiquées au **tableau IV.6**.

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

<b>Eléments</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Al</b>
<b>l'acier grade API X70</b>	0,0844	0,374	1,665	0,0131	0,0064	0,0475	0,0068	0,031	0,0393

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

Co	Cu	Nb	Ti	V	W	B	N	Fe	CE
0,0098	0,0193	0,0515	0,007	0,0874	0,007	0,0014	0,0014	97,4	0,200

**Tableau IV.6** Exigence de la composition chimique pour analyse nuance X70 [14].

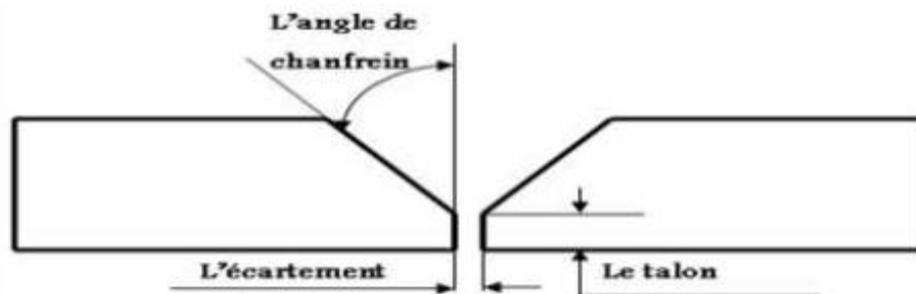
/	C	Mn	Si	Ni	Mo	S	Cu
<b>Min</b>	0.050	1.000	0.150	-	-	-	-
<b>Max</b>	0.140	1.700	0.350	0.250	0.250	0.005	0.080

/	V	Nb	Al	B
<b>Min</b>	-	-	0.010	-
<b>Max</b>	0.080	0.040	0.040	0.020

### IV.5. Application d'essai d'ultrason de tube en spirale de CND

#### IV.5.1. La réalisation du cordon de soudure

Le chanfrein a été crée en utilisant une meule électrique, afin de faire une ouverture dans le corps du tube en forme V.



**Figure IV.4** le croquis du chanfrein.

- Ecartement des bords : 4mm
- Angle du chanfrein : 40°
- Talon : 3 mm.



**Figure IV.5** Une virole découpée à partir d'un tube.



**Figure IV.6** Illustration microscopique des zones existantes sur une éprouvette contenant le cordon de soudure.



**Figure IV.7** préparation du chanfrein



Figure IV.8 Plaque en acier assemble par soudage.

#### IV.5.2. La création du défaut

Pour la création d'une hétérogénéité (Discontinuité) à l'intérieur de la soudure, nous avons mis un morceau de tungstène comme il est montré dans les **figures (IV.8., IV.9.)**.



Figure IV.9 la vue en coupe de la pièce.

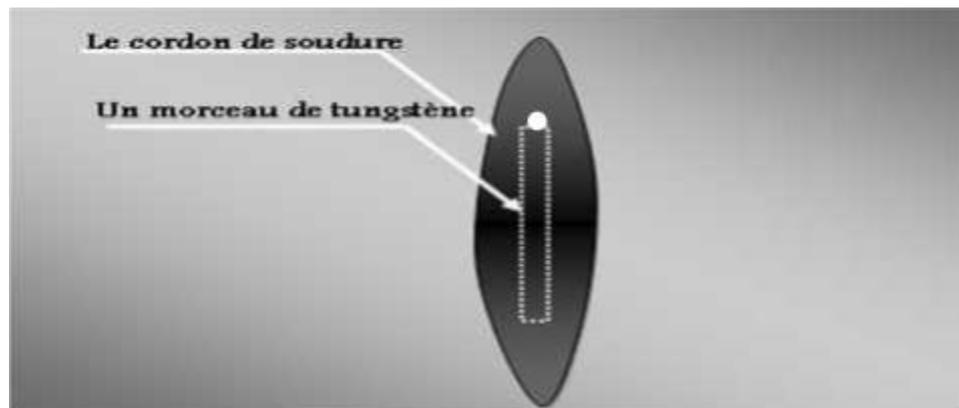


Figure IV.10 la vue en dessus de la pièce.

#### IV.5.3. Les procédés du soudage utilisés

Pour remplir le chanfrein crée, nous avons utilisé deux procédés de soudage :

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

- **TIG (Tungsten inert gas)** : ce procédé est utilisé pour le soudage de la 1ère passe et pour couvrir le morceau de tungstène.
- **SMAW (Shielded Metal Arc Welding)** : Ce procédé est utilisé pour le soudage des autres passes (Bourrage et Finition)



**Figure IV.11** le procédé TIG.



**Figure IV.12** le procédé SMAW

### IV.6. préparation du contrôle

avant d'entamer le contrôle il faut bien choisir la procédure de contrôle, elles existent plusieurs procédures selon le type de contrôle et le niveau d'inspection et le critère d'acceptation.

notre procédure dans ce travail pratique consiste à décrire les étapes suivantes :

- Le choix de la méthode d'évaluation.
- L'adoption de la méthode cascade pour le déroulement de contrôle.
- L'étalonnage de l'appareillage.
- Les critères du pouvoir réfléchissant.
- Méthode de dimensionnement.

#### IV.6.1. Le choix de la méthode d'évaluation

- Pour le présent travail nous allons exposer trois méthodes d'évaluation, chacune donne une probabilité différente de détection des défauts. [16].
- Ces méthodes permettent l'évaluation des défauts vis-à-vis des critères d'acceptation par l'une des techniques suivantes :

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

---

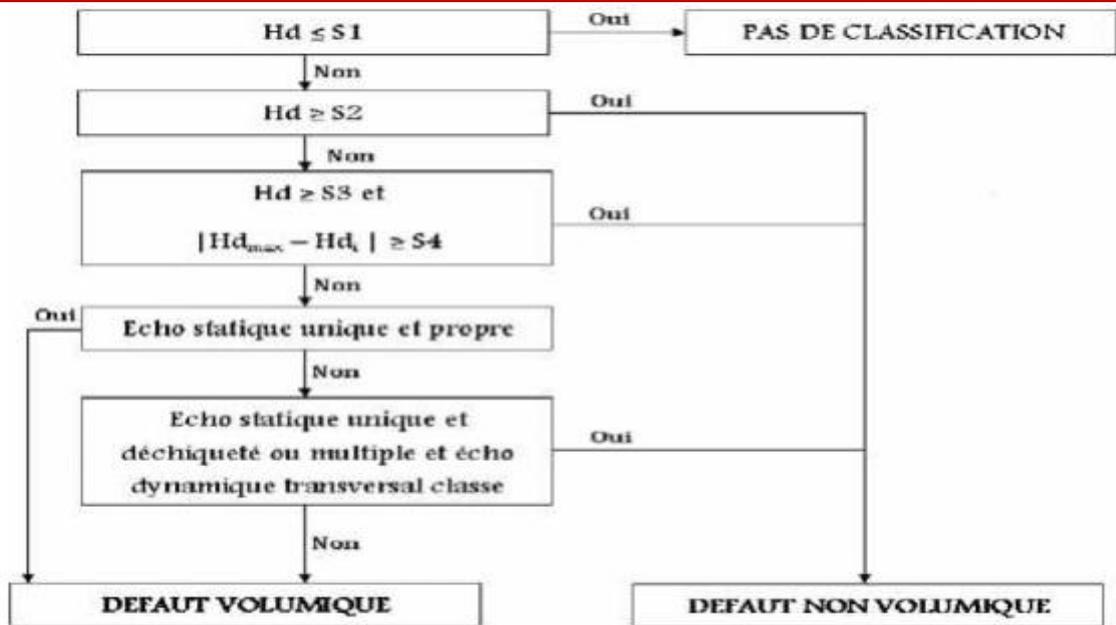
- a. Evaluation basée sur l'amplitude du signal de l'indication et sur sa largeur.
- b. Evaluation basée sur l'amplitude du signal de l'indication, sa classification (Volumique, Non volumique) et sa largeur.
- c. Dans le cas particulier par exemple de l'application de l'aptitude à l'emploi, la deuxième technique sera complétée par une appréciation de la hauteur du défaut si celui-ci a été classé non volumique.

### IV.6.2. La méthode de cascade

La classification effectuée résulte de l'application en cascade de plusieurs critères discriminatoires [16] :

- Pouvoir réfléchissant.
- Réflectivité directionnelle.
- Allure de l'écho (A-SCAN).
- Comportement dynamique de l'écho.
- La procédure « cascade » est interrompue dès que l'un des critères est satisfait.  
A contrario, lorsque l'un des critères n'est pas satisfait, on passe à l'étape suivante.
- Les angles nominaux des traducteurs utilisés pour la classification sont à priori les mêmes que ceux spécifiés pour la détection.
- La procédure cascade codifie une approche industrielle et définit des valeurs seuils en décibels (dB), soit par rapport à la courbe amplitude distance (CAD), soit entre différentes incidence de contrôle.
- Le niveau d'évaluation ainsi que le diamètre du trou du bloc de référence à utiliser sont définis par avance.
- Les valeurs seuils à utiliser dépendent du diamètre du trou des blocs de référence. Dans notre cas nous avons utilisé un bloc de référence dont le diamètre de trou  $\varnothing = 1,5$  mm, dont on utilisera les valeurs seuils mentionnées sur « l'organigramme IV.2 »

CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.



Organigramme IV.1 synoptique de la procédure cascade .

- La procédure cascade comporte cinq étapes ayant chacune un rôle bien défini :
- 1ère étape : Eviter de prendre en considération les indications peu réfléchissantes.
- 2ème étape : Toutes les indications fortement réfléchissantes sont considérées comme des défauts non volumiques.
- 3ème étape : Caractérisation préférentielle des manques de fusion sur chanfrein, entre passes ou collage inclusionnaire.
- 4ème étape : Caractérisation préférentielle de certaines inclusions.
- 5ème étape : Caractérisation référentielle des fissures. Note :
- Les défauts « hybrides », c'est-à-dire résultant de l'association d'un manque de fusion et d'une inclusion sont caractérisés en défaut non volumiques par la procédure cascade.
- On note |S4| la valeur absolue de S4.

S1	S2	S3	S4	Echo dynamique
Niveau d'évaluation	CAD +8 dB	CAD -2 dB	$\Delta H_d = 9 \text{ dB}$ $\Delta H_d = 15 \text{ dB}$	VARIAL

- a. (S1 = niveau d'évaluation) : le niveau d'évaluation est fixé généralement avant d'entamer le contrôle, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de classification si l'amplitude

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

---

de l'écho est en dessous de cette valeur (sauf spécification contraire dans la procédure).

- b. ( $S_2 = CAD + 8\text{dB}$ ) : si l'écho de défaut est deux fois et demi plus réfléchissant que la CAD prise comme référence, le défaut est classé non volumique.
- c. ( $S_3 = CAD - 2\text{dB}$ ) : si le pouvoir réfléchissant atteint au moins 80% de la CAD prise comme référence et s'il existe un déséquilibre de réflectivité égal au moins à  $S_4$  alors le défaut est classé non volumique
  - Avec  $S_4 = 9\text{ dB}$  pour les ondes transversales à 4 MHz.
  - Avec  $S_4 = 15\text{ dB}$  entre une incidence en ondes transversales et une incidence en ondes longitudinales
  - Les incidences  $i$  de contrôle utilisées sont séparées d'au moins  $10^\circ$ . Les comparaisons doivent être effectuées sensiblement dans la même zone du défaut.
    - d. Prise en compte des comportements les plus pénalisants. Le diagnostic doit être redondant pour au moins 2 incidences de contrôle.
    - e. Si l'écho dynamique n'est pas VARIAL, le défaut est classé volumique, le défaut est classé volumique (VAROUL, CLOCHE).

**Nota importante** : les valeurs mentionnées sur la présente figure sont à utiliser lorsque les échos de référence sont obtenus sur des génératrices d'un diamètre de 1,5 mm.

### IV.6.3. L'étalonnage de l'appareillage

En métrologie, l'étalonnage est une opération qui concerne les appareils de mesure ou de restitution de données. Deux appareils différents de conception différente, mais aussi deux appareils de la même gamme (même marque, même modèle) ne réagissent pas exactement de la même manière. Il faut donc une procédure permettant d'obtenir le même résultat à partir de la même situation initiale. [17].

#### IV.6.3.1. Le matériel utilisé

- ❖ Appareil à ultrasons : **D-10+ numérique.**  
Producteur : **Sonatest « France »**
- ❖ Traducteurs : -palpeur droit « OL »,  $\varnothing 10$ , 4MHz.  
-palpeur à angle « OT », «  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  », 4MHz,  $8 \times 9$
- ❖ Blocs d'étalonnages : V1 type B.

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

- ❖ Blocs de référence : ce sont des blocs réalisés dans un matériau présentant des caractéristiques acoustiques voisines, qui présentent des réflecteurs artificiels tels que :
  - des trous cylindriques à fond plat,
  - des génératrices de trous cylindriques,
  - des rainures ou entailles.



Figure IV.13 matériel utilisé.

### IV.6.3.2. L'étalonnage de la base du temps

L'étalonnage de la base de temps de l'appareil de contrôle a pour but d'établir une correspondance entre la position d'un écho en nombre de carreaux sur l'écran et le parcours (en mm) de l'onde ultrasonore entre le point d'entrée dans la pièce et le réflecteur qui est à l'origine de l'écho. (Aller simple).

L'étalonnage prend en compte un « aller simple » de l'onde dans la pièce pour faciliter l'interprétation et le positionnement ultérieur, mais en réalité l'onde fait un « aller-retour », c'est-à-dire le double parcours. [11]

Il y a deux réglage successifs sont à prévoir pour l'étalonnage de la base du temps :

1. Réglage qui prend en compte les caractéristiques du matériau et l'échelle choisie : ce réglage permet d'étaler plus ou moins l'échelle horizontale pour aboutir à une échelle représentative en mm par carreau.
2. Réglage qui prend en compte les caractéristiques du transducteur et couplage : ce réglage permet de compenser le temps de parcours préliminaire dans le transducteur afin que la

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

position zéro corresponde à un parcours sonore (PS) nul (entrée de l'onde dans le matériau).

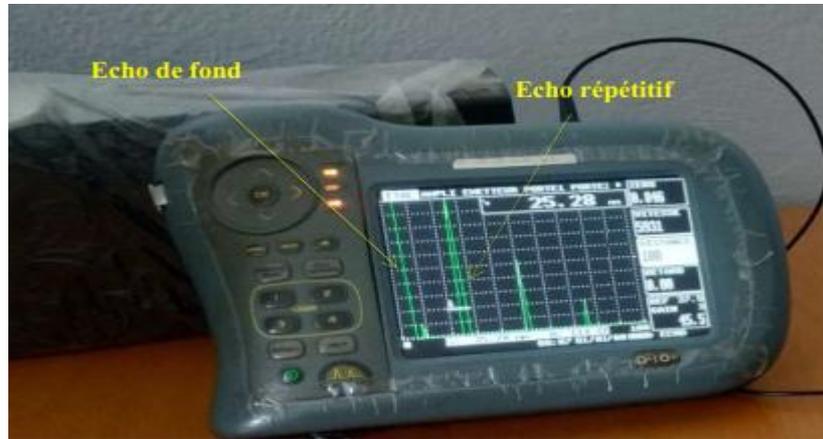


Figure IV.14 Matériel utilisé.

### IV.6.3.3. Vérification du pouvoir de résolution

Le pouvoir de résolution est relié non pas au palpeur simplement mais à l'appareillage à ultrason tout entier (à la chaîne de contrôle : appareil, câble, palpeur). Un appareillage à ultrason possède un bon pouvoir de résolution si l'on peut observer sur l'écran deux échos nets et bien séparés correspondants à deux obstacles proches l'un de l'autre sur l'axe du faisceau.

La position « H » du palpeur sur le bloc d'étalonnage N°1 sert au contrôle du pouvoir de résolution lequel est d'autant meilleur que les trois échos obtenus sont nettement séparés les uns des autres.[17],[11].

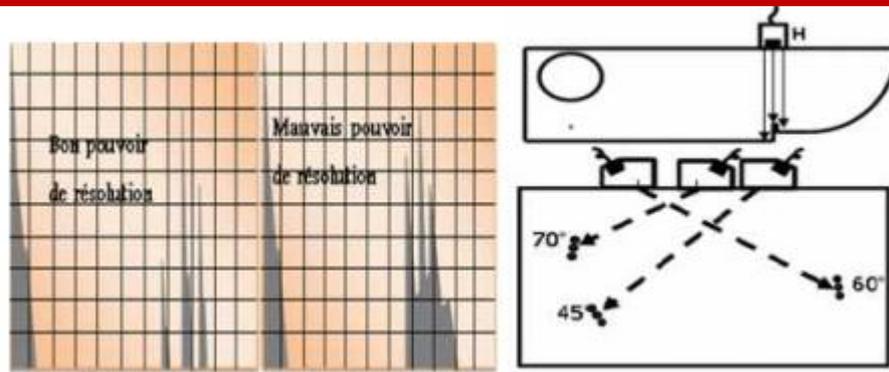


Figure IV.15 vérification du pouvoir de résolution.

Selon la norme : (NF A 09 320) : échelle : 100 mm (Acier), 2ème et 3ème écho à 80% de la hauteur de l'écran et mesure de la largeur du 1er écho à 20% de la hauteur. Si la largeur  $\leq$  6mm (acier), alors le, pouvoir de résolution est bon, sinon nous avons un mauvais pouvoir de résolution.



Figure IV.16 résolution obtenue par un palpeur droit.

#### IV.6.3.4. Vérification de la linéarité horizontale et verticale

- **Linéarité horizontale** : Les échos de fonds répétitifs sont équidistants sur les graduations correspondantes théoriquement avec une tolérance maximale de 1% de la longueur graduée de l'écran.



Figure IV.17 vérification de la linéarité horizontale.

- **Linéarité verticale :** Prenant un écho quelconque et on l'amplifie par + 6 dB, si le pourcentage de son amplitude se double sur l'écran avec une tolérance de 2%, c'est-à-dire nous avons une bonne linéarité verticale.



Figure IV.18 vérification de la linéarité verticale.

#### IV.6.3.5. Vérification des caractéristiques des palpeurs

A) Palpeur droit :

a) Détermination de la zone de silence ou la zone morte :

La plus petite distance au-dessus de laquelle un réflecteur donné ne fournit plus un écho net est bien séparé, de l'impulsion initiale détermine (zone morte).

Pour déterminer la zone morte de notre palpeur droit nous avons utilisé une cale à gradins. «t» correspond à la durée de l'émission. Pendant ce temps, tout écho correspondant à un

#### CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

défaut ne sera pas visualisé, donc non détecté, puisque son écho sera superposé à celui de l'émission. « ZM » la zone morte (ou zone de silence) peut être assimilée à une distance.

La détermination de cette zone est donc nécessaire avant tout contrôle avec un « palpeur droit », afin de connaître avec précision l'étendue du contrôle.

Il suffit de mettre le palpeur sur une position « P » de la cale à gradins correspondante à une épaisseur « e », puis voir si l'écho de ce réflecteur est séparé du signal d'émission, on déplace le palpeur sur une position « P' » correspondante à une épaisseur « e' » inférieure à « e » et ainsi de suite jusqu'à une position correspondante à une épaisseur minimum où l'écho du réflecteur arrive presque à toucher le signal d'émission. Et on dit que la zone de silence est égale à cette épaisseur minimum.



A) Palpeur Droit

NB : Si un contrôle à 100% de la pièce est exigé, c'est un examen près de la surface doit être effectué alors un « relais » peut être adapté au palpeur ou la technique par immersion doit être adoptée. [17], [11].

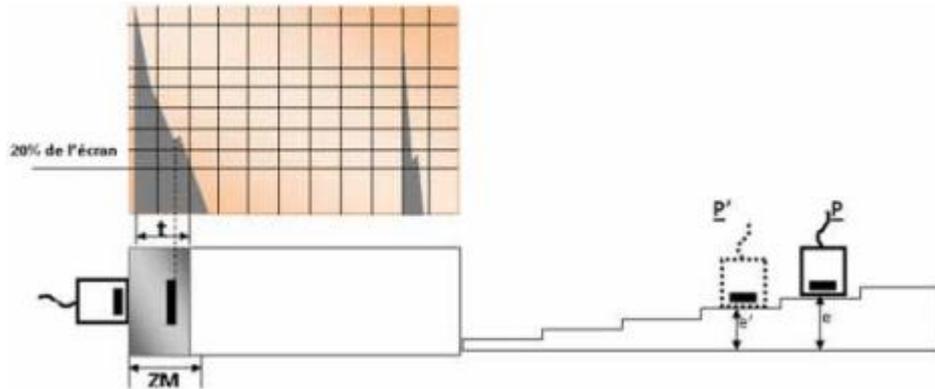


Figure IV.19 détermination de la zone morte.

Pour notre palpeur la zone de silence égal à 4mm.

- Placez le palpeur au le premier emplacement pour vérifier la zone de silence

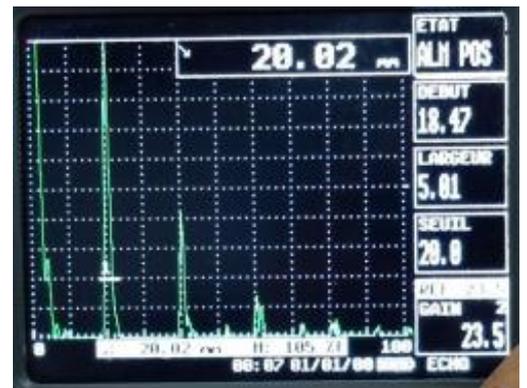


Figure IV.20 détermination de la zone morte de notre palpeur.

- Placez le palpeur au deuxième emplacement pour vérifier la zone de silence



Figure IV.21 détermination de la zone morte de notre palpeur.

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

### B) Palpeur d'angle :

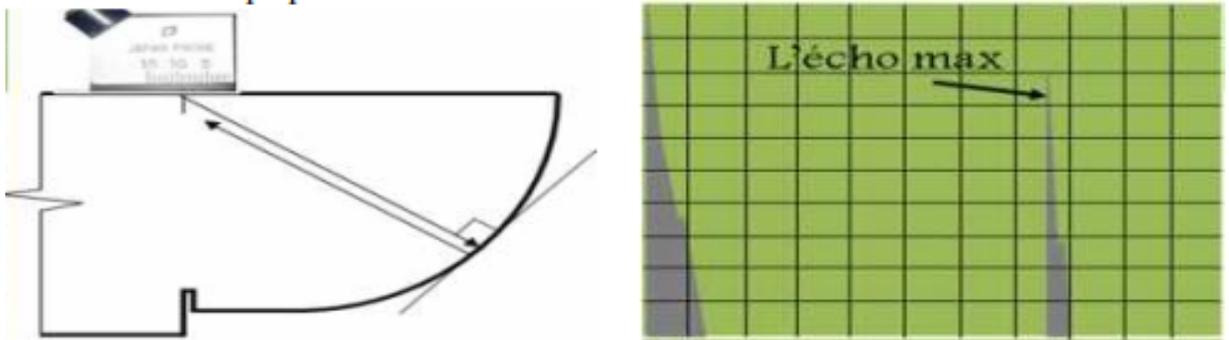


### B) Palpeur Angle

#### ❖ Déterminer le point d'occurrence (ou occurrence) :

Lorsque l'écho atteint son maximum d'amplitudes, le « point d'émergence » du faisceau ultrasonore coïncide avec le centre de l'arrondi de (rayon=100mm) exactement. [11].

On peut lire la graduation qui correspond sur face latérale du palpeur



**Figure IV.22** détermination du point d'émergence.

Dans notre cas nous avons trouvé les points d'émergences suivantes :

- Palpeur (OT 45°) : PE=8.5mm.
- Palpeur (OT 60°) : PE=9mm.
- Palpeur (OT 70°) : PE=12mm.

Avec : « PE » : le point d'émergence

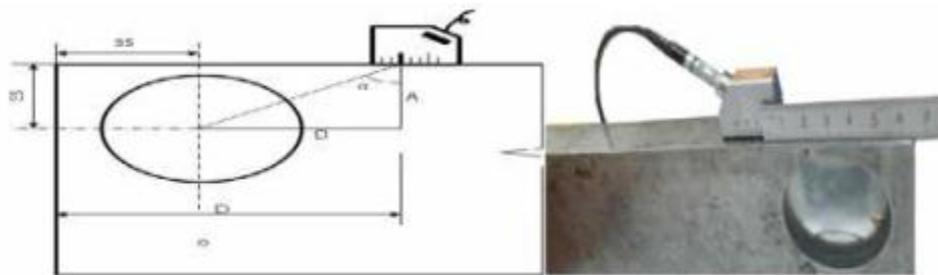
## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.



**Figure IV.23** Position de point d'émergence.

### ❖ Détermination de l'angle de réfraction :

Lorsque l'écho atteint son maximum d'amplitude le prolongement de l'axe du faisceau passe exactement par le centre de l'arrondi de diamètre ( $d=50\text{mm}$ ). [11]



**Figure IV.24** détermination de l'angle de réfraction.

L'angle de réfraction peut être calculé à l'aide de la formule :

$$\tan(\alpha) = \frac{B}{A}$$

car la lecture directe sur la cale est souvent imprécise puisque les graduations sont inscrites de  $5^\circ$  en  $5^\circ$ . ( $D$  est mesuré à l'aide d'un réglet,  $B = D - 35$  ;  $A = 30$ ).

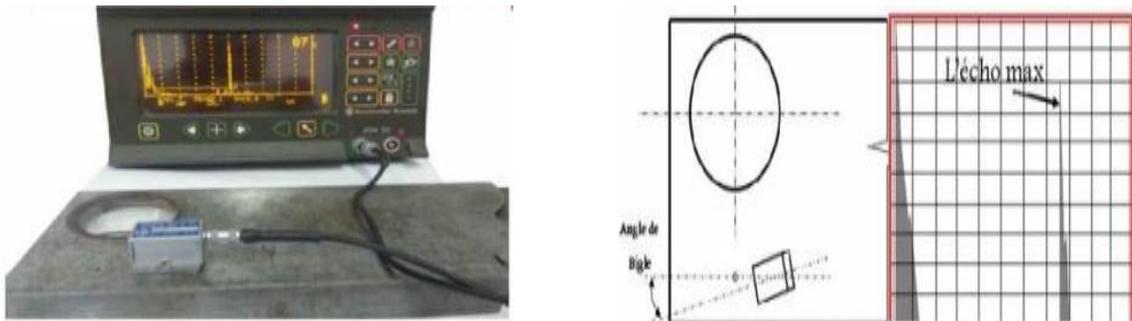
- Palpeur (OT  $45^\circ$ ) :  $d=67\text{mm}$ ,  $B=32\text{mm}$ ,  $\alpha=46.84^\circ$
- Palpeur (OT  $60^\circ$ ) :  $d=84\text{mm}$ ,  $B=49$ ,  $\alpha=58.93^\circ$
- Palpeur (OT  $70^\circ$ ) :  $d=118\text{mm}$ ,  $B=83\text{mm}$ ,  $\alpha=70.12^\circ$

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

### ❖ Vérification de l'angle de bigle :

Ce contrôle a pour but de vérifier que l'axe du faisceau US est dans le plan médian vertical du traducteur.

- Palpeur placé en position montrée dans la figure – sur le bloc d'étalonnage N°1.
- Face avant du palpeur dirigée vers le trou de diamètre 1,5mm.
- Recherche de la réflexion maximale du coin du trou.
- En l'absence de « Bigle » l'axe du traducteur passe par le centre du trou.
- L'angle maximal de « Bigle » formé par l'axe du traducteur et la droite qui joint le point d'incidence au centre du trou de diamètre 1,5 mm ne doit pas dépasser  $2^\circ$  [11].



**Figure IV.25** vérification de l'angle de bigle.

### IV.6.3.6. Traçage de la courbe amplitude distance (CAD)

La courbe de correction amplitude-distance (DAC) sert à tracer la variation d'amplitude des réflecteurs de la même taille situés à des distances différentes de la sonde. Ces réflecteurs créent des échos dont l'amplitude dans le champ lointain diminue avec la distance en raison de l'atténuation et de la divergence du faisceau pendant son trajet à travers la pièce inspectée. La courbe DAC compense graphiquement l'atténuation du matériau, les effets du champ proche et la divergence du faisceau. Dans une configuration DAC, l'amplitude des échos provenant de réflecteurs de la même taille que les réflecteurs utilisés pour l'étalonnage correspondra à la hauteur de la courbe, peu importe la profondeur ou la distance. De la même manière, les réflecteurs plus petits ou plus grands que les réflecteurs utilisés pour l'étalonnage généreront des échos au-dessous ou au-dessus de la courbe.

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

Dans notre cas nous avons utilisé un réflecteur de 1.5mm de diamètre percé dans le bloc d'étalonnage pour tracer la CAD en utilisant 05 parcours sonores différents afin de tracer 05 points. [17], [18]

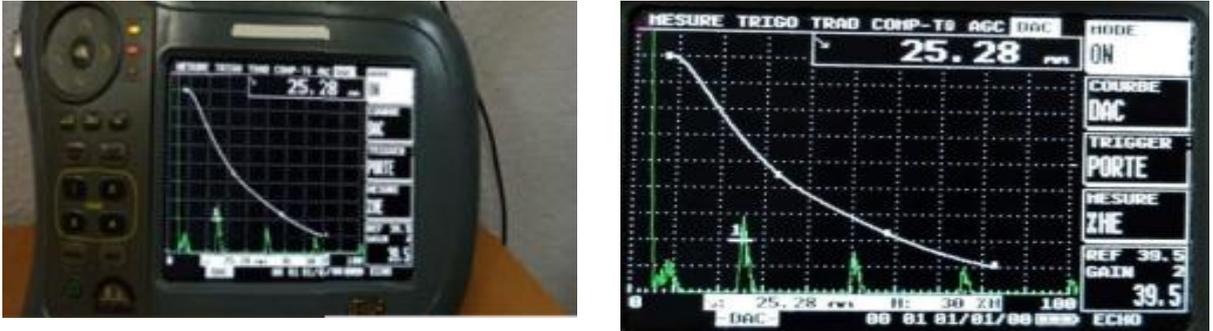


Figure IV.26 traçage de la CAD.

### Palpeur (OT 70°) :

$G=46\text{db}$

- Avec : « G » la valeur du gain en décibel.



Figure IV.27 onduleur utilisé 1.5.

### IV.6.3.7. Correction du transfert

La CAD ne peut être utilisée lors du contrôle d'une pièce que celle-ci atténue les ultrasons de même façon que la pièce de référence. Ce point doit être vérifié.

La correction de transfert fait appel à deux transducteurs d'angle identiques à celui utilisé pour tracer la CAD initiale, l'un travaillant en émetteur l'autre en récepteur. On utilise d'abord le bloc de référence. Les transducteurs sont placés en opposition, comme l'indique la figure, l'écho reçu par le transducteur récepteur est amplifié de façon à ce que son sommet soit sur la CAD déjà tracée sur l'écran, on place ensuite les deux transducteurs sur la pièce à contrôler [17].

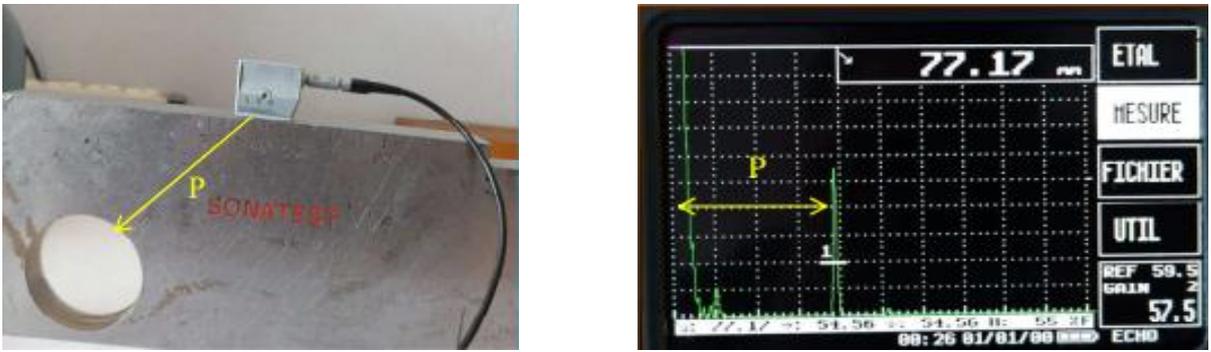
## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

- Amplification sur la référence **G1=15db**
- Amplification sur la pièce **G2=9db**
- $\Delta G=G1-G2=6db$

Le gain utilisé pour l'établissement de la CAD est 46db dans ce cas le nouveau gain est  $46+9=55db$ .

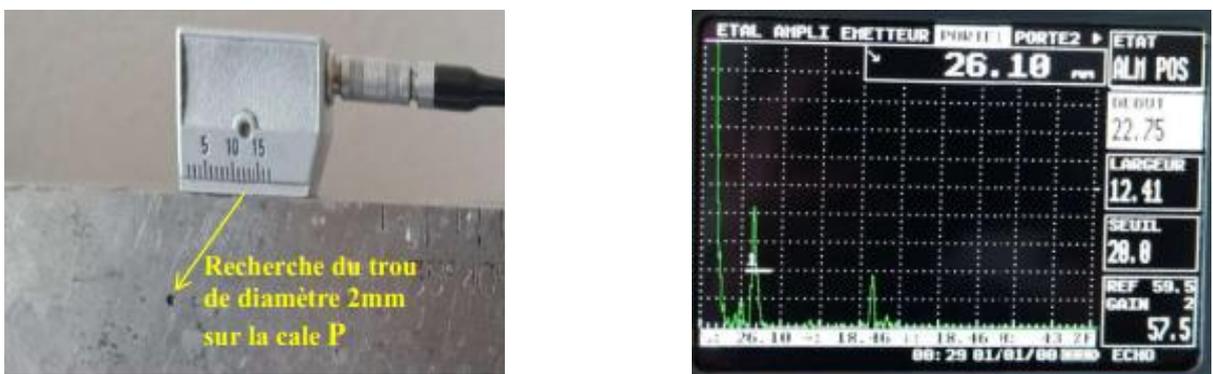
### IV.7. Détection de défauts dans le bloc étalon :

- Recherche d'un trou de diamètre 50mm sur la cale



**Figure IV.28** Recherche d'un trou de diamètre 50mm sur la cale.

- Le parcours ultrasonore  $P = 77.17mm$
  - La plage de mesure sur cadran 200mm (échelle 1 graduation=20mm)
  - Un pic apparaît à distance  $3.85 \times 20 = 77mm$
- Recherche du trou de diamètre 2mm sur la cale



**Figure IV.29** Recherche du trou de diamètre 2mm sur la cale.

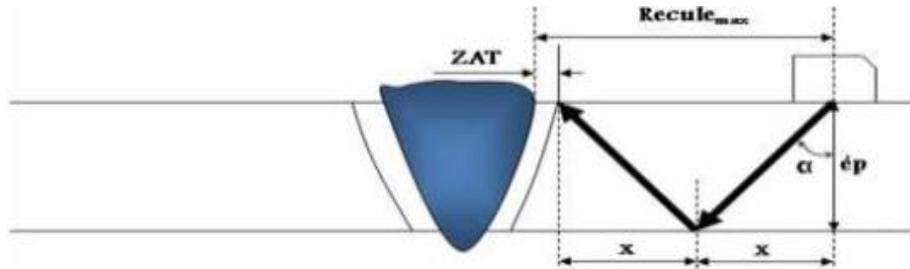
- Le parcours ultrasonore  $P = 26.10$  mm
- La plage de mesure sur cadran 200 mm (échelle 1 graduation=20mm)
- Un pic apparaît à distance  $1.3 \times 20 = 26$  mm

#### IV.8. Exécution du contrôle

Après avoir réussi à étalonner nous allons procéder au contrôle d'une pièce soudée, mais avant le commencement et afin de faciliter le travail il y a des paramètres à déterminer tels que le recule max et l'échelle minimale. [17]

##### 1) Le recule max :

C'est le point le plus loin du bord de joint qu'il va nous assurer de contrôler la soudure et la zone affectée thermiquement par un demi bond et un bond complet. [17].



**Figure IV.30** calcul de recul max.

$$R_m = x + x + Z = 2x + Z$$

$$x = ép * \tan(\alpha)$$

Donc :

$$R_m = 2 * ép * \tan(\alpha) + Z$$

Tel que :  $ép$  : c'est l'épaisseur de la pièce

$ZAT$  : généralement on la prend 10mm

Dans notre cas  $ép = 28.9$  mm,  $\alpha = 70.12^\circ$ ,  $ZAT = 10$  mm.

Donc :

$$R_m = 2 * 28.9 * \tan(70.12) + 10 = 169.84mm$$

2) L'échelle minimale (l'étendu) :

C'est le parcours sonore minimal à afficher sur l'écran de visualisation et il est défini par la relation suivante [17] :

$$Etendu = 1.25 * (\text{un bond complet})$$

$$\text{un bon complet} = 2 * y$$

Dons notre cas :

$$y = \frac{\acute{e}p}{\cos \alpha}$$

$$y = \frac{28.9}{\cos(70.12)} = 85mm$$

$$Etendu = 1,25 * 2 * 85 = 212.5 mm$$

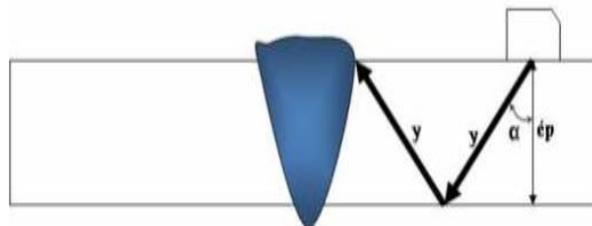


Figure IV.31 calcul de l'étendu.

3) vitesse de balayage :

En contrôle manuel, la vitesse de déplacement du traducteur est généralement inférieur à 150mm/s. [17]

4) Recouvrement :

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

Pour un contrôle à 100% d'une zone, le pas doit être, en général, inférieur ou égal à la largeur du faisceau à - 6db pour toute la profondeur explorée, avec un recouvrement de 25% minimum de la largeur du traducteur. [17]

### 5) Mouvement du palpeur

- Mouvement Zig zag : est une combinaison entre deux mouvement longitudinal et transversal, parallèle à l'axe de la soudure avec un pas ne dépasse pas la largeur du palpeur.
- Mouvement pivotant : des oscillations angulaires de « 10° à 15° » environ d'amplitude de chaque coté de l'axe de déplacement. [17]

## IV.9. Le travail de détection du défaut dans le cordon de soudure

### IV.9.1. Le matériel utilisé

Appareil à ultrasons USM 35

Caractéristiques de l'appareil à ultrason USM 35

Type de poste : Poste ultrasons type d'impulsion

- Marque : Ge
- Type : USM 35
- N de série : 14603 a
- Fréquence comprise entre 1 et 20 Mhz
- Calibration manuel
- Batterie rechargeable



**Figure IV.32** Appareil d'US d'USM 35.

- ❖ Palpeur Droit et Angle 70° technique par réflexion (E/R)

La figure suivante montre un palpeur droit et à angle de 70°.



B) Palpeur Angle



A) Palpeur Droit

**Figure IV.33** Différents palpeurs d'utilisés.

- ❖ Blocs d'étalonnages : ISO 7963 cales V2

Le bloc d'étalonnage ISO 7963 est représenté par la figure IV.34.



**Figure IV.34** Bloc étalonnage.

#### IV.10. Exécution du contrôle

Premièrement, nous avons fait l'étalonnage de l'appareillage USM 35 et palpeur

- ❖ Etalonnage et bloc d'étalonnage

Étalonnage de l'appareil en ondes transversales et longitudinal

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

En utilisant la cale V 2 universelle d'étalonnage 7963

Palpeur droit, 5MHz, pour l'étalonnage en angle longitudinal

Calibrage de palpeur d'angle (angle de faisceau, vérification du point émergent). Cale en Acier

Le palpeur {70°, 4MHz, 8\*9 pour l'étalonnage en angle transversal}.

### ❖ Étalonnage par palpeur droit



Figure IV.35 Étalonnage de l'appareil à ultrasons par palpeur droit.

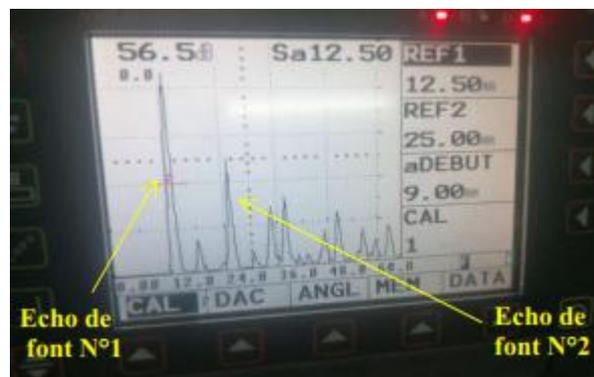


Figure IV.36 Echos reçus de l'échantillon d'acier.

### ▪ Palpeur droit :

La plage de mesure sur cadran 60mm (échelle 1 graduation=-6mm) Vitesse des US5960m/s  
Sur écran : La distance entre deux pics successifs est égale à 12mm,

### ❖ Étalonnage par palpeur angle :

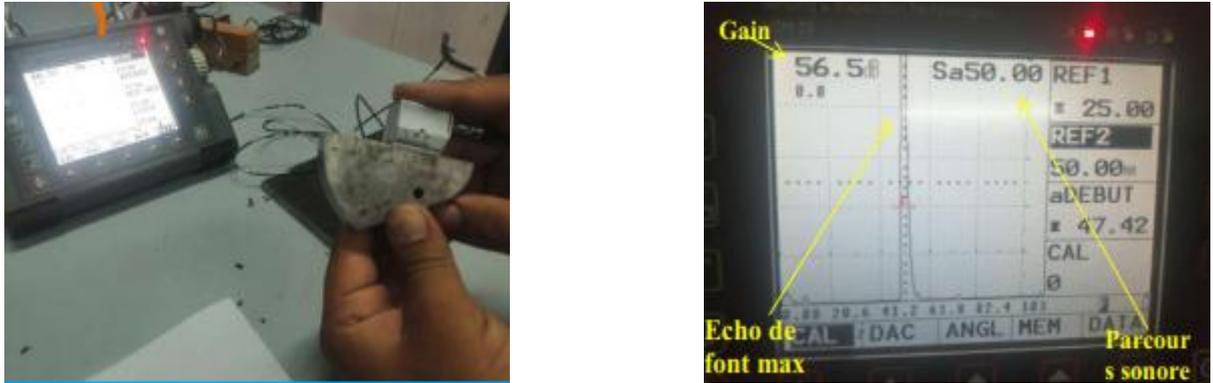


Figure IV.37 Étalonnage de l'appareil à ultrasons par palpeur angle.

- Palpeur angle :

La plage de mesure sur cadran 100mm (échelle 1 graduation=20mm) Vitesse des US3250m/s

Sur écran : La distance est égale à 50mm

#### IV.11. Caractérisation des indications



Figure IV.38 Balayage par palpeur droit.



Figure IV.39 photos pour un essai sans faute.

#### IV.11.1. Localisation et estimation des défauts

##### IV.11.1.1. Positionnement du défaut



Figure IV.40 Recherche du défaut.

#### IV.11.2. Évaluation du pouvoir réfléchissant

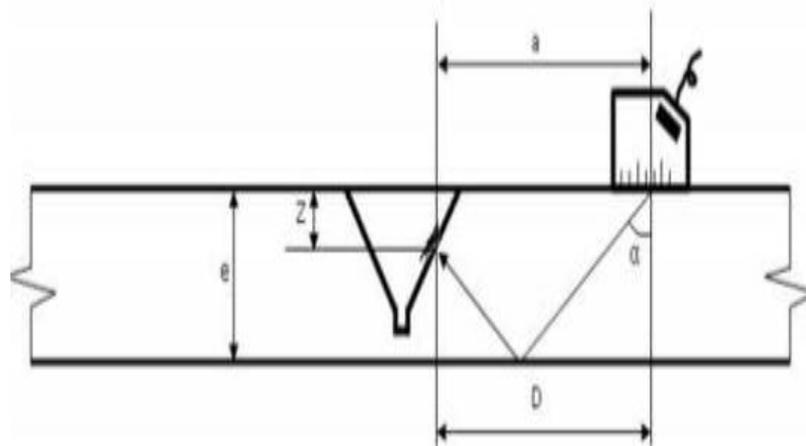
La hauteur maximale de l'écho de l'indication est comparée avec la CAD, on note ensuite la différence en db de l'indication du défaut par rapport à la CAD.



**Figure IV.41** évaluation du pouvoir réfléchissant.

Si le seuil de notation est atteint, et la différence par rapport a la CAD est de l'ordre 14db ,cette indication est consignée dans le rapport d'examen. [16].

### IV.11.3. Localisation du défaut



**Figure IV.42** localisation du défaut.

Lorsqu'un écho est apparu sur l'écran de l'appareil à ultrason :

- L'amplitude maximale est d'abord recherchée.
- Le parcours sonore est déterminé (lu directement sur l'écran de l'appareil)
- La cote « a » est mesurée du point d'émergence du transducteur à l'axe de la soudure.

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

- La cote « x » du point « 0 », début de palpé à l'axe géométrique du traducteur.

Ensuite la localisation, c'est à dire l'endroit exacte de l'indication dans le joint de soudure (cote « y » et « z ») est déterminée par calcul.

- **1er cas** : détection en 1/2 bond

$$D = PS * \sin(\alpha) , Z = PS * \cos(\alpha)$$

- **2em cas** : détection en bond complet

$$D = PS * \sin(\alpha) , Z = 2 * e - (PS * \cos(\alpha)) .$$

Le tableau en dessous montre les résultats obtenus

Tableau IV.7 résultats obtenus pour localier le défaut.

Position du traducteur		Mesure des cotes			
X1 mm	Y1 mm	Parcours sonore mm	a mm	D Mm	Z Mm
10	25	58	59	54.5	19.72
25.5	17	52	50	48.9	17.68
40	10	44	43	41.36	14.96
55	27	63	61	59.22	21.42
61	20	54	53	50.76	18.36

### IV.11.4. Dimensionnement de défaut

La longueur IX d'une indication est déterminée de façon conventionnelle par la distance qui sépare les deux positions de l'axe du traducteur pour lesquelles on constate un affaiblissement de Hd/2 correspondant à environ 6 décibels par rapport à la position donnant lieu à l'écho de défaut d'amplitude maximale. [17], [18].

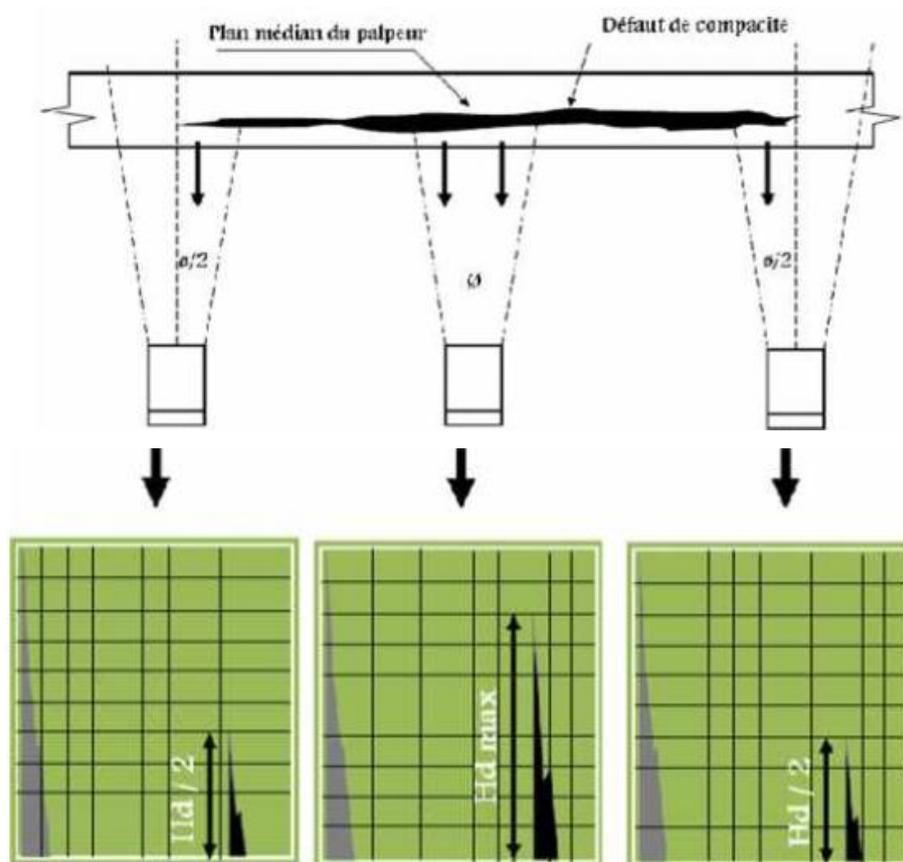
Toutefois deux cas particulier mettent cette règle générale en défaut :

- 1er Cas : l'écho de défaut Hd présente deux maxima séparés par une zone de réflexion moindre où la variation d'amplitude est supérieure à 6 dB.
  - **I1** et **I2** = longueurs apparentes.
  - **L** : longueur réelle > **I1** + **I2**

## CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

- 2ème : l'amplitude de l'écho de défaut présente une variation non monotone
  - **I** : longueur apparente < **L** : longueur réelle.

La longueur à utiliser pour appliquer les critères est la longueur cumulée résultant des investigations effectuées à l'aide des différents traducteurs et accès requis. [11], [19].



**Figure IV.43** Dimensionnement du défaut.

D'après les résultats obtenue le défaut est volumique de type inclusion solide « inclusion de tungstène » sa longueur est de 65mm.

### IV.12. Conclusion

L'utilisation de la méthode de contrôle par ultrasons est une bonne idée technologique, ces Propriétés peuvent détecter un nombre important des irrégularités Dans le matériau ou dans Un assemblage, ceci dépend fortement de la performance des équipements de contrôle.

#### CHAPITER IV : Étude expérimentale appliquée sur les joints soudés.

---

La méthode de réflexion est la méthode la plus couramment utilisée et la plus simple à mettre en œuvre. Un seul transducteur joue le rôle d'émetteur et de récepteur, les ondes ultrasonores sont émises de façon discontinue, entre deux émissions, le transducteur reçoit les ondes réfléchies.

Cette méthode permet de détecter un défaut à condition que celui-ci présente une surface réfléchissante normale au faisceau ultrasonore, avec un étalonnage correct de l'appareil de contrôle permet de déterminer la position du défaut dans l'épaisseur de la pièce.

Lors d'un contrôle en ondes transversales, il est possible d'utiliser un rebond sur la face opposée de la pièce et ainsi de changer l'angle d'incidence du faisceau par rapport au défaut (travail dans le bond)



# Conclusion générale

### Conclusion générale

Dans cette étude, nous avons d'abord expliqué les généralités de la technologie de fabrication des tubes filetés en acier, les caractéristiques des tubes utilisés et les principaux procédés de soudage pour leur assemblage...etc.

Nous avons également donné une définition générale de la maintenance industrielle, discuté de la maintenance corrective et évoqué les principales méthodes de contrôle non destructif.

Puis nous avons développé l'étude théorique des méthodes ultrasonores pour examiner les matériaux et les conditions de contrôle de ces méthodes.

Pour l'étude pilote, un défaut dans un cordon de soudure réalisé intentionnellement a été inséré dans un échantillon prélevé sur un tube métallique en acier au carbone. Nous avons utilisé deux des procédés de soudage à l'arc les plus courants dans l'industrie.

L'examen échographique de l'articulation reconstruite s'est déroulé en plusieurs étapes :

- ❖ Calibrer l'équipement et vérifier ses caractéristiques.
- ❖ Évaluer la force de la déflexion en utilisant la méthode en cascade pour déterminer la nature du défaut.
- ❖ Localisation des erreurs à l'aide de la méthode de calcul Erreur de mesure de -6 dB.

Les résultats obtenus sont concluants quant à l'importance des ultrasons pour l'examen des soudures.



## BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] (L.BENALI, 2832/2006) L.BENALI. (2832/2006). Maintenance Industrielle (5<sup>ème</sup> d'Ingénieurs en Génie Mécanique). Place centrale de Ben Aknoun (Alger): Office Des Publications Universitaires.
- [2] [F. Ly et Al, 1999] , Ly F., Simeu-Abazi Z., Leger J-B. (1999) ,Terminologie Maintenance: bilan Groupe de Recherche S.P.S.F., Institut pour la Maîtrise des Risques, Grenoble, 1999
- [3] [I. Rasovska, 2006] ,Ivana Rasovska. (2006) ,Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance Thèse doctorale. L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté
- [4] Wissem SLIMANE, « Conception d'un Système Multi-Capteurs à Courants de Foucault pour le Contrôle Non Destructif (CND), » Université de BATNA, Mémoire De Magistère 2008.
- [5] KHEBAL Merwane, DALI Abderrahmane, « contrôle Non Destructif par Flux de Fuite Magnétique Appliqué aux Pièces Ferromagnétiques, »Université de m'sila, mémoire de Master 2019
- [6] Ala-Eddine Lakhdari, "Etude et modélisation de capteurs en CND par courants de Foucault : application à la détection des fissures," mémoire de Master 2011
- [7] DUBRESSON (J.). – Caractéristiques dominantes et évolution des matériels de CND. Soudage et Techniques connexes nov. déc. 1991.
- [8] OUAMOUR ASMA, ZAMOUM AMINA, « Application de la méthode des éléments finis pour la simulation 3D d'un dispositif de détection de défauts dans les matériaux conducteurs, » Université de BOUMERDES, mémoire de Master 2019
- [9] Mouhoub SALHI, « Modélisation Electromagnétique des Capteurs à Fonctions Séparées dans les Dispositifs Axisymétriques de Contrôle Non Destructif par Courant de Foucault (CND-CF), » Université de Bejaia, mémoire de Magistère Magistère JUIN 2008

- [10] Formation Ultrason NIVEAU 2 professionnelle février 2009 société IS (institut de Soudure industrielle)
- [11] manuel pour l'examen par ultrasons des soudures, institut international de la soudure, commission V. 1978
- [12] Bouchefirat Messaoud, « Analyse spectrale en contrôle non destructif par Ultrasons», Année universitaire : 2018-2019, Université de Jijel
- [13] «Welding pressure pipelines & piping systems», Ed. The Lincoln electric company, 2000
- [14] AMARA ZENATI A., «Étude du comportement des aciers API 5L X60 sollicités par contraintes mécaniques et milieu de sol Algérien Simulé», Thèse doctorat en Génie Mécanique, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2013
- [15] ALFA PIPE: Rapport de stage, Les Normes De Fabrication De Tube, ALFA PIPE, 2009-2010
- [16] Recommandation concernant le contrôle manuel par ultrason des soudures a pleine pénétration. « Institut de soudure, IS/US/319.21 » (document A et B) [2<sup>ém</sup> édition 1995]
- [17] ultrasons techniques particulières de contrôle : Cahiers de formation CETIM [2<sup>em</sup> édition 1996].
- [18] cours théorique et pratique de l'ultrason : Programme de formation « Gtp ». [02/01/2008]
- [19] Brahim BENRAMDAN, "Contribution à la modélisation tridimensionnelle de la technique thermo-inductive de contrôle non destructif : Développement d'un outil de conception, d'analyse et d'aide à la décision", Thèse de Doctorat, Spécialité électrotechnique et génie électrique, Université de Nantes, 2009.
- [20] Le transport des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisation (J. VINCENT – GENOD) [1972]
- [21] Technologie de soudage (programme de formation GTP) [10/03/2003]