

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



## **Projet de Fin d'Etudes**

Pour l'obtention de Master en Génie Mécanique

Option : Matériaux et traitement des surfaces

Détection, localisation, dimensionnement et  
identification des défauts dans les joints soudés  
par ultrasons

Proposé:

Dr. BADIDI BOUDA ALI

Dirigé par:

Dr. DJILI SONIA

Mm : HANNACHE

Etudié et présenté par :

DJEBBARI KOUIDER

Année universitaire 2015/2016

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*Ma très chère mère, et mon très cher père, à leur grand sacrifice et le dévouement pour mon bonheur.*

*A mes frères et à toute ma famille.*

*Sans oublier mes grandes mères et mes grands pères.*

*A tous mes amis sans exception.*

*Et à toute la promotion de matériaux et traitement de surface 2016.*

*Mr : Djebbari Kouider.*

## ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو المراقبة بالموجات الفوق الصوتية القطع الملحومة، حتى يتم الكشف، و الموقع، والابعاد وتحديد العيوب المحتملة في شريط التلحيم، تم تأسيس العملية وفقا للمعايير الدولية لتحقيق هذه الدراسة.

## **Résumé :**

*Le but de cette étude est de contrôler par ultrasons les jointes soudés afin de détecter, localiser, dimensionné et identifier des défauts éventuelles dans le cordon de soudure, une procédure a été établit selon les normes internationales pour la réalisation de ce contrôle.*

## **Abstract:**

*The purpose of this study is to control with ultrasound the welded attachments, in order to detect, locate, dimensioned and identify possible defects in the weld seam, a process has been established according to international standards for the realization of this control.*

---

## Remerciements

Avant tout, je dois remercier Dieu le tout puissant qui m'a donné l'envie et la force pour mener à terme ce travail.

Ce travail a été réalisé au Laboratoire DCI au centre de recherche CRTI, sous la direction de Monsieur Bendrise Terek, que je remercie vivement pour la confiance qu'il m'a témoignée en m'accueillant dans son équipe au laboratoire et Je le présente tout mon estime pour ses compétences scientifiques, et ses qualités humaines et surtout ses conseils et son aide précieuse, qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

J'adresse également ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à ma promotrice Madame Djili Sonia, chercheuse au centre de recherche CRTI, pour sa contribution, ses conseils précieux qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Je suis très reconnaissante et je remercie vivement DR.Badidi Bouda Ali, chef division de Laboratoire DCI au centre de recherche CRTI, ainsi pour ses encouragements, son aide ainsi que ses conseils précieux qu'elle n'a cessé de m'apporter durant cette thèse.

J'adresse tous mes remerciements plus sincères à Mm.Hannache qui a été très volontiers accepté d'être le Co-promoteur de ce sujet.

Mes remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'examiner ce PFE.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude et mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont soutenues et aidées durant les années consacrées à la réalisation de ce travail.

---

---

# Sommaire

---

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	

## Chapitre I: Soudage et défauts des joints soudés

I-1-Introduction:	1
I-2-le joint soudé:	1
I-3-Types de joints soude:	2
I-4-Défauts dans les joints soudés:	2
I-4-1-Les nature des défauts dans le CND:	2
I-4-2-Défauts plans	3
I-4-2-1-Les fissures:	3
I-4-2-2-Les arrachement lamellaire:	4
I-4-2-3-Défaut de manque de fusion (collage):	4
I-4-2-4-Défaut de pénétration:	5
I-4-3-Défauts volumiques:	5
I-4-3-1-Les soufflures:	5
I-4-3-2-Les inclusions:	6

## Chapitre II: Techniques de Contrôle Non Destructif.

II-1-Introduction:	7
II-2-Méthodes de contrôle non destructif:	7
II-2-1-Ressuage :	7
II-2-2-La magnétoscopie:	8
II-2-3-Courants de Foucault	8
II-2-4-La radiographie industrielle:	8
II-2-5-Les ultrasons:	9
II-3-Généralité sur les ultrasons:	10
II-3-1-Ondes ultrasonores:	10
II-3-2-Caractéristiques de propagation des ondes:	10
II-3-3-Impédance acoustique:	11
II-3-4-La pression acoustique et l'intensité:	11
II-3-5-Types d'ondes ultrasonores:	12
II-3-5-1-Ondes longitudinales:	12
II-3-5-2- Ondes transversales:	12
II-3-5-3-Ondes de surface ou de Rayleigh	13

---

---

II-3-5-4-Ondes de Lamb :	13
II-3-6-Vitesses de propagation:	13
II-3-7-Comportement des ondes ultrasoniques.....	14
II-3-7-1-Réflexion et transmission d'intensités à incidence normale :	14
II-3-7-2-Réfraction et conversion de mode à incidence oblique:	15
II-3-8-Transducteurs piézoélectriques:.....	16
II-3-9-Les caractéristiques du faisceau d'ultrasons:.....	17
II-3-10-Atténuation des ondes sonores:.....	18
II-4-Approches fondamentales pour l'inspection par ultrason:.....	18
II-4-1-Inspection avec une sonde droite:.....	19
II-4-2-Inspection avec une sonde a angle:.....	20

### Chapitre III: Les préparations de matériel de contrôle à ultrason.

III-1-Introduction :	23
III-2-Dispositif expérimentale:.....	23
III-2-1-appareille à ultrasons:.....	23
III-2-2-Signal A-Scan:.....	23
III-2-3-traducteurs :	24
III-2-4-Le Couplant :	25
III-2-5-Les cales ou les blocs d'étalonnage:.....	25
III-2-6-Les pièces à contrôle:.....	26
III-2-7-Sélection des paramètres de palpeur à ultrasons:.....	26
III-3-Etalonnage:.....	27
III-3-1-Etalonnage en distance :	27
III-3-1-1-Etalonnage avec des traducteurs normaux:.....	28
III-3-1-2-Etalonnage avec des traducteurs à angle:.....	29

### Chapitre IV: Les procédés de contrôle.

IV-1-Introduction :	31
IV-2-Détection et Localisation des défauts:.....	31
IV-2-1-Détection par ondes longitudinales:.....	31
IV-2-3-Zones ou Lignes de balayage:.....	32
IV-2-4-Détection et Localisation par ondes transversale :	34
IV-4-Techniques de dimensionnement courant:.....	36
IV-4-1-correction-amplitude-distance (CAD) ou (DAC):.....	36
IV-4-1-1-Principe de DAC:.....	36
IV-4-1-2-Les critères d'acceptation pour le DAC:.....	37

---

---

IV-4-2-Dimensionnement a - 6dB: .....	37
IV-4-2-2-Principe de la méthode : .....	37
IV-5-Identification et Caractérisation des défauts: .....	38
IV-5-1-Types des défauts: .....	38
IV-5-2-Nature des défauts: .....	39
IV-5-2-1-Les défauts plans: .....	39
IV-5-2-2-Les défauts volumiques: .....	40

## Chapitre V : Résultats et interprétation.

V-1-Introduction: .....	42
V-2-Piece soudée on V:.....	42
V-2-1-Choix des paramètres et calcule des distance:.....	42
V-2-2-Détection et Localisation et Identification des défauts:.....	43
V-2-2-1-Contrôle de métal base:.....	43
V-2-2-2-Contrôle de cordon de soudure: .....	43
V-2-2-3-Dimensionnement et acceptation: .....	47
V-3-Piece soudée on X:.....	47
V-3-1-Choix des paramètres et calcule des distance:.....	47
V-3-2-Détection et Localisation et Identification des défauts:.....	48
V-3-2-1-Contrôle de métal base:.....	48
V-3-2-2-Dimensionnement et acceptation: .....	48
V-3-3-Contrôle de cordon de soudure: .....	49
V-3-4-Dimensionnement et acceptation:.....	51
V-4-Piece Pipe: .....	51
V-4-1-Choix des paramètres et calcule des distance:.....	52
V-4-2-Détection et Localisation et Identification des défauts:.....	52
V-4-2-1-Contrôle de cordon de soudure: .....	52
V-4-2-2-Dimensionnement et acceptation: .....	54
V-5-Piece soudée on T:.....	54
V-5-1-Choix des paramètres et calcule des distance:.....	55
V-5-2-Détection et Localisation et Identification des défauts:.....	55
V-5-2-1-Contrôle de cordon de soudure: .....	55
V-5-2-2-Dimensionnement et Identification:.....	56
V-6-Piece soudé on Y: .....	57
V-6-1-Choix des paramètres et calcule des distance:.....	57
V-6-2-1-Contrôle de métal base:.....	58
V-6-2-Détection et Localisation et Identification des défauts: .....	58
V-6-2-2-Contrôle de cordon de soudure: .....	58

---

---

V-6-2-3-Dimensionnement et Identification: .....	59
Conclusion.....	60
Conclusion Générale	
Référence Bibliographiques	

---

---

# *Chapitre I :*

## *Soudage et défauts des joints soudés*

---

---

# *Chapitre II :*

## *Techniques de Contrôle Non Destructif.*

---

---

# *Chapitre III :*

*Les préparations de matériel de  
contrôle à ultrason.*

---

---

# *Chapitre IV :*

## *Les procède de contrôle.*

---

---

# *Introduction générale*

---

---

## *Conclusion générale*

---

---

## *Référence Bibliographiques*

---

---

# *Chapitre V :*

## *Résultats et interprétations*

---

---

## **Conclusion Générale:**

Nous avons présenté dans ce mémoire, l'étude de procédure de contrôle non destructif permettant la détection et la localisation, le dimensionnement et l'identification d'un défaut qui est très importants en contrôle non destructif par ultrasons.

Les défauts sont identifiés à partir l'analyse et l'interprétation des signaux résultant. Laquelle donne la nature de défauts et sa taille et sa dangerosité. Cette méthode apporte souvent plus d'informations que les autres. Elle est très efficace.

L'objectif de ce mémoire de master avait par but est l'étude des défauts de soudage dans les cordons de soudure.

À partir de ce travail, on a trouvé que :

Plusieurs types de défauts sont observés dans un cordon de soudure, comme :

Les fissures, les porosités, les manques de fusion et de pénétration etc.....

Les techniques de détection des défauts s'effectuent par un contrôle par ultrason.

Généralement ces défauts sont inévitables dans un procédé de soudage. Avec la pratique, l'étude de la réponse d'écho conduit à un processus qui permet à l'opérateur de classer chaque caractéristique de défauts avec expérience.

Par l'étude expérimentale, les résultats obtenus sont très encourageants, et montrent la faisabilité du contrôle des défauts dans le cordon de soudure, on a trouvé que plusieurs types de défauts sont observés dans un cordon de soudure, comme les fissure, les cavités, les manques de fusion et de pénétration etc.

---

---

## **Conclusion Générale:**

Le travail présenté dans ce mémoire est purement expérimental, des méthodes conventionnelles de contrôle par ultrasons sont utilisées pour le réaliser. Dans la première partie de ce travail nous avons présenté, une procédure de contrôle par ultrasons permettant la détection, la localisation, le dimensionnement et l'identification d'un défaut éventuel dans un joint soudé. La deuxième partie contient des explications sur le pré-contrôle ainsi que le contrôle de plusieurs types de joints soudés.

Les résultats obtenus montrent que les ondes longitudinales et les ondes transversales peuvent être utilisées pour la détection, la localisation, le dimensionnement et l'identification de plusieurs types de défauts, comme les fissures, les cavités, les manques de fusion et de pénétration. L'interprétation des signaux, afin d'identifier le défaut, a été faite sur la base des normes international des méthodes conventionnelles du contrôle par ultrasons. A partir de laquelle on peut conclure la nature, la taille et le degré de menace du défaut. Les résultats obtenus, ont été vérifiés par des fiches techniques des pièces contrôlées, sont très encourageants.

Cette méthode apporte souvent plus d'informations que les autres méthodes du contrôle non destructif. Elle est efficace et ne présente pas un danger sur l'opérateur et l'environnement.

---

**I-1-Introduction :**

Le soudage est une opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties consécutives d'un assemblage métallique de manière à assurer la continuité entre les pièces métalliques. [1] La qualité d'un cordon de soudure dépend de plusieurs paramètres, comme l'énergie de soudage, l'électrode utilisée, et la vitesse d'avance.

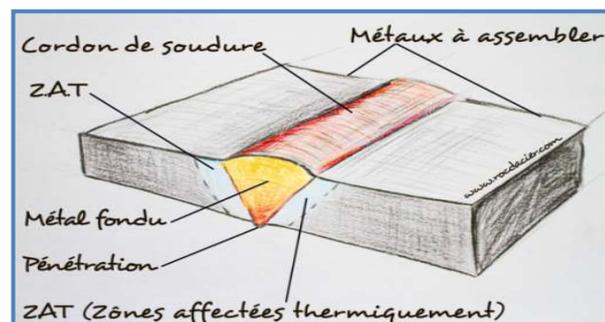
Des défauts de différents types sont susceptibles d'apparaître pendant l'opération de soudage. [2]

Ce chapitre présente des généralités sur le soudage ainsi qu'une présentation des défauts courants dans le cordon de soudure.

**I-2-Le joint soudé:**

On obtient une continuité de matière entre deux pièces différentes par création d'un cordon de soudure provenant de la fusion d'une partie des pièces à assembler. La continuité métallique entre les deux pièces ne peut en effet être obtenue qu'à partir d'un état liquide. [3]

Les différentes zones du joint soudé: [4]



**Figure I.1:** Différentes zones d'un joint soudé

Zone fondue: C'est la zone durant l'opération de soudage où l'état liquide a été obtenu.

Zone de liaison: C'est la frontière entre le métal fondu et le métal de base non fondu.

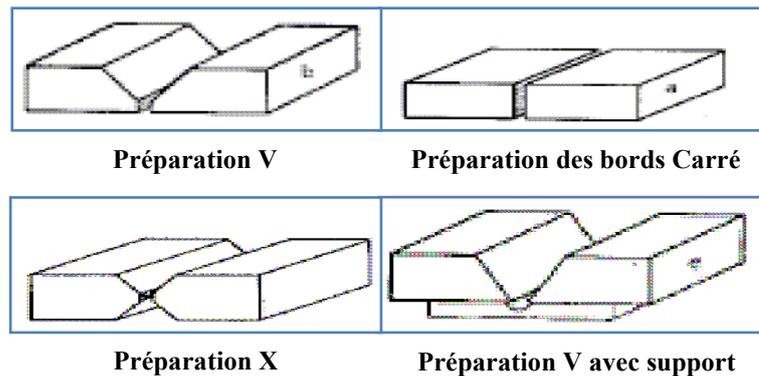
Zone affectée thermiquement: Elle concerne le métal de base qui n'a pas fondu mais qui a subi des modifications de structure (gros grain).

Le métal de base: C'est la zone qui n'a pas été affectée par l'opération de soudage. Par contre cette zone peut être le siège de contraintes et de déformations.

### I-3-Types de joints soudés:

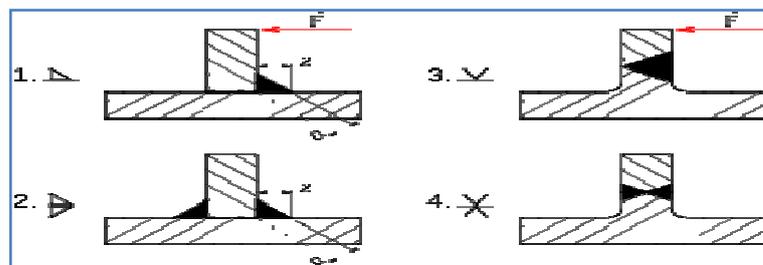
Les joints soudés peuvent être divisés en deux parties selon la géométrie de l'assemblage, la partie de soudure bout à bout et la partie de soudure en T.

Une soudure bout à bout est obtenue généralement lorsque deux plaques d'épaisseurs égales sont reliés entre elles par les préparations de soudure indiquées dans la figure 2 [5]:



**Figure I.2:** Les différentes préparations d'un soudage bout à bout

Une soudure peut être obtenue lorsque deux plaques sont assemblées de façon à former un angle droit (soudure en T) ou un angle (soudure en Y) [5]. On effectue en général une soudure symétrique comme le montre la figure 3(2 et 4). Ou d'un seul côté comme le montre la figure 3 (1 et 3). [6]



**Figure I.3:** Les différentes préparations d'un soudage on T [6]

### I-4-Défauts dans les joints soudés:

#### I-4-1-Nature des défauts dans le CND :

Les pièces inspectées sont de différentes formes et d'épaisseur variables. Les zones qui se fragilisent rapidement dans ces pièces sont celles soumises à des contraintes mécaniques et thermiques importantes.

Les types les plus contrôlés dans le monde industriel sont en générale les pièces soudées et les pièces moulées comme les coudes et autre....).

En ce qui concerne les défauts qui existent éventuellement dans les pièces, les normes internationales les classifient en deux grandes catégories, la première contient les différents défauts plans et la deuxième englobe les défauts volumiques.[7]

### **I-4-2-Défauts plans:**

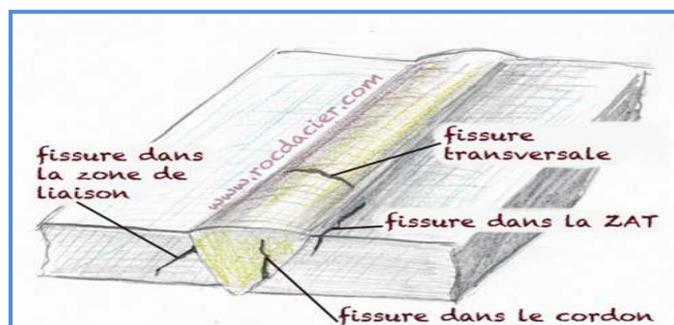
Ce sont des défauts plus ou moins rectilignes. Ils représentent soit un manque de liaison inter matières ou une rupture du métal. Ces défauts sont les plus nocifs. On peut citer les fissures, les manques de fusion et les manques de pénétration etc.....

#### **I-4-2-1-Les fissures:**

Les fissures sont des ruptures du matériau. Elles peuvent apparaître dans différentes directions. Ces fissures peuvent se trouver dans le métal de base, dans le cordon de soudure, ou dans la zone affectée thermiquement etc.....

Il existe plusieurs types de fissures, comme les fissures longitudinales, les fissures transversales, les fissures sous cordon débouchant ou bien non débouchant etc.....

Les causes des fissures les plus courantes sont les contraintes thermiques excessives pendant le soudage dû à l'énergie élevée ou le refroidissement rapide de cordon etc... [8]



**Figure I.4:** Différentes formes de fissuration

### I-4-2-2-Les arrachement lamellaire:

Les arrachement lamellaire prennent naissance dans la zone affectée thermiquement sous l'action de contraintes liées au retrait de l'assemblage, et bien souvent, se propagent dans le métal de base. Elles se présentent sous forme de gradins parallèles au plan de laminage de la tôle, Ils sont raccordés entre eux par des décrochements presque orthogonaux formés par cisaillement. [9]

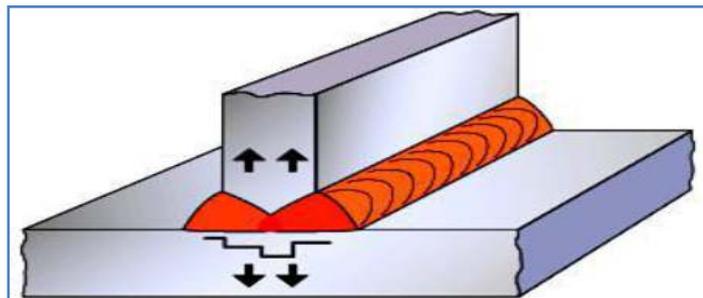


Figure I.5: Arrachement lamellaire dans un joint en T.

### I-4-2-3-Défaut de manque de fusion (collage):

Concernant le manque de fusion, il s'agit d'une mauvaise continuité métallurgique entre les métaux à assembler. Il peut aussi s'agir de manque de fusion des passes les unes avec les autres.

Les types de manque de fusion varient entre les manques de fusion aux bords à souder, les manques de fusion entre les passes.

Ces défauts sont fréquents en soudage MAG (métal active gaz) et surviennent souvent quand l'angle du chanfrein est trop étroit, ou lorsque les électrodes sont mal orientées. [8]

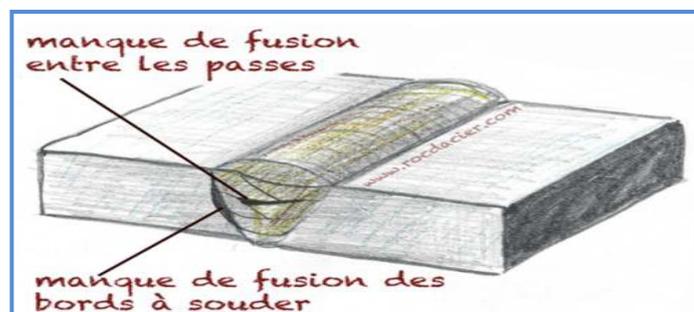


Figure I.6: Différents types de manque de fusion

#### I-4-2-4-Défaut de pénétration:

Les défauts de pénétration peuvent être des manques ou des excès de pénétration.

Le manque de pénétration se produit quand le métal d'apport n'atteint pas la racine du chanfrein, mais l'excès de pénétration est un surplus de métal à la racine de la soudure ou un excès dans la passe précédente.

Les défauts de manque de pénétration sont produits quand les pièces sont trop rapprochées, ou quand la vitesse d'avance est trop élevée, ou quand l'intensité est trop faible.

Par contre les défauts d'excès de pénétration résultent quand les pièces sont trop divergentes, ou quand la vitesse d'avance est trop lente, ou bien d'une intensité trop élevée etc....[8]

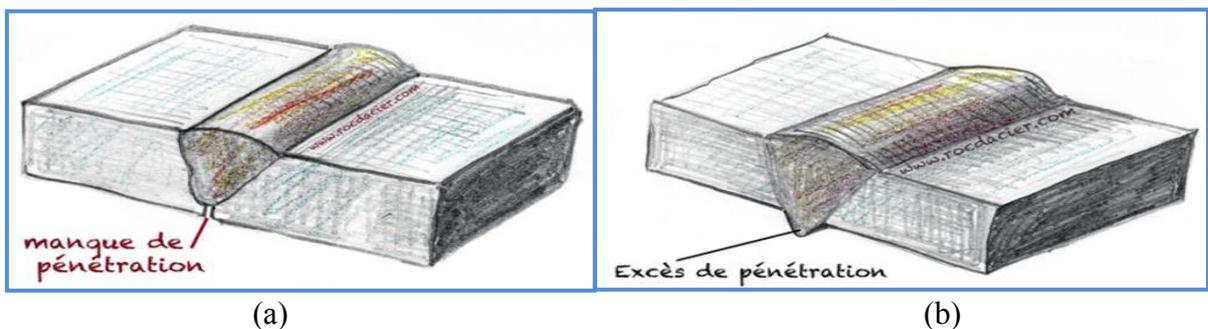


Figure I.7: défauts de pénétration (a) manque de pénétration (b) excès de pénétration

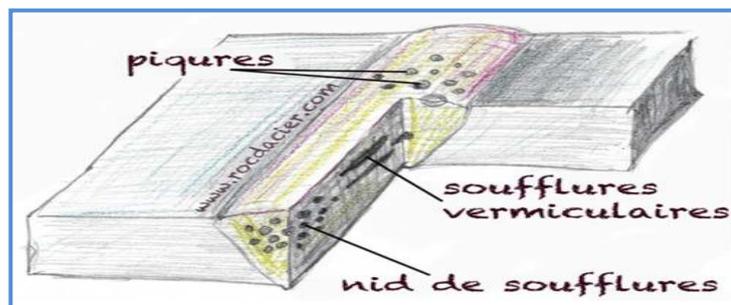
#### I-4-3-Défauts volumiques:

Les défauts volumiques se définissent par la présence de corps étrangers occupant un volume de forme quelconque dans le matériau. On peut citer les inclusions et les cavités gazeuses (soufflures).

##### I-4-3-1-Les soufflures:

Les soufflures sont des défauts fréquents en soudage, ce sont souvent des bulles de gaz enfermées dans le cordon de soudure. Cependant, les soufflures peuvent être débouchant visibles en surface dans ce cas ils sont appelées piqures.

Les types de soufflures les plus fréquentes sont les nids de soufflures, les soufflures vermiculaires, les piqures, ces défauts apparaissent dans le cordon de soudure à cause des courants d'air, les manques de gaz de protection, ou un débit de ce gaz trop faible etc....[8]

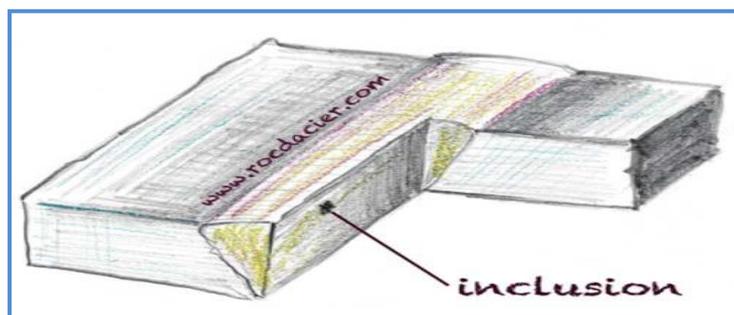


**Figure I.8:** les différents formes de cavitation

#### **I-4-3-2-Les inclusions:**

En soudage, les inclusions désignent des corps étrangers présents au cœur du cordon.

Les types d'inclusions sont nombreux comme les inclusions solides que sont des corps étranger inclus dans le cordon de soudure, les inclusions de laitier ou de flux lequel définit comme des morceaux de ce dernier incluent dans le cordon de soudure, les inclusions d'oxyde décriés par les oxydes métalliques emprisonnés dans la soudure.[8]



**Figure I.9:**l'emplacement d'une inclusion

**II-1-Introduction:[9]**

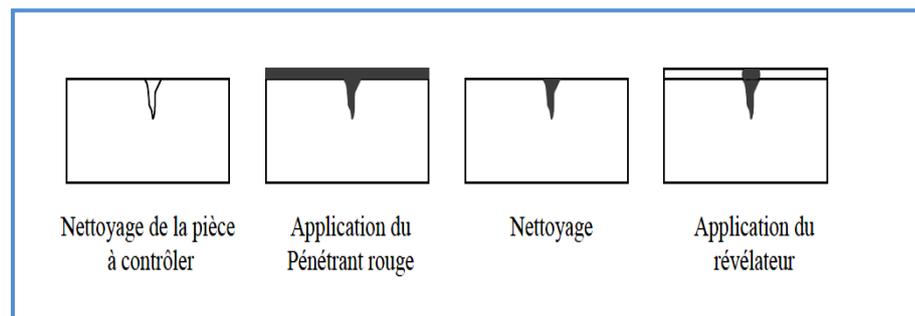
Le contrôle non destructif (CND), consiste à mettre en œuvre des méthodes d'investigation permettant d'apprécier sans destruction l'état des pièces, et de formuler un avis sur leur aptitude à remplir la fonction à laquelle elles sont destinées, c'est un outil très efficace pour la maintenance des installations industrielles.

Dans ce qui suit nous présenterons, d'une manière très courte ces différents méthodes. Les principales méthodes utilisées sont:

- Le ressuage.
- Le magnétoscopie.
- Le courant induit ou courant de Foucault.
- La radiographie.
- Les Ultrasons.

**II-2-Méthodes du Contrôle Non Destructif:****II-2-1-LeRessuage:**

Le contrôle par ressuage est utilisé pour la recherche de micro-défauts en surface non visibles à l'œil nu de tous métaux non poreux. La technique consiste à fait un nettoyage de la pièce avec un solvant ou pénétrant, puis projection sur la surface de la pièce un révélateur poudre, qui absorbe le liquide restant et indique ainsi l'endroit de défaut.[10]



**Figure II.1:** Principe de contrôle par ressuage

### II-2-2-La magnétoscopie:

C'est une méthode issue du ressuage mais plus développée. Elle concerne uniquement les matériaux ferromagnétiques. On utilise un magnétoscope et un liquide révélateur. Les résultats dépendent de l'observation du champ magnétique créé. Le défaut se comporte comme un aimant qui forme un spectre.[10]

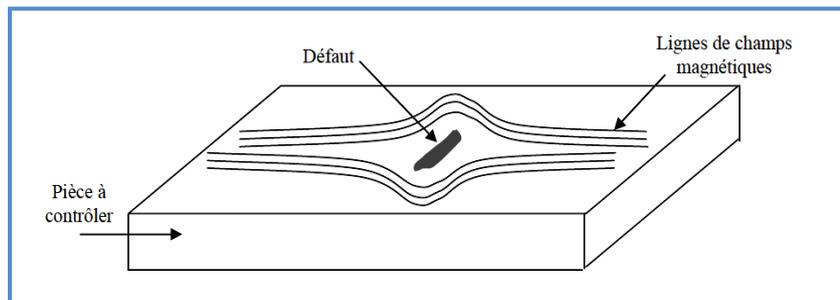


Figure II.2: Contrôle par magnétoscopie

### II-2-3-Le courants de Foucault:

Ce contrôle est indiqué pour les matériaux métalliques conducteurs, il repose sur l'induction de courants électriques dans la masse d'un conducteur, le principe de contrôle est donc d'injecter dans une bobine un courant variable, la variation de l'impédance fournira une « image » de perturbation du matériau, c'est-à-dire du défaut. L'inconvénient de la méthode est qu'elle se limite aux matériaux conducteurs. [10]

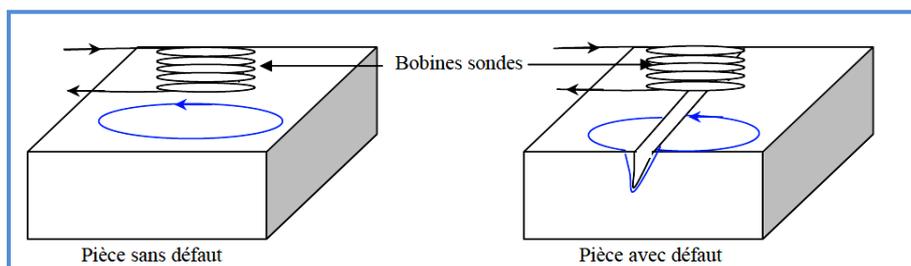
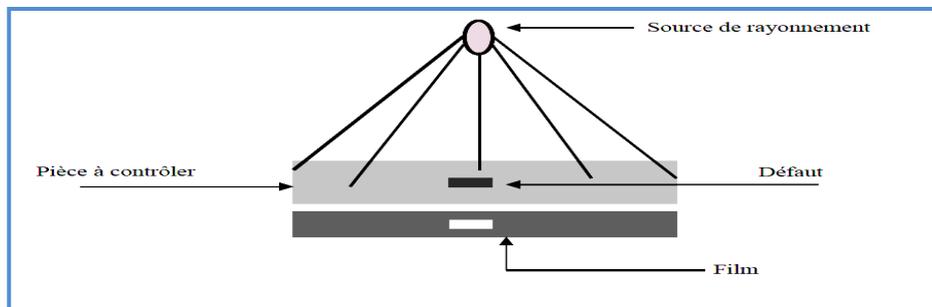


Figure II.3: Principe de la détection par courants de Foucault.[11]

### II-2-4-La radiographie industrielle:

Il s'agit de la radiographie X ou  $\gamma$ . C'est une image sur une émulsion sensible, d'un objet traversé par un rayonnement ionisant. Le principe de la formation de

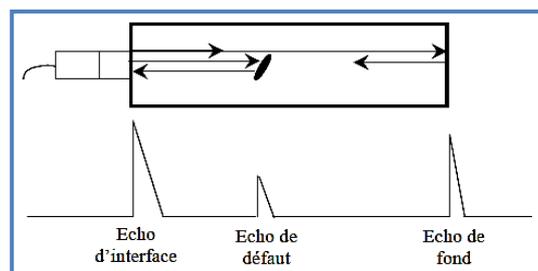
l'image est en fonction de l'absorption des rayonnements aux différentes épaisseurs et densités du matériau à contrôler. L'absorption sera d'autant plus forte que la matière à traverser sera épaisse, tout défaut, tout manque ou surplus de matière auront une action sur cette absorption.[12]



**Figure II.4:** Schéma représentatif du principe de la radiographie

**II-2-5-Les ultrasons:**

Deux modes opératoires de base sont utilisés en contrôle par ultrasons. La méthode par échos, qui utilise un seul transducteur pour transmettre une onde dans la pièce et pour récupérer l'écho réfléchi par le fond de pièce. Tout écho supplémentaire indique une réflexion par un éventuel défaut dans la pièce, la position du défaut peut être déterminée. La figure II.5 schématise la méthode par échos.[13]



**Figure II.5:** Contrôle par écho

Par contre, pour la méthode par transmission (voir la figure II.6) deux transducteurs sont nécessaires. Le premier transducteur est utilisé pour l'émission et le deuxième pour la réception, ils sont placés sur les deux surfaces opposées de la pièce. Dans ce cas, n'importe quelle diminution d'intensité de l'écho détectée par le transducteur de réception, indique la présence d'un défaut.[13]

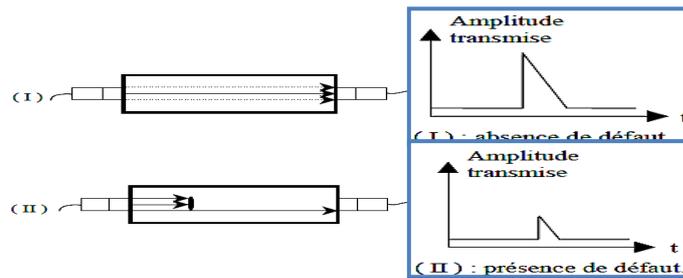


Figure II.6: Contrôle par transmission

### II-3-Généralité sur les ultrasons:

#### II-3-1-Ondes ultrasonores:

Les ondes ultrasonores sont des ondes de pression qui se propagent dans un milieu élastique. Il s'agit de la propagation d'énergie mécanique dans un milieu solide. Tous les matériaux sont composés d'atomes qui sont liés de manière élastique les uns aux autres. [14] Les ondes ultrasonores font entrer en vibration les atomes lequel se transmet d'un atome au suivant par l'intermédiaire des forces de liaison interatomique.

En contrôle non destructif par ultrasons, la gamme de fréquences est généralement comprise entre 0.5 et 20 MHz (par contact de 1 à 10 MHz). [15]

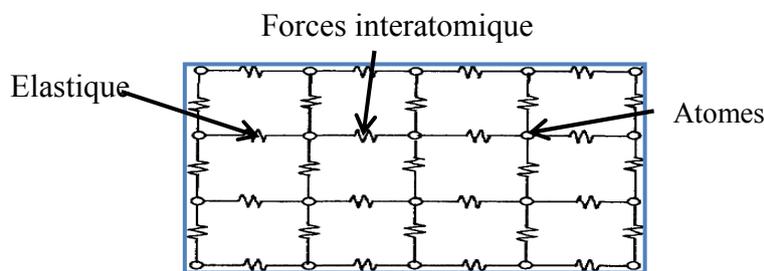
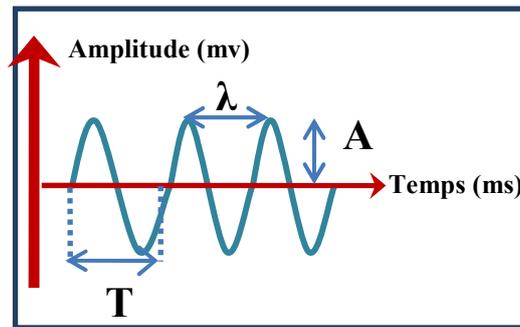


Figure II.7: modèle d'un corps élastique.

#### II-3-2-Caractéristiques de propagation des ondes:

Parmi les propriétés de propagation des ondes dans un matériau isotrope solide sont la longueur d'onde, la fréquence et la vitesse de propagation. La longueur d'onde est directement proportionnelle à la vitesse de l'onde et inversement proportionnelle à la fréquence. Cette relation est représentée par l'équation suivante:  $\lambda = V/f$  [14]



**Figure II.8:**Caractéristiques principales des ondes acoustiques

Lorsqu'une onde se déplace sur une certaine distance dans le milieu au cours d'un cycle  $T$ . Cette distance est définie comme la longueur d'onde de l'onde et est désigné par la lettre grecque  $\lambda$ . [5]

La fréquence d'une onde est le nombre de cycles d'onde qui se déplacent dans le milieu. Il est généralement désigné par la lettre  $f$ . Le terme international de cycle par seconde est le Hertz et abrégé Hz. [5]

La vitesse est la Vitesse de propagation avec laquelle l'énergie est transportée entre deux points dans un milieu par le mouvement des ondes. Elle est généralement désigné par la lettre  $V$ . [5]

### II-3-3-Impédance acoustique:

La résistance du matériau produite à la propagation d'onde ultrasons est connu sous le nom de l'impédance acoustique, elle est définie comme le produit de la masse volumique ( $\rho$ ) et la vitesse de l'onde ( $V$ ) dans un matériau, est représentée par l'équation suivante  $Z = \rho * V$ . [14]

### II-3-4-Pression acoustique et Intensité:

La pression acoustique est le terme le plus utilisé pour indiquer l'amplitude des contraintes alternées d'un matériau par une onde ultrasonore propager. La pression acoustique  $P$  est liée à l'impédance acoustique  $Z$  et l'amplitude de vibration des particules [5] en tant que:  $P = Z * a$

La transmission d'énergie mécanique par ultrasons à travers une surface, qui est perpendiculaire à la direction de propagation des ondes, est appelé intensité des ondes ultrasonores. Cet intensité est généralement désigné par la lettre  $I$ . et est liée à

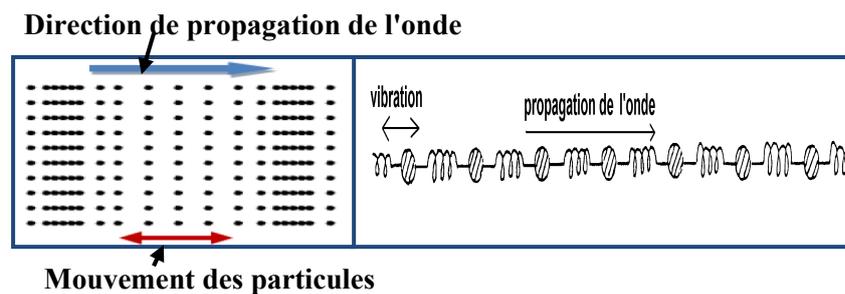
la pression acoustique P, l'impédance acoustique Z et l'amplitude de vibration des particules [5] en tant que:  $I = P^2 / (Z \cdot 2)$  et  $I = (P \cdot a) / 2$

**II-3-5-Types d'ondes ultrasonores:**

Les ondes ultrasonores sont classées sur la base du mode de vibration des particules du milieu par rapport à la direction de propagation des ondes longitudinales, transversal, de surface et des ondes de Lamb. [5]

**II-3-5-1-Ondes longitudinales:**

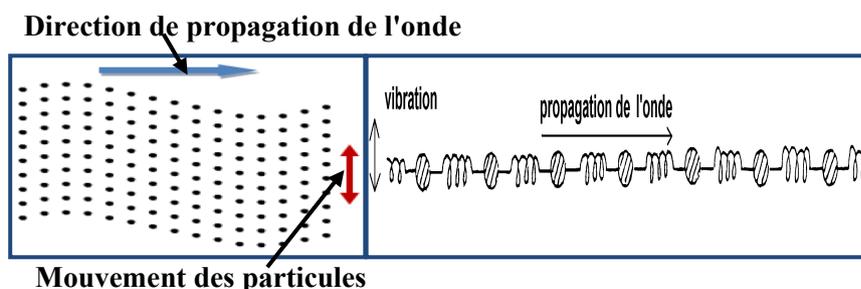
Les ondes longitudinales ou appelées aussi de compression, sont désignés par le symbole L, elles existent lorsque la direction de vibration de la matière est parallèle à la direction de propagation de l'onde.



**Figure II.9:** Description de la propagation d'une onde longitudinale

**II-3-5-2-Ondes transversales:**

Les ondes transversales plutôt appelé de cisaillement, sont désigné par le symbole T, elles existent lorsque la direction de vibration est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde. Les ondes transversales ne se propagent que dans les solides



**Figure II.10:** Description de la propagation d'une onde transversale

**II-3-5-3-Ondes de surface ou de Rayleigh :**

Les ondes de surface se propagent à la surface d'un matériau solide relativement épais pénétrant à la profondeur d'une longueur d'onde. Une onde de surface est une combinaison d'un mouvement longitudinal et transversal qui se traduit par un mouvement elliptique comme représenté sur la figure II.11. L'axe de l'ellipse est perpendiculaire à la surface du solide. [14]

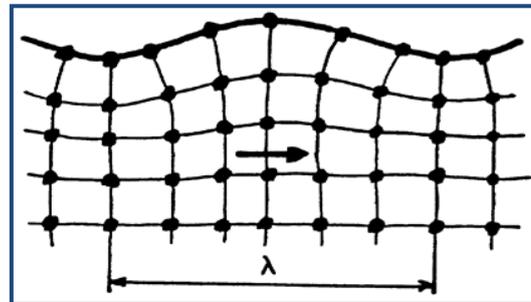


Figure II.11: les ondes de surface ou de Rayleigh

#### II-3-5-4-Ondes de Lamb :

Les ondes de Lamb se propagent dans des plaques solides. L'épaisseur de la plaque doit avoir l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, pour pouvoir générer ces ondes. Leur propriétés se sont révélées être assez complexe. Deux ensemble infinis de modes d'ondes de Lamb peuvent être générés dans une plaque. Les vitesses de ces modes dépendent de la longueur d'onde et de l'épaisseur de la plaque.[14]

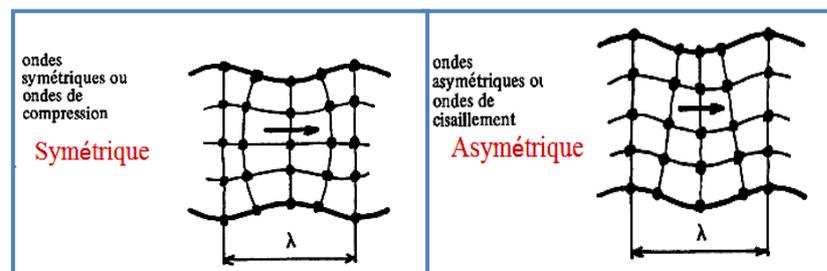


Figure II.12: les ondes de Lamb

#### II-3-6-Vitesses de propagation:

La vitesse de propagation dépend des caractéristiques du milieu, elle est indépendante de la fréquence. Et sont liées aux caractéristiques du milieu par les relations suivantes :[15]

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad V_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad V_R \approx V_T \frac{0.87+1.12\nu}{1+\nu} \approx 0.9V_T$$

( $V_L$ )longitudinales, ( $V_T$ ) transversales et ( $V_R$ ) de Rayleigh

Avec E: module de Young ( $\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$ ).

$\nu$  : coefficient de poisson (sans dimension).

$\rho$  : masse volumique ( $\text{Kg/m}^3$ ).

### II-3-7-Comportement des ondes ultrasonores:

#### II-3-7-1-Réflexion et transmission d'intensité à incidence normale :

Lorsque les ondes ultrasonores sont émises en incidence normale à l'interface de deux milieux, sachant que leurs impédances acoustiques sont différentes, une partie de l'onde est réfléchie et une autre partie est transmise. La quantité d'énergie ultrasonore qui est réfléchie ou transmise dépend de la différence entre les impédances acoustiques des deux milieux. Si cette différence est grande alors une grande énergie est réfléchie et une petite partie est transmise. Tandis que pour une petite différence entre les impédances acoustiques, la plupart de l'énergie ultrasonore est transmise et une petite partie est réfléchie.[5]

Quantitativement la quantité d'énergie ultrasonore qui est réfléchie lorsque les ondes ultrasonores sont incidentes entre deux milieux de différentes impédances acoustiques (Figure II.13) est donnée par:

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left( \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

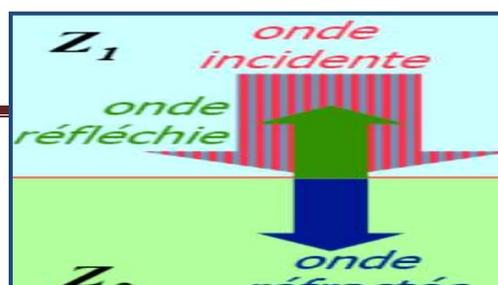
$R$  = coefficient de réflexion ou énergie réfléchie en(%)

$Z_1$  = impédance acoustique du milieu 1.

$Z_2$  = impédance acoustique du milieu 2.

$I_r$  = intensité ultrasonore réfléchie.

$I_i$  = intensité ultrasonore incident.



La quantité d'énergie qui est transmise à travers l'interface est donnée par la relation:

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

T = coefficient de transmission ou énergie réfractée: .

Z<sub>1</sub> = impédance acoustique du milieu 1.

Z<sub>2</sub> = impédance acoustique du milieu 2.

I<sub>t</sub> = intensité ultrasonore transmise.

I<sub>i</sub> = intensité ultrasonore incident.

Noté que T+R = 1

Si Z<sub>1</sub> ≈ Z<sub>2</sub> donc R ≈ 0 et T ≈ 1 pas de réflexion

Si |Z<sub>2</sub> - Z<sub>1</sub>| est petit donc R ≈ 1 et T ≈ 0 la réflexion dominante résulte de la détection de défauts de matière.

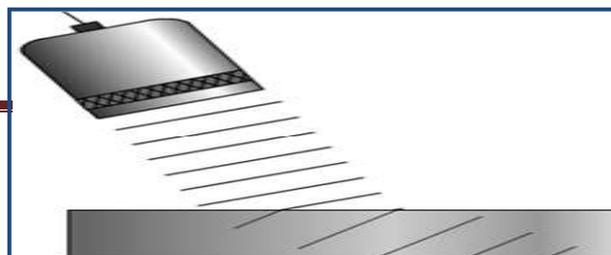
Si |Z<sub>2</sub> - Z<sub>1</sub>| est grand donc la réfraction dominante (le faisceau incident est presque totalement transmis) ne résulte pas la détection de défauts.

### II-3-7-2-Réfraction et conversion de mode à incidence oblique:

Lorsqu'une onde ultrasonore passe au travers d'une interface entre deux matériaux selon un angle oblique, des ondes réfléchies et réfractées sont produites.

La réfraction se produit à l'interface des deux matériaux en raison de la différence des vitesses acoustiques entre les deux matériaux.

La figure II.14 montre un schéma explicatif du phénomène de réfraction. Lorsque l'onde rencontre l'interface entre ces deux matériaux, la partie de l'onde dans le second matériau se déplace plus vite que la partie de l'onde qui est toujours dans le premier matériau. En conséquence, cela oblige l'onde de se plier et changer sa direction (ce qui est dénommé "réfraction"). [14]



Quand les ondes ultrasonores frappent une interface à un angle oblique les phénomènes de conversion de mode (à savoir un changement dans la nature du mouvement des ondes) et de la réfraction (un changement dans la direction de propagation des ondes) se produisent. La Loi de Snell-Descartes correspond au rapport des vitesses dans les matériaux au rapport des sinus des angles incidents et réfractés, qu'est variée pour les ondes transversales, ainsi que des ondes longitudinales, et peut être écrite comme suit:

$$\frac{\sin(\alpha_i)}{V_i} = \frac{\sin(\alpha_{1L})}{V_{1L}} = \frac{\sin(\alpha_{1T})}{V_{1T}} = \frac{\sin(\alpha_{2L})}{V_{2L}} = \frac{\sin(\alpha_{2T})}{V_{2T}}$$

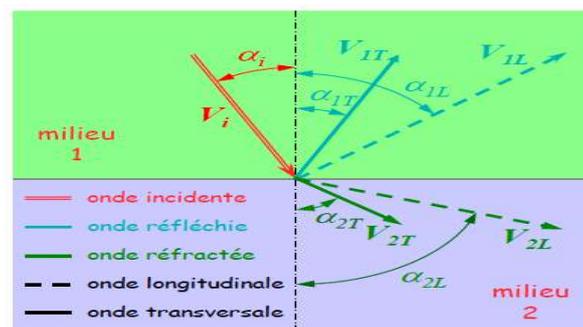


Figure II.16: les refraction et conversion de mode.

Où:  $V_{1L}$  et  $V_{2L}$ : les vitesses des ondes longitudinales dans les 1<sup>er</sup> et 2<sup>eme</sup> matériaux respectivement,  $V_{1T}$  et  $V_{2T}$ : les vitesses des ondes de transversales dans les 1<sup>er</sup> et 2<sup>eme</sup> matériaux respectivement,  $\alpha_{1L}$  et  $\alpha_{2L}$ : les angles de l'incident et des ondes longitudinales réfractées respectivement,  $\alpha_{1T}$  et  $\alpha_{2T}$ : les angles des ondes transversales réfléchies et réfractées converties respectivement.

### II-3-8-Transducteurs piézoélectriques:

La fonction du transducteur est de convertir les signaux électriques en vibrations mécaniques (mode de transmission) et les vibrations mécaniques en signaux électriques (mode réception). Qu'est la base pour les contrôles par ultrasons. Cette conversion est effectuée par le transducteur à l'aide d'une pièce de matériau

piézo-électrique. De nombreux facteurs y compris le matériel, la construction mécanique et électrique, influencent le comportement d'un transducteur. [14]

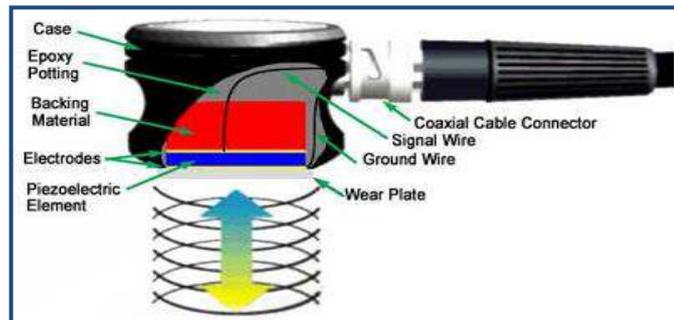


Figure II.17: Transducteur piézoélectrique

L'effet piézoélectrique direct est produit lorsqu'un matériau piézoélectrique est soumis à une pression mécanique, il va développer un potentiel électrique à travers elle comme la montre la figure II.18 (a).

L'effet piézoélectrique inverse est défini par la déformation mécanique ou les vibrations en matériaux piézo-électriques est produite chaque fois qu'un potentiel électrique est appliqué à eux comme montre figure II.18 (b).

L'effet piézoélectrique direct est utilisé pour la détection et l'effet piézo-électrique inverse dans la production d'ondes ultrasonores. [5]

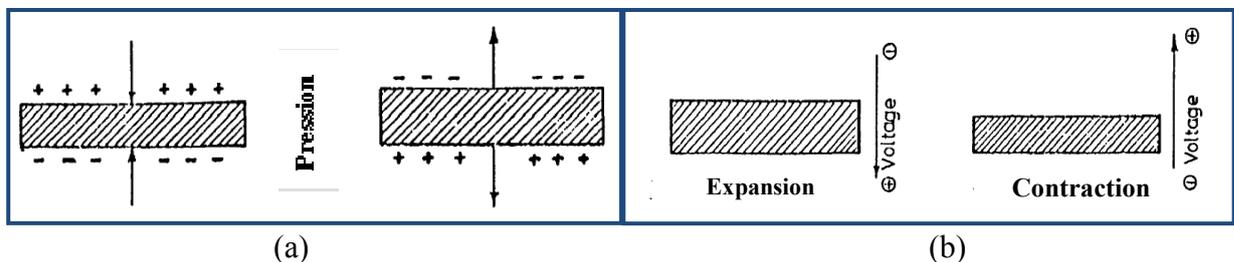


Figure II.18: L'effet piézoélectrique (a) direct (b) inverse.

### II-3-9-Les caractéristiques du faisceau ultrasonore:

Le champ émis d'un transducteur piézo-électrique ne provient pas d'un point, mais provient plutôt de la majeure partie de la surface de l'élément piézo-électrique.

Champ proche: L'intensité des ultrasons longs de la poutre est affectée par des interférences d'ondes constructive et destructive. Ils sont parfois aussi appelés effets de diffraction. En raison des variations acoustiques dans un champ proche, il peut être extrêmement difficile d'évaluer avec précision les défauts dans les matériaux quand ils sont positionnés dans cette zone.

Champ lointain: Les ondes de pression sont combinées pour former un front relativement uniforme à la fin du champ proche. Au-delà de la zone du champ proche le faisceau d'ultrasons est plus uniforme. La transition entre le champ proche et le champ lointain se produit à une distance  $N$ . La zone située juste au-delà du champ proche est l'endroit où l'onde sonore est bien élevée et à sa force maximale. Par conséquent, les résultats de détection optimaux seront obtenus lorsque des défauts se produisent dans ce domaine.[14]

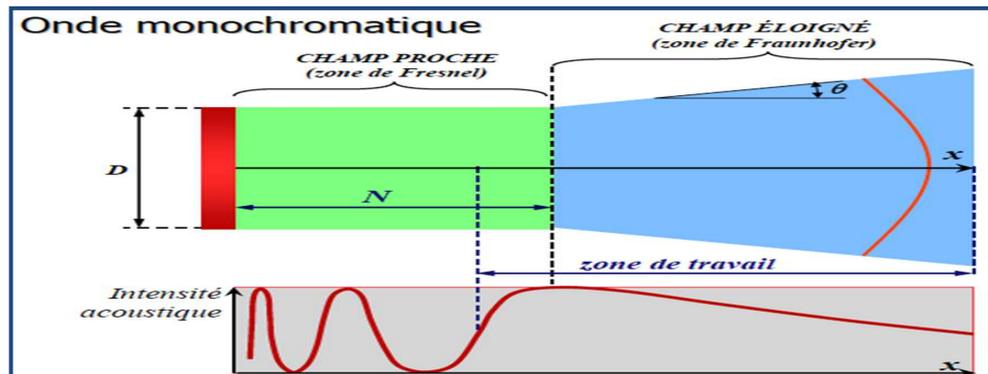


Figure II.19: Champ proche et champ lointain.

### II-3-10-Atténuation des ondes sonores:

L'énergie transportée par les ondes diminue au cours de leur propagation dans la structure, c'est l'atténuation. Deux principales causes sont à l'origine de l'atténuation des ondes. La première cause est expliquée par le phénomène d'absorption de l'énergie des ondes, le long de leur propagation dans le matériau. Cette absorption est liée essentiellement à des mécanismes de conduction thermique et de viscosité et ces mécanismes sont étroitement dépendants de la fréquence, quand elle augmente l'absorption croit. La seconde cause, est le phénomène de la diffusion. On dit que l'énergie de l'onde ultrasonore est diffusée c'est-à-dire réfléchié dans de multiples directions, ce phénomène est nait de l'interaction de l'onde avec une particule de dimension proche de la longueur d'onde.[13]

### II-4-Approches fondamentales pour l'inspection par ultrason:

Dans le cas de la méthode par contact, il est nécessaire d'ajouter un couplant entre le traducteur et la pièce pour assurer la transmission des ondes. Lorsque ces

ultrasons rencontrent une interface délimitant deux milieux ayant des impédances acoustiques différentes, il y a réflexion. Les ultrasons réfléchis sont captés par un transducteur (qui peut être le même que l'émetteur). Il y a création d'un « écho ».

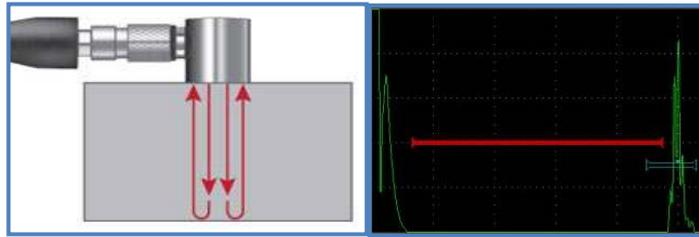
Dans le cas d'une pièce comportant deux surfaces, la détection de défaut se fait en comparant le temps mis pour faire un aller-retour dans l'épaisseur de la pièce et le temps mis pour la réflexion sur un défaut. D'un point de vue pratique, on utilise un écran d'oscilloscope. Les échos sont représentés par des pics sur l'écran. [16]

### **II-4-1-Inspection avec un transducteur droit:**

L'inspection avec un transducteur droit sert généralement à la recherche de fissures ou d'arrachement lamellaire parallèle à la surface de la pièce inspectée et aussi à la recherche de vides et de porosité. Dans ce type d'inspection, il est possible d'utiliser des transducteurs de contact, à émission-réception séparées. Toutes ces transducteurs génèrent des ondes longitudinales qui se déplacent en ligne droite dans la pièce.

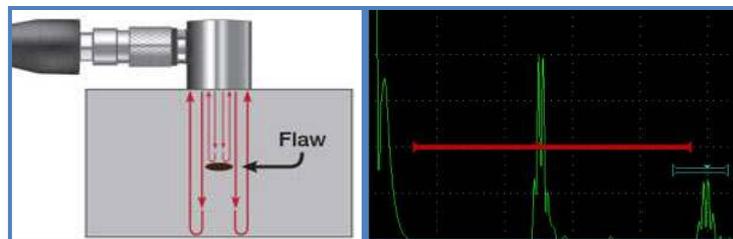
Comme pour toutes les autres techniques de recherche de défauts par ultrasons, l'inspection avec transducteur droite exploite le principe de base voulant que l'énergie sonore voyageant dans un Milieu continuera de se propager jusqu'à ce qu'elle soit dispersée ou reflétée sur l'interface d'un autre matériau, tel que l'air entourant le fond de la pièce ou l'écartement créé par une fissure ou une discontinuité similaire. Dans ce type d'inspection, l'inspecteur place le transducteur sur la pièce à inspecter et identifie l'écho de fond, ainsi que les réflexions fixes provenant de structures géométriques. Après avoir pris note de la forme caractéristique des échos provenant de la pièce saine, l'inspecteur recherche les échos supplémentaires situés devant l'écho de fond, en ne tenant pas compte du bruit de dispersion des grains, le cas échéant. Un écho fort situé devant l'écho de fond signale la présence d'une fissure laminaire ou d'un vide. Une analyse plus approfondie permettra de déterminer la profondeur, la taille et la forme de la structure créant la réflexion.[17]

Dans le cas où il est y une absence d'indication le son voyage à travers le matériau et il est reflété sur le fond de la pièce.



**Figure II.20:** Inspection avec un transducteur direct avec une absence d'indication

Mais dans le cas où il est y une présence d'indication une partie du son voyage à travers tout le matériau et est reflétée sur le fond de la pièce, alors qu'une autre partie est reflétée sur l'indication située entre la surface et le fond de la pièce, L'amplitude de l'écho varie en fonction de la taille de l'indication.

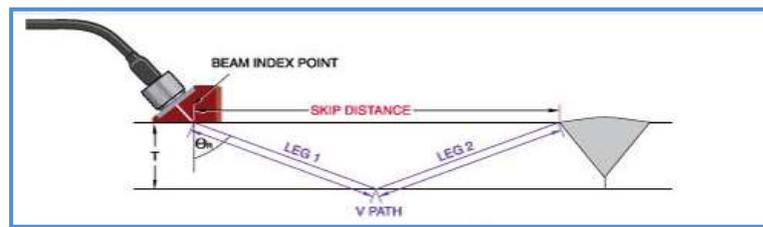


**Figure II.21:** Inspection avec un transducteur direct avec une présence d'indication

#### II-4-2-Inspection avec un transducteur à angle:

Il est vrai que les techniques d'inspection avec un transducteur droite sont très efficaces dans la recherche de défauts laminaires, elles sont par contre inefficaces pour l'inspection d'un grand nombre de soudures courantes, dans lesquelles les discontinuités généralement ne sont pas parallèles à la surface de la pièce. La combinaison de la forme de la soudure, de l'orientation des indications et de la présence d'un cordon de soudure nécessite l'inspection du côté de la soudure à l'aide d'un faisceau d'angle. L'inspection avec un transducteur à angle est de loin la technique de recherche de défauts par ultrasons la plus utilisée.

Dans le cas typique d'un sabot en plastique ou en époxy placé sur une pièce en acier, les faibles angles d'incident généreront des ondes longitudinales et transversales, et il existe des sabots pour transducteur d'angles spécialisés dans les ondes longitudinales. Toutefois, à des angles habituels d'inspection, seulement une onde transversale est générée, puisque la valeur de l'onde longitudinale de l'équation serait supérieure à 90 degrés, ce qui n'est pas possible.[18]



**Figure II.22:** Inspection avec un traducteur d'angle

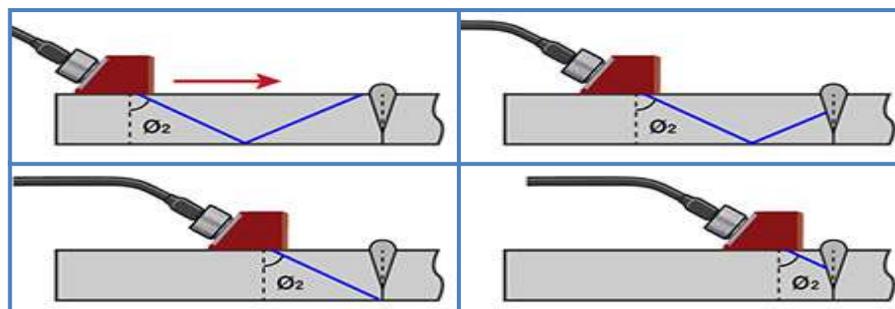
Les relations utilisées pour calculer la distance de saute, les longueurs de trajet pour une pièce d'épaisseur  $T$  à un angle  $\theta$ , sont donnés ci-dessous:

La distance de saute =  $2 * T * \tan \theta$ .

La longueur de trajet de demi bond =  $T / \cos \theta$ .

La longueur de trajet de bond complète =  $2 * T / \cos \theta$

Dans les inspections typiques, le son voyage à travers la pièce à l'angle généré, pour ensuite être réfléchi au même angle. Lorsque le traducteur est déplacé sur la pièce, le faisceau ultrasonore balaie toute la hauteur de la soudure. Ce mouvement de balayage permet d'inspecter tout le volume de la soudure et rechercher des discontinuités dans les lignes de fusion et au cœur de la soudure.[18]

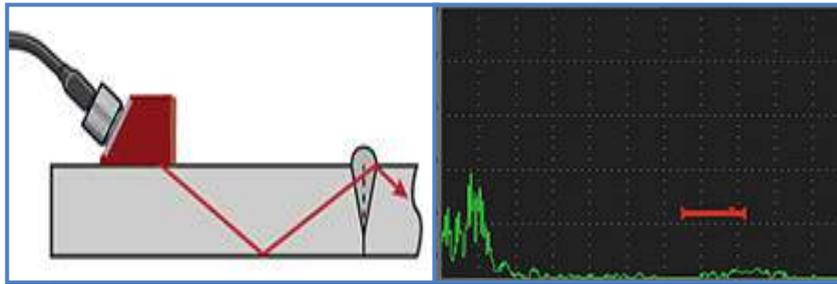


**Figure II.23:** Inspection de différentes positions avec un traducteur

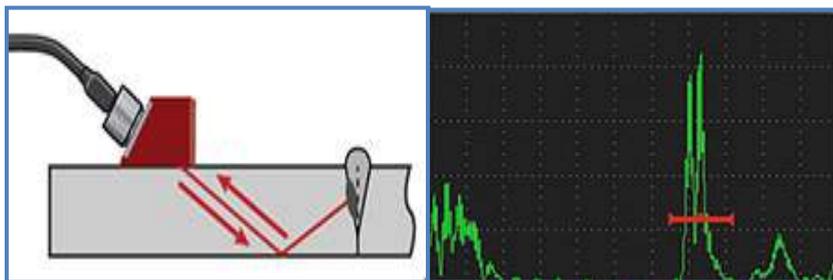
L'inspection avec un traducteur d'angle, tout comme l'inspection avec un traducteur droit, permet à l'inspecteur de rechercher des réflexions causées par des discontinuités. Pendant la configuration initiale, l'inspecteur doit prendre note de tout écho provenant du cordon de soudure ou d'autres structures géométriques. Les échos supplémentaires apparaissant dans la zone de la soudure pourraient correspondre à une manque de fusion, à des fissures, à de la porosité ou à d'autres discontinuités dont il est possible de déterminer le type, la profondeur et la taille à l'aide d'une analyse plus approfondie.[18]

Dans l'exemple présenté ci-dessous, le faisceau ultrasonore traverse une soudure saine sans être réfléchi et aucune indication importante n'est visible à l'écran.

Une discontinuité dans la zone de la soudure, toutefois, crée une forte réflexion dans la zone d'intérêt indiquée par la porte rouge.



**Figure II.24:**Inspection avec untraducteur a angle sans indication



**Figure II.25:**Inspection avec untraducteur a angle avec indication

### III-1-Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter la procédure de pré contrôle qui doivent être suivies par l'opérateur pour préparer le matériel de contrôle par contact. La méthode de contrôle par ultrasons utilisé dans ce travail, pour détecter essentiellement les défauts internes des joints de soudures. Afin, de réaliser ce type de contrôle il faut suivre une procédure, qui définit la chaîne de contrôle et le type des transducteurs à utiliser, ainsi que les étapes d'étalonnage de cet appareil à ultrasons. L'étalonnage est une étape importante qui précède le contrôle.

### III-2-Dispositif expérimentale:

La chaîne de contrôle utilisée dans notre étude expérimentale est composée d'un appareil à ultrasons, des transducteurs et des pièces à contrôler.

#### III-2-1-Appareille à ultrasons:

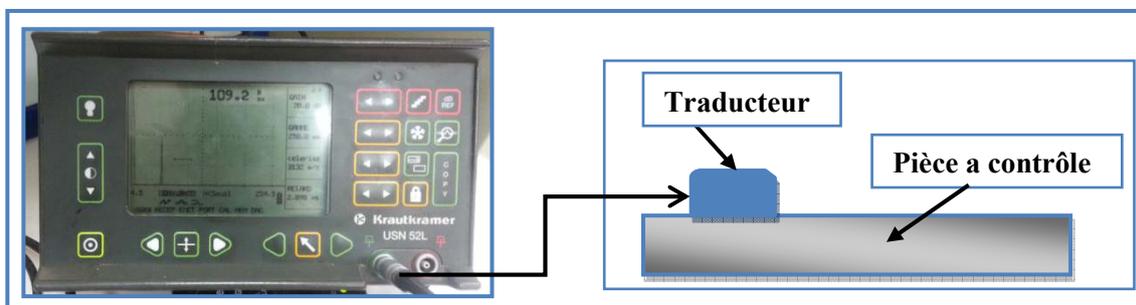


Figure III.1:Chaîne de contrôle par ultrasons.

La figure III.1 montre un appareil à ultrasons de marque Krautkramer USN 52L connecté à un transducteur piézoélectrique. Ce dernier, assure l'émission et la réception des ondes ultrason dans la pièce à contrôler. Il permet de détecter, localiser et évaluer des défauts internes.

#### III-2-2-Le signal A-Scan:

L'appareil à ultrasons Krautkramer USN 52L transmet un signal A-Scan qui est une représentation de l'amplitude des échos enregistrés par le récepteur en fonction de

## Chapitre III : Les préparations de matériel de contrôle à ultrason.

ladistance. Le signal A-Scan est un signal mono dimensionnel qui est à la base de toutes méthodes d'exploitation et d'interprétation de données ultrasonores en contrôle non destructif. Si le matériau contient des imperfections (défauts), un écho de défaut représentera les ondes réfléchies par ce défaut.[22]

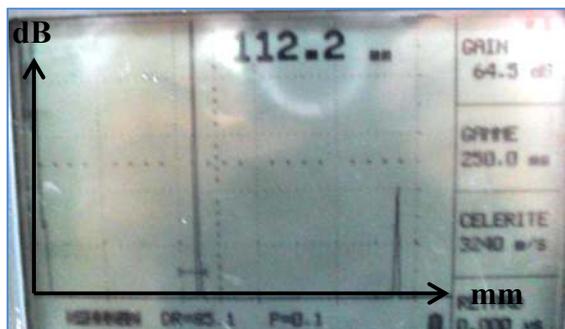


Figure III.2: Amplitude d'échos (dB) en fonction de la distance (mm)

### III-2-3-Traducteurs :

Deux types de traducteurs sont utilisés dans ce travail expérimental. Des traducteurs droits pour la génération des ondes L et des traducteurs à angle pour la génération des ondes T (voir image III.3).



Figure III.3: Transducteurs Piézoélectriques (a) à ondes longitudinales (b) à ondes transversales.

La figure III.3 (a) montre une paire de traducteurs à ondes longitudinales à élément piézoélectrique, qui sont conçus pour une application directe sur la surface de la pièce.

Traducteurs	Traducteurs 1	Traducteurs 2
Fréquence centrale (MHz)	2, 25	5
Diamètre de la pastille piézoélectrique (mm)	13	13

Tableau III.1 : Fréquence centrale et le diamètre de la pastille piézoélectrique des deux transducteurs.

## **Chapitre III : Les préparations de matériel de contrôle à ultrason.**

---

Le tableau 1 représente les fréquences et les diamètres de deux transducteurs s longitudinaux utiliser dans le contrôle.

La figure III.3 (b) représente une paire de transducteur à angle qui est utilisés pour générer des ondes transversales sous incidence oblique. Ces transducteurs sont utilisés notamment pour le contrôle des soudures.

<b>Transducteurs</b>	<b>Transducteurs 1</b>	<b>Transducteurs 2</b>
<b>Fréquence (MHz)</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Les dimensions de la pastille piézoélectrique (mm)</b>	<b>8*9</b>	<b>8*9</b>
<b>L'angle de Transducteur (degré)</b>	<b>60</b>	<b>70</b>

**Tableau III.2 :** Fréquence transversale centrale et le diamètre de la pastille piézoélectrique des deux transducteurs.

Le tableau 2 représente les fréquences et les dimensions des deux transducteurs à onde transversales.

### **III-2-4-Le Couplant :**

Dans le contrôle à ultrasons, un couplage sous la forme d'un liquide est utilisé pour éliminer l'air entre le transducteur et la surface de la pièce. Si l'air se trouve entre le transducteur et la pièce à contrôler, la transmission des ondes ultrasonores dans la pièce est négligeable en raison de la faible impédance acoustique de l'air par rapport à l'impédance acoustique de la pièce.

Les couplant couramment utilisés sont : l'eau, les huiles, les graisses etc.....

Pour la sélection d'un agent de couplage convenant à une inspection d'une pièce les points suivants doivent être pris en considération :

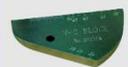
- la finition de surface de l'éprouvette,
- la température de la pièce à contrôler.
- la précaution d'une éventuelle réaction chimique entre pièce/couplage.[5]

### **III-2-5-Les cales ou les blocs d'étalonnage:**

Toutes les techniques de contrôle non destructif nécessitent l'emploi de cales ou de blocs d'étalonnage soit pour étalonner la chaîne de mesure, soit pour définir le niveau de sensibilité souhaité par rapport à des défauts artificiels.

## Chapitre III : Les préparations de matériel de contrôle à ultrason.

Ces cales ou ces blocs peuvent être définis dans des normes internationales avec parfois certaines équivalences. [19]

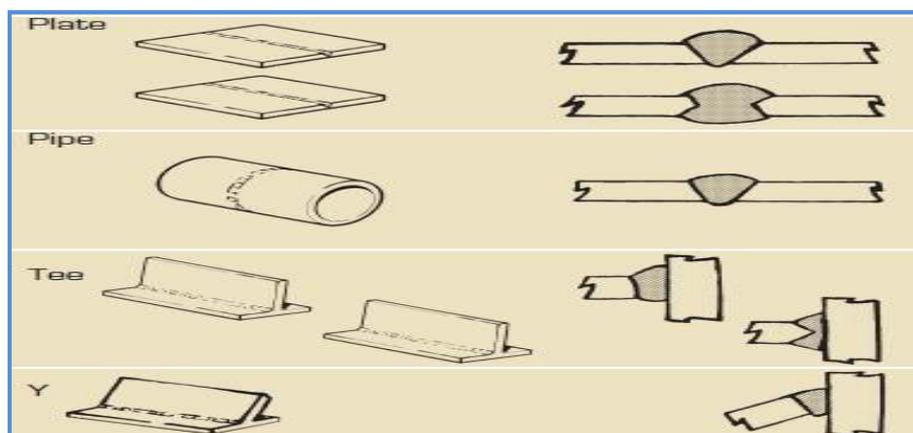
Recherche de défauts				
	Référence	Matière	Norme	Description
	BEI-1	Acier	NF EN 12223	
	BEI-1 ALU	Aluminium	NF EN 12223 pour les dimensions	
	BEI-1 INOX	Acier Inoxydable 304	NF EN 12223 pour les dimensions	
	BEM-2	Acier	NF EN 27963 et ISO 7963	Largeur 12,5 mm, trou de 5 mm
	BEM-2-20	Acier	NF EN 27963 et ISO 7963	Largeur 20 mm, trou de 5 mm
	BEM-2 ALU	Aluminium	NF EN 27963 et ISO 7963	Largeur 12,5 mm, trou de 5 mm
	BEM-2 INOX	Acier Inoxydable	NF EN 27963 et ISO 7963	Largeur 12,5 mm, trou de 5 mm

**Tableau III.4:** les cales les plus utilisées pour détecter les défauts [19]

Le tableau III.4 montre les cales de référence, les normes, et les dimensions.

### III-2-6-Les pièces à contrôler:

Ces pièces sont spécialement conçues pour la formation et la certification des opérateurs de contrôle non destructif à ultrason. Elles contiennent chacune une soudure qui comporte au moins 2 ou 3 défauts naturels ou artificiels, de nature différente (fissuration, inclusions, porosités, manque de pénétration, etc...). [19]



**Figure III.5:** Les différentes pièces à contrôler [19]

### III-2-7-Sélection des paramètres de traducteur à ultrasons:

Trois paramètres à définir pour le choix du traducteur, le premier paramètre est le type de traducteur, normal ou à angle, le choix doit être tel que le défaut attendu offre une réflectivité maximale. [5]

## **Chapitre III : Les préparations de matériel de contrôle à ultrason.**

---

Le deuxième paramètre est la fréquence qui dépend de la taille du défaut qu'on souhaite détecter, La première considération appelle à l'utilisation d'une fréquence aussi élevée que possible car en général le diamètre du plus petit défaut détectable est égal ou supérieure à un tiers de la longueur d'onde des ondes ultrasonores utilisées.

Les avantages d'une fréquence élevée est la possibilité de détecter des défauts de faible taille, les traducteurs à haute fréquence émettent de plus courtes impulsions ultrasoniques et donc présentent une meilleure résolution.[5]

Les traducteurs utilisés pour notre étude ont des fréquences comprises entre 2.25 à 5 MHz pour la génération des ondes longitudinales et entre 2 à 4 MHz pour la génération des ondes transversales.

Le troisième paramètre est l'angle d'incidence de l'onde, L'angle du traducteur est normalement choisi parmi 45, 60 ou 70, selon la plus courte longueur du trajet de faisceau à la racine de soudure, ce dernier dépend de l'épaisseur de la pièce. Comme montre le tableau 3[5]

<b>L'épaisseur du métal de base</b>	<b>6-15 mm</b>	<b>15 - 35 mm</b>	<b>Plus de 35 mm</b>
<b>L'angle du traducteur</b>	<b>60 ou 70</b>	<b>60 ou 45</b>	<b>45</b>

**Tableau III.3 : Le choix d'angle du traducteur.**

### **III-3-Etalonnage:**

#### **III-3-1-Etalonnage en distance :**

Le but est de matérialiser à l'écran une distance représentant l'épaisseur de la zone à inspecter avec la plus grande précision possible. On agira sur les points suivantes:[20]

1/L'échelle ou la gamme, elle est égalée à 2 à 3 fois l'épaisseur de la pièce.

2/La célérité, ou la vitesse de l'onde dans la pièce à contrôler.

3/Le retard, ajuster le décalage de la base de temps ou le retard traducteur.

4/Le gain, amplifier les échos réfléchis pour l'affichage.

5/Le zéro, ajuster la perte l'onde dans la couche protectrice du traducteur avant de pénétrer dans la pièce.

## Chapitre III : Les préparations de matériel de contrôle à ultrason.

6/La précision de la mesure des positions de défaut est directement liée à la nature du bloc de référence utilisé, dans les meilleures conditions un bloc du même matériau que la pièce à contrôler sera utilisé.

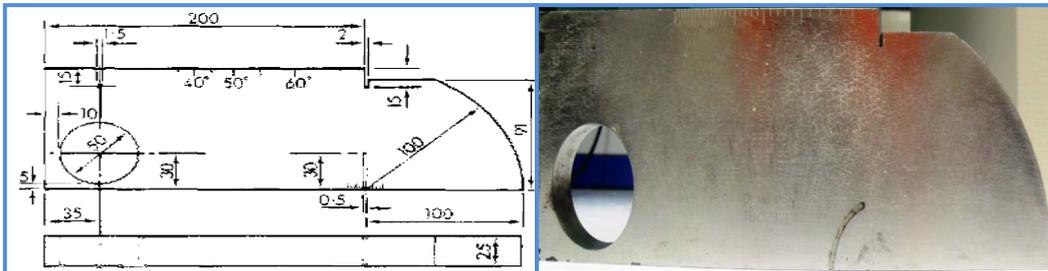


Figure III.6: Cale d'étalonnage VI (toutes les mesures sont en mm)[21]

La figure III.6 représente une cale d'étalonnage VI qui est utilisée avec un traducteur longitudinal ou transversal.

### III-3-1-1-Etalonnage avec des traducteurs normaux:

Pour l'étalonnage avec un traducteur normal pour une gamme allant jusqu'à 100 mm, le traducteur est placé à la position A (figure III.7) et multiples échos de fond sont obtenus, puis ajustés les échos à une échelle appropriée de l'écran en utilisant le zéro et le retard comme le montre la figure III.8.

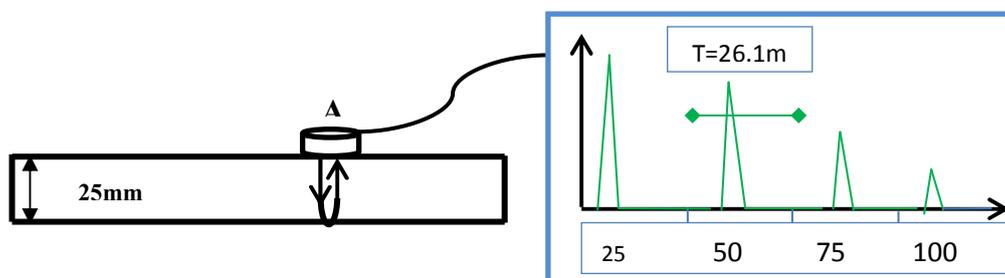


Figure III.7: Position du traducteur sur un bloc d'étalonnage et le signal correspondant

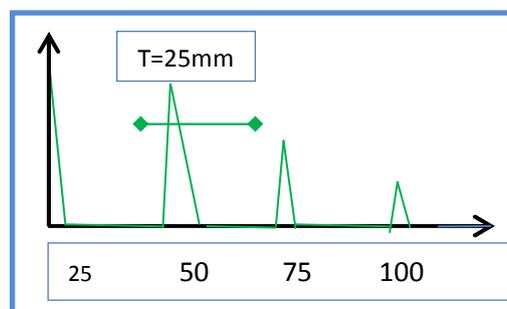


Figure III.8: signal après étalonnage

La figure III.8 montre l'affichage pour un écran étalonné à 100 mm

## Chapitre III : Les préparations de matériel de contrôle à ultrason.

Pour l'étalonnage à une gamme allant jusqu'à 250 mm ou plus avec un traducteur normal, le traducteur est placé à la position B ou C ou D (Figure III.9) et les multiples échos de fond sont obtenus.

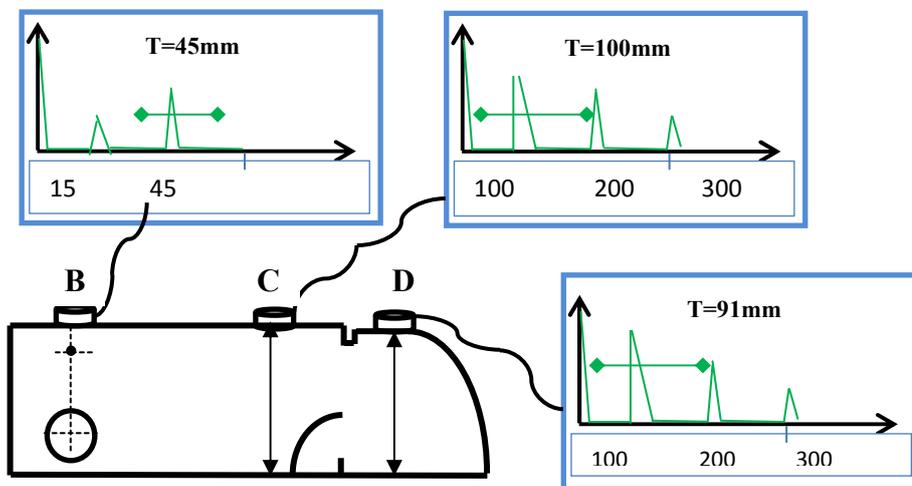


Figure III.9: Trois positions du traducteur sur un bloc d'étalonnage

La figure III.9 montre l'affichage de l'écran étalonné à une gamme de 500 mm, dans la position B, on voit le petit écho qui s'affiche sur l'écran, cet écho est l'écho de défaut artificiel.

### III-3-1-2-Etalonnage avec des traducteurs à angle:

Pour l'étalonnage avec un traducteur à angle pour une gamme de 200 mm ou plus, comme le traducteur normal, la méthode la plus directe est d'obtenir des échos de fond multiples du quadrant de rayon qu'égalise à 100 mm. En plaçant le traducteur à la position E (Figure III.10), un affichage de l'écran pour une gamme de 200 mm est représenté, par déplacement du transducteur, on recherche l'écho d'amplitude maximale de la pointe d'émergence correspond au point O, qui est le centre du quadrant de rayon 100 mm sur la cale étalon. Puis ajuster les échos à une échelle appropriée de l'écran en utilisant le zéro et le retard comme le montre la figure III.11.

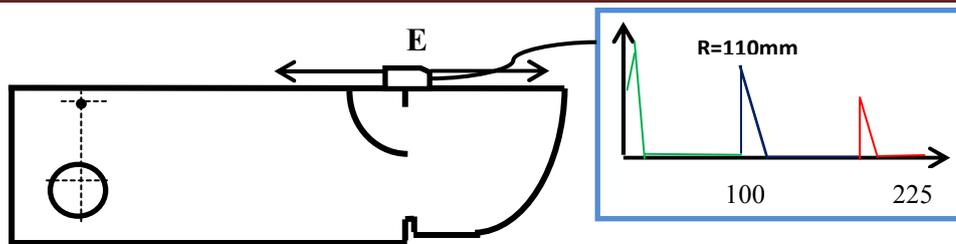


Figure III.10: le positionnement du traducteur sur le bloc et son signal

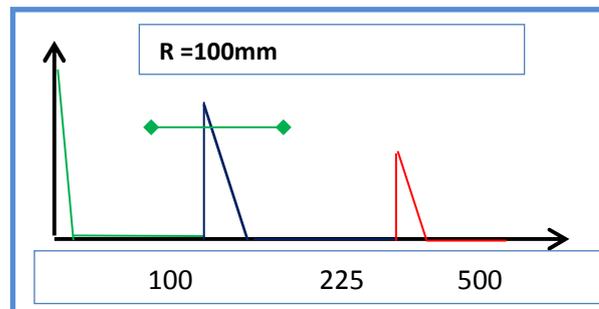


Figure III.11: signal après étalonnage

Plusieurs échos de fond sont utilisés parce que la distance entre l'impulsion de transmission et le premier écho de fond est un peu plus grande que la distance entre deux échos consécutifs. Cette erreur est provoquée par les ultrasons déplaçant dans la couche protectrice de traducteur et la couche de couplage avant de pénétrer dans la pièce.

### IV-1-Introduction :

Après l'étalonnage de l'appareil à ultrason, l'opérateur peut démarrer le contrôle des joints soudés, la procédure est décrite dans les étapes suivantes:

1<sup>er</sup> étape est la détection et la localisation, il s'agit de détecter le défaut dans la pièce à contrôler, puis de définir sa localisation par rapport un repère donné et bien défini.

2<sup>em</sup> étape est le dimensionnement, l'opérateur doit connaître les différentes méthodes de caractérisation de taille du défaut autour du cordon de soudure.

3<sup>em</sup> étape l'identification, l'opérateur doit être capable de connaître le type et la nature de défaut.

### IV-2-Détection et Localisation des défauts:

#### IV-2-1-Détection et Localisation par ondes longitudinales:

Avant de procéder au contrôle de la soudure elle-même, il faut toujours contrôler les zones adjacentes au joint soudé par ondes longitudinales.

Le métal de base doit être examiné, en utilisant un traducteur normale pour détecter les arrachements lamellaire. [5]

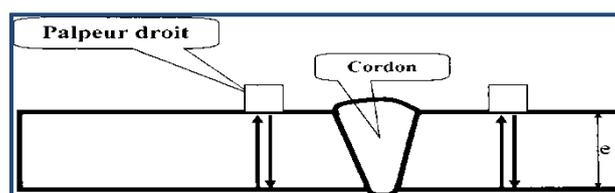


Figure IV.1: Contrôle par ondes longitudinales

La procédure standard utilisée pour révéler les arrachements lamellaire dans les plaques et les tuyaux (pipe) qui doivent être soudées, est donnée ci-dessous :

- Etalonner l'appareil pour une gamme appropriée.
- Placez le traducteur sur la pièce à contrôler et d'ajuster le gain.
- Balayez la pièce à la recherche des indications des arrachements lamellaire qui vont apparaître dans l'épaisseur de la pièce ainsi que croiser avec une réduction d'amplitude d'écho de fond.

Dans le cas des traducteurs normaux, La localisation d'un défaut détecté peut être lue directement à partir de l'écran de l'appareil à ultrason. La localisation d'un défaut sous la surface est sa profondeur dans la pièce contrôlée.

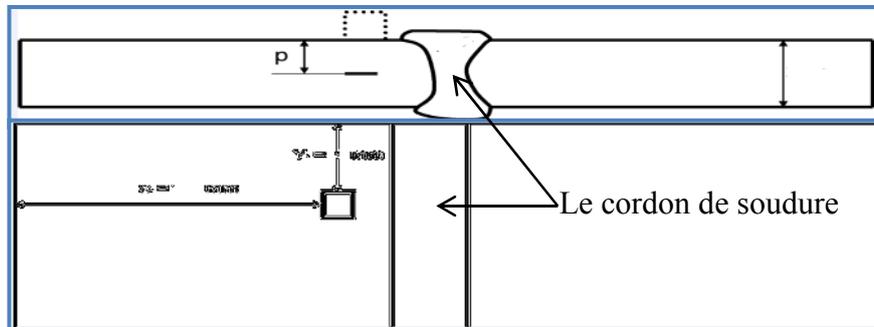


Figure IV.2: Positionnement de défaut par ondes longitudinales[24]

La figure IV.2 montre la position d'un défaut. Sa profondeur sera affichée sur l'appareil et sa position par rapport un axe choisira pris au-dessus de la pièce à contrôler.

### IV-2-3-Zones ou Lignes de balayage:

Les zones ou les lignes de balayages sont deux lignes parallèles au cordon de soudure. Elles définissent les limites de la zone de balayage du traducteur. Les lignes de balayage ont les mêmes formules pour tous les types de soudage sauf que les repères sont différents, qui peuvent être calculé à partir les formule suivantes:

$$A = e \cdot \tan \theta \text{ et } B = 2 \cdot e \cdot \tan \theta.$$

Les zones de balayage pour une soudure en V peuvent être déterminées.

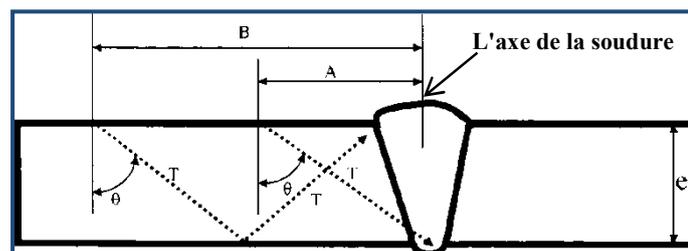


Figure IV.3: Zones de balayage de pièces soudées en V

Dans le cas des pièces soudées en V il faut balayer les deux côtés du cordon de soudure.

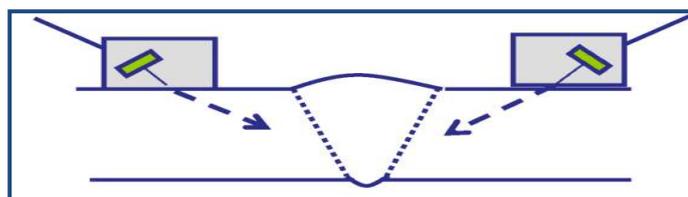


Figure IV.4: Les côtes à balayer d'une pièce soudée en V

Les zones de balayage pour une soudure en X commencent au bord du cordon de soudure comme le montre la figure IV.5.

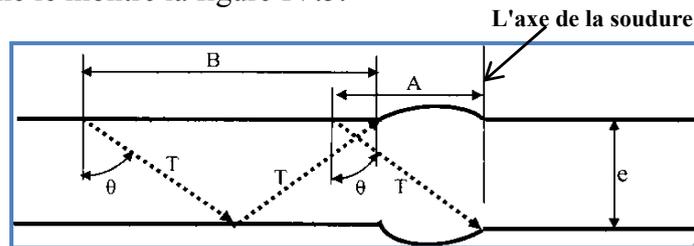


Figure IV.5: Zones de balayage d'une pièce soudée en X

Dans le cas des pièces soudées en X il faut balayer les quatre côtés du cordon de soudure.

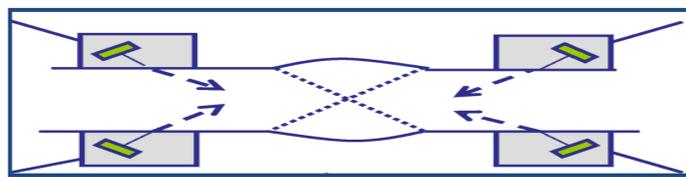


Figure IV.6: Les côtés à balayer dans une pièce soudée en X [24]

Pour les zones de balayage pour une soudure en T, pour toutes les inspections de la soudure, l'accès à plusieurs surfaces est obligatoire. Dans la pratique, l'accès à plus d'une surface ne peut pas être disponible et l'inspection effectuée peut être limitée, les procédures à effectuer pour une inspection globale sont illustrées dans la figure IV.7.

Le premier balayage est exécuté avec un traducteur normal pour détecter les arrachements lamellaires, manque de fusion etc.

Le deuxième balayage se fait avec un traducteur à angle pour détecter les fissures de racine.

Le troisième balayage est un traducteur à angle pour détecter les manques de fusion dans les parois latérales. [5]

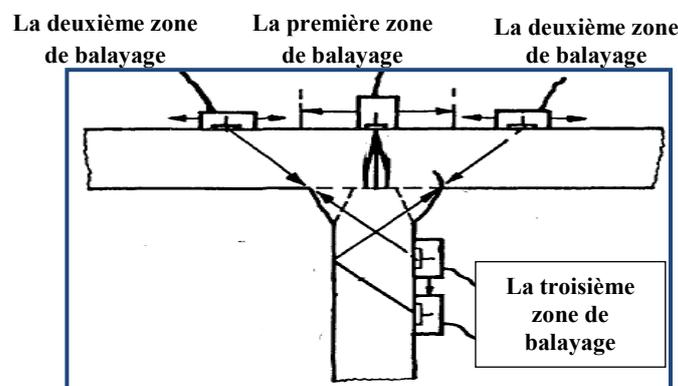


Figure IV.7: Les côtés à balayer dans une pièce soudée en Y

#### IV-2-4-Détection et Localisation par ondes transversale :

La prochaine étape est de faire un contrôle du cordon de soudure. En effet, c'est la zone dans laquelle les défauts sont les plus susceptibles de se produire et les plus dommageable, et c'est la région dans laquelle l'inspecteur est le plus susceptible d'être confondu.[5]

En utilisant la procédure de contrôle qui suit, le contrôle de cordon de soudure est le même que pour les joint soudés en V ou X, ou T:

-Sélection un angle de traducteur approprié selon l'épaisseur, puis étalonné l'appareille pour une gamme appropriée.

-Calcul et marque sur les deux côtés du métal de base les lignes de balayage parallèles à la ligne centrale de la soudure comme le montre la figure IV.8.

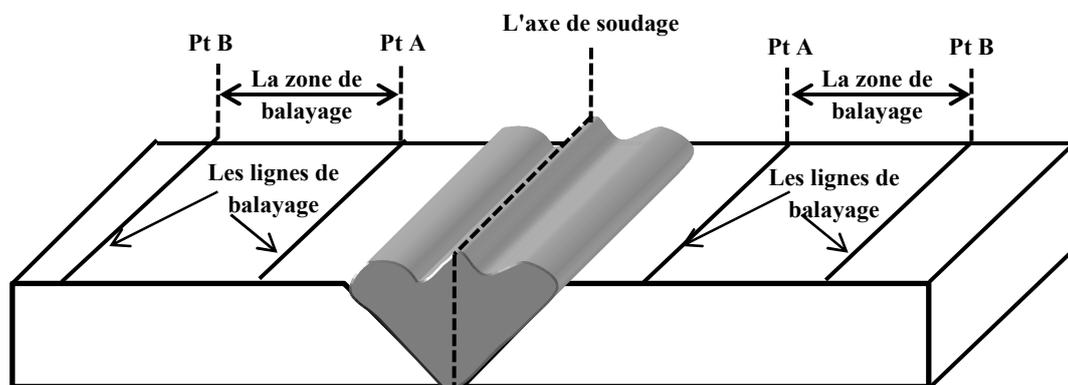


Figure IV.8: Tôles soudées bout à bout et chanfreinées en V

-Puis balayer la pièce selon un motif en zigzag entre les limites de zone de balayage marquées (figure IV.9). Chaque balayage avant doit être perpendiculaire à la ligne centrale de la soudure, et la hauteur des zigzags devrait être une demi-largeur du traducteur pour assurer une couverture complète.

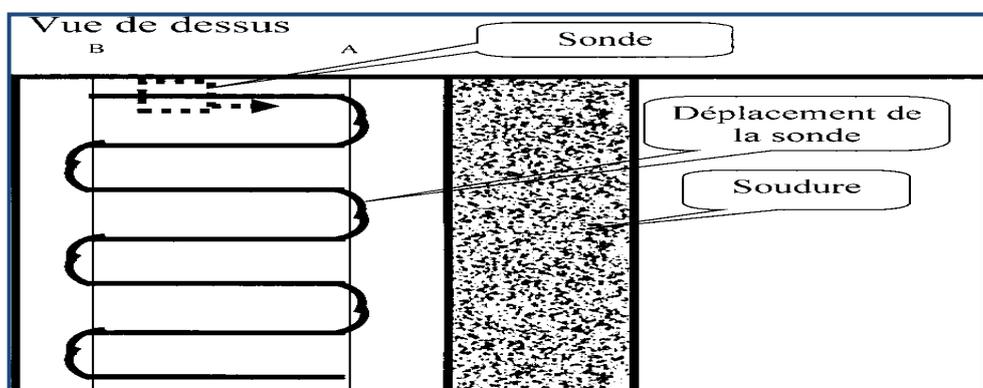


Figure IV.9: Marche dans la zone de balayage

-Marquez les zones, où les échos de défauts se produisent, pour emplacement ultérieur, définir la nature et le dimensionnement du défaut.

Dans le cas des traducteurs à angle l'emplacement de défauts au-dessous de la surface doit être calculé à partir la longueur du trajet et de l'angle d'incidence de l'onde.

Pour position dans point A comme le montre la figure IV.8 et IV.9:

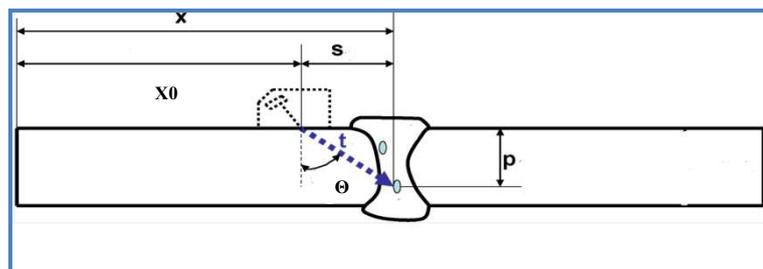


Figure IV.10: Position d'un défaut par ondes transversal pour un demitrajét[24]

**X0** est la distance entre letraducteur et l'axe X, **X0** est prise de la surface de pièce.

Le trajet **t**est la distance tronquée par les ondes propagées à l'intérieur du volume du matériau et s'affiche sur l'appareil directement.

La profondeur **P**est la profondeur de défaut dans la pièce, qui peut être calculé avec la formule suivants **P=t\*cosθ**

**S**est la distance entreletraducteur et le cordon de soudure, c'est calculer à partir la formule suivants **S=t\*sin θ**.

La distance entre le cordon de soudure et l'axe X est pris par la formule suivants **X=S+X0**.

Pour une distance AB comme le montre la figure IV.8 et IV.9:

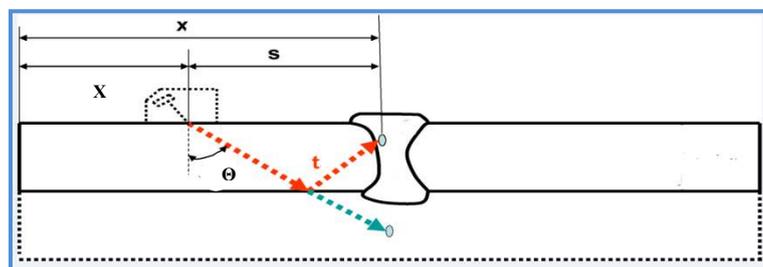


Figure IV.11: Position d'un défaut par ondes transversal pour un trajetcomplète [24]

La distance **X0**, et la distance **S**, et la distance **X**, sontprise par les mêmes formules.

Le trajet  $t$  s'affiche sur l'appareil, La profondeur  $P$  sera calculé avec la formule suivant  $P = 2 * e - t * \cos \theta$ .

Les dimensions a l'axe Y sont pris sur la pièce a contrôlé par rapport à la Position de traducteur ou est-il découvrir le défaut.

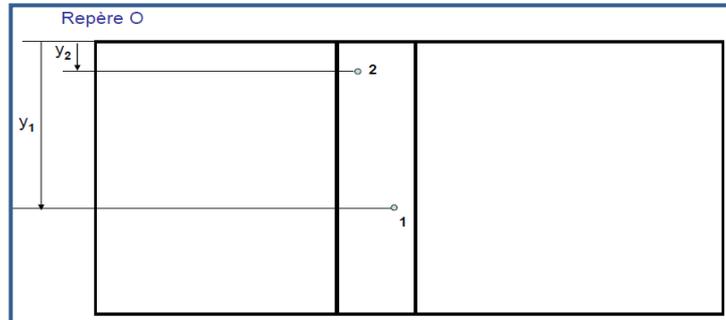


Figure IV.12: Positionnement des défauts par rapport l'axe Y [24]

#### IV-4-Techniques de dimensionnement courant:

Cette section contient la description des techniques de dimensionnement couramment utilisées pour évaluer la taille des défauts à l'aide dans un appareil à ultrasons.

##### IV-4-1-correction-amplitude-distance (CAD) ou (DAC):

###### IV-4-1-1-Principe de DAC:

Les blocs de DAC fournissent des défauts artificiels d'un état donné la taille à différentes profondeurs. Ils servent également comme une référence de manière que les indications lisibles seront affichées sur l'écran pour les défauts d'une taille donnée de plus petite à la plus grande,

Les courbes DAC sont produites en utilisant un bloc normaliser qui contient des trous percé sur les côtés, pour un traducteur a angle le DAC est réglée en ajustant l'amplitude provenant des trous percée, la première amplitude d'écho est jamais moins à 80% de la hauteur de l'écran de l'appareille. La position de traducteur est représentée en position 1 dans la figure IV.13(a) et la présentation à l'écran est affiché comme Figure IV.13(b) traducteur et ensuite déplacé vers d'autres positions (positions 2, 3 et 4 5 6 figure IV.13 (a) et l'amplitude afficher sur l'écran (Figure IV.13 (b)) pour chaque position. Une courbe est tracée rassemblant ces points. Ceci est la courbe de correction

d'amplitude de distance (DAC). Cette ligne représente le niveau de référence à divers profondeurs dans le bloc. Les lignes peuvent également être calculées à 50% ou 20% de ce niveau de référence[5]

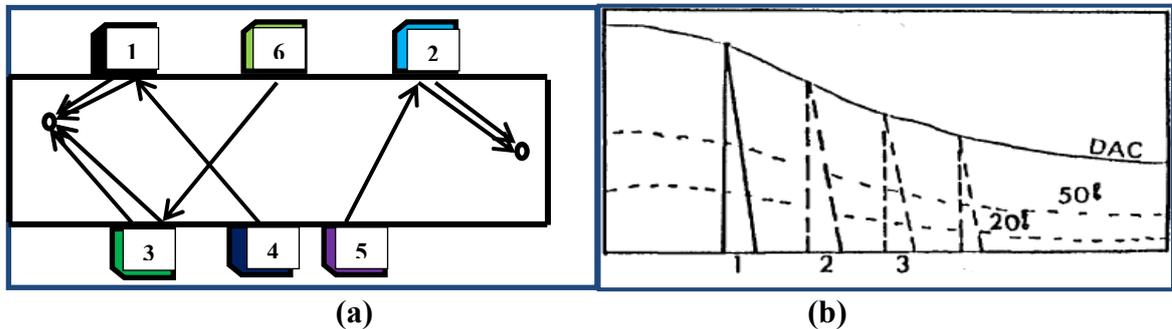


Figure IV.13: Le DAC (a) Schéma des points de DAC (b) L'amplitude de DAC

#### IV-4-1-2- Les critères d'acceptation pour le DAC:

Les discontinuités sont inacceptables si l'amplitude dépasse le niveau de référence de DAC, et les discontinuités qui sont interprétées comme des fissures, les manque de fusion, ou les manque de pénétration, ils sont inacceptables indépendamment de l'amplitude de l'écho.

#### IV-4-2- Dimensionnement a - 6dB:

##### IV-4-2-2- Principe de la méthode:

La méthode -6dB est adaptée pour le dimensionnement des défauts qui ont une taille du même ordre ou supérieure à celle de la largeur du faisceau ultrasonore. Généralement elle est utilisée pour déterminer la longueur des défauts parallèle au mouvement de transducteur.[5]

Les limites du défaut sont atteintes par l'axe du transducteur quand l'amplitude du défaut diminué à 50%. La procédure pour déterminer la longueur est la suivante:

Positionnez le transducteur pour obtenir l'écho maximal du défaut. Puis maintenir la hauteur de l'écho à 80% de l'amplitude d'écran.

Déplacez le transducteur à travers le défaut dans une seule direction jusque quand l'amplitude de l'écho attende la moitié de la hauteur ajustée précédemment.

Marquer ce point comme le début du défaut. Ensuite en fait la même pour l'autre direction (direction opposée) et marquer la deuxième point comme la fin du défaut, la distance entre les deux marques que donne la longueur du défaut.

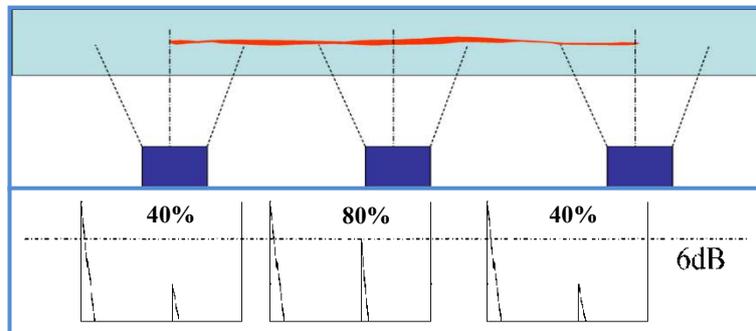


Figure IV.14: Le mécanisme de la méthode -6db [24]

### IV-5-Identification et Caractérisation des défauts:

#### IV-5-1-Types des défauts:

Lorsque le balayage démontre la présence d'une indication, il faut identifier l'emplacement du traducteur produisant l'amplitude la plus élevée. Cette recherche de l'amplitude maximale est effectuée dans deux directions, d'abord sur la longueur de la soudure (direction transversale) et ensuite par rapport à la distance de la soudure (direction Latérale) et une estimation de la nature du défaut peut être réalisée. La nature d'un défaut est constatée par une série de mouvements contrôlés du traducteur comme dans la figure IV.15:[5]

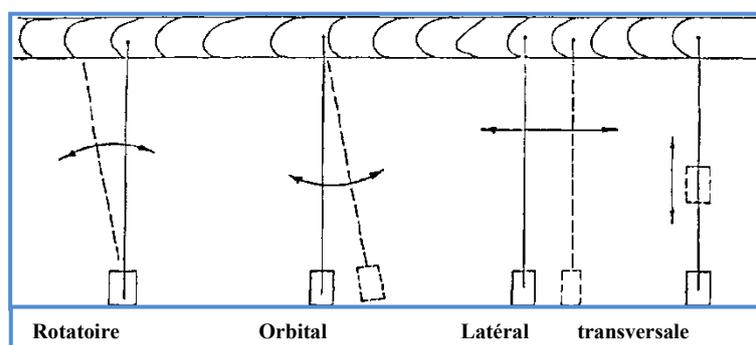
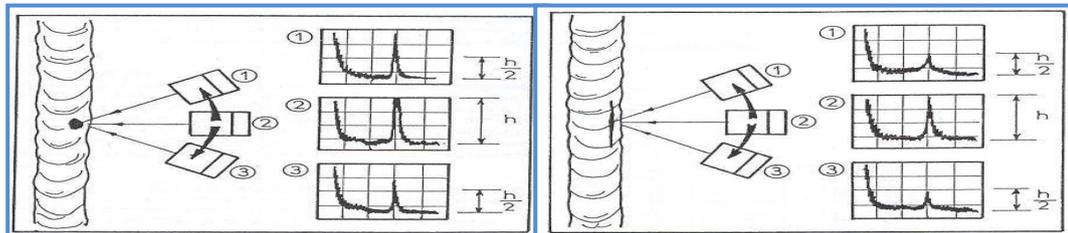


Figure IV.15: Mouvement du traducteur

On peut faire une distinction entre les défauts volumiques et les défauts plans. En tournant le traducteur de 10 degrés autour de l'axe du défaut comme le montre la figure IV.16. S'il est volumique, l'écho reste à peu près constant ou au moins supérieur à la moitié de son amplitude. S'il est plan, au contraire, l'écho disparaît ou

au moins inférieur à la moitié de son amplitude. L'idéal est que l'onde réfléchi ne retourne pas dans la direction du traducteur. Par ailleurs, un défaut est considéré comme plan si sa largeur est inférieure à trois fois sa longueur, tous les autres défauts sont considérés comme des défauts volumiques.



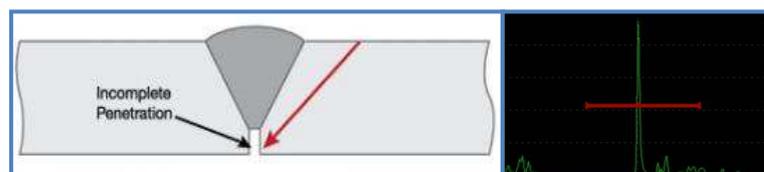
(a)(b)  
**Figure IV.16:** Types des défauts (a) défauts volumiques (b) défauts plans

**IV-5-2-Nature des défauts:**

**IV-5-2-1-Défauts plans:**

Les fissures, les manques de pénétrations et les manques de fusions sont tous des défauts plans, ils ne peuvent pas être différenciés les uns des autres. Pour déterminer la nature de chaque défaut avec certitude, l'emplacement de défauts dans la soudure doit être établi.

Le manque de pénétration génère généralement une très forte réflexion à partir de la racine de la soudure. Elle est aussi observée lorsque la soudure est inspectée de l'autre côté.[25]



**Figure IV.17:** Manque de pénétration et son amplitude d'écho

Le manque de fusions génère couramment une forte réflexion avec une montée et une chute rapides. Une réponse prolongée lors du balayage axial indique la longueur de la coupe transversale. [25]



**Figure IV.18:** Manque de fusion et son amplitude d'écho

La fissuration à la racine génère une amplitude dans le demi-trajet à partir de la racine de la soudure. L'indication de fissuration apparaît près de la réflexion provenant de la première passe de soudure [25]

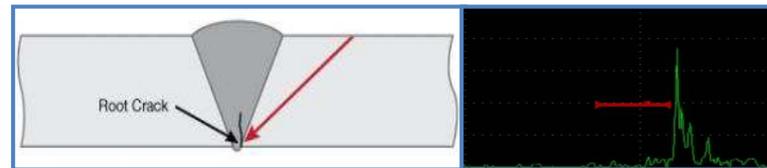


Figure IV.19: Fissuration à la racine et son amplitude d'écho

La fissure au raccordement génère généralement un signal dans le trajet complet provenant du dessus de la soudure, devant l'écho du cordon lorsque la soudure est inspectée d'un côté et après l'écho du cordon lorsqu'elle est inspectée de l'autre côté. Étant donné que les fissures génèrent souvent des réflexions multifformes.[25]

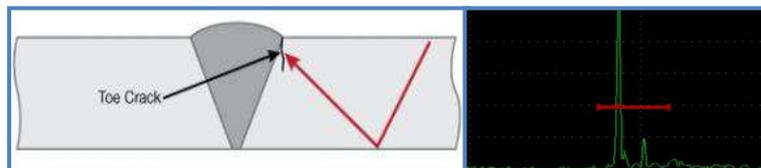


Figure IV.20: Fissure au raccordement et son amplitude d'écho

#### IV-5-2-2-Les défauts volumiques:

Les porosités et les inclusions génèrent généralement un grand nombre de petits échos montrant plusieurs répartitions des porosités, et les formes et les amplitudes des crêtes changent rapidement au moment de la rotation du transducteur. Les échos provenant de ces indications ne sont généralement pas aussi forts que les échos produits par les défauts plans et les fissures. Dans la plupart des cas, les échos provenant des porosités peuvent être distinguées parmi les inclusions, car les porosités donnent des échos beaucoup plus petits tandis que les inclusions donnent des amplitudes d'écho qui se lèvent comme un arbre de pin.[25]

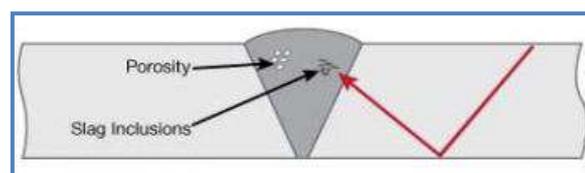
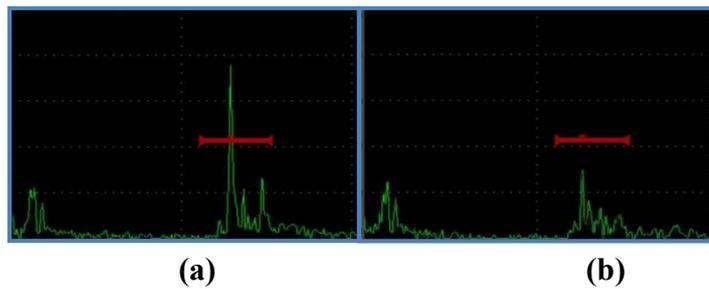


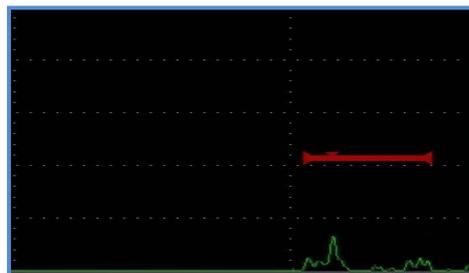
Figure IV.21: Les porosités et les inclusions



**Figure IV.22:** Amplitude d'écho (a) Défauts d'inclusion (b) Défauts de porosité

Les soufflures sont de mauvais réflecteurs à cause de ses formes rondes, seuls les ondes qui ont frappé les soufflures perpendiculairement sont réfléchies au traducteur. Toutes les ondes ayant une incidence à angle sont dispersées.[25]

Au cours d'un mouvement rotatoire, ou latéral, ou transversal l'amplitude de l'écho est très petit, cependant, l'écho monte et descend rapidement et en douceur quand le faisceau balaye à travers le cordon de soudure.[25]



**Figure 23:** Echo de soufflures.

**V-1-Introduction:**

Nous avons étudiés par ultrasons les défauts sur trois joints soudés:

- 1- soudure en V
- 2- soudure en X
- 3- soudure en Y

Les pièces ont été contrôlées dans les deux côtés du cordon de soudure en utilisant un transducteur normale avec un fréquence de 2,25 à 5 MHz et un célérité égale 3200 m/s (la vitesse de son dans les acier) pour le métal de base et un transducteur à angle (60° ou 70°) avec un fréquence de 2 à 4 MHz et un célérité égale 5900 m/s (la vitesse de son dans les acier) pour les cordon de soudure (les zones de balayage).

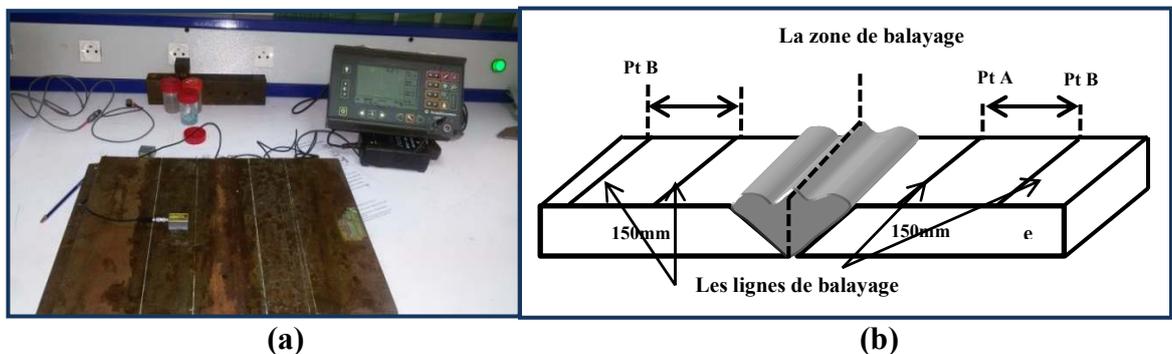
La précision de la mesure des positions de défaut est directement liée aubloc utilisé durant l'étalonnage, qui est du même matériau que la pièce à contrôler

Les pièces soudées sont on général en acier au carbone, chaque pièce est livrée avec une caractérisation individuelle effectuée en ultrasons. Chaque défaut est dimensionné (longueur), positionné dans la soudure grâce à un schéma individuel et dimensionné en amplitude (en dB) avec un angle d'inspection donné.

Les pièces ont été contrôlées dans les deux côtés du cordonsoudure en utilisant un transducteur normale pour le métal de baseet un transducteur d'angle pour les zones de balayage.

**V-2-Piece soudée on V:**

La première pièce est une soudure bout à bout avec une tôle chanfreinée en V, de dimension  $e=24\text{mm}$   $l=150\text{mm}$   $L=300\text{mm}$



**Figure V.1:**Tôles soudée bout à bout et chanfreinées en V(a) image réel (b) schéma

**V-2-1-Choix des paramètres et calcul des distance:**

Type de Transducteur	Taille de Transducteur	Fréquence de Transducteur	L'angle de Transducteur	Gain Initial
normal	Rayon a 13mm	5 MHz	0°	45 dB
A angle	8*9 mm	4 MHz	60°	60 dB

**Tableau V.1:** Les paramètres de transducteur pour la pièce

Nous avons trace deux repère sur la surface de la pièce (comme le montre la figure V.1) délimité par le point A et point B dont la distance proportionnable a l'axe de soudage.

Point A=  $e \cdot \tan \theta = 24 \cdot \tan 60 = 41.6 \approx 41$  mm

Point B=  $2 \cdot e \cdot \tan \theta = 2 \cdot 24 \cdot \tan 60 = 83.13 \approx 84$  mm

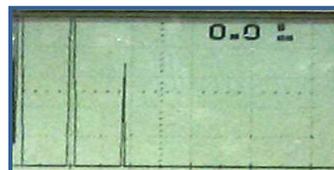
La longueur de trajet de demi bond=  $e / \cos \theta = 24 / \cos 60 = 48$ mm

La longueur de trajet de bond complète=  $2 \cdot e / \cos \theta = 2 \cdot 24 / \cos 60 = 96$ mm

**V-2-2-Détection et Localisation et Identification des défauts:**

**V-2-2-1-Contrôle de métal base:**

Après avoir appliqué le traducteur droit, les échos obtenus sont représentés sur la figure V.2. Le premier écho correspond à l'écho d'excitation, le deuxième et le troisième sont les échos de fond, puisque la distance entre ces deux derniers échos correspond à 24mm qui est l'épaisseur de la pièce, donc on conclut que le défaut n'existe pas dans le métal de base contrôle.



**Figure V.2:** L'echo du traducteur normal

**V-2-2-2-Contrôle de cordon de soudure:**

Dans cette partie nous avons utilisé un traducteur à angle (60°) en faisant un balayage avec une zone de balayage qui s'étend du point A = 41mm, au point B = 84mm compté à partir de l'axe de soudage comme est expliqué dans la section IV-2-3

Les figures qui suivent montrent les échos obtenus sur l'oscilloscope, montrant la présence de défauts ayant réfléchi l'onde pour les défauts détectés.

Après le balayage, trois défauts ont été détectés dans le cordon de soudure.

Pour le défaut n 1:

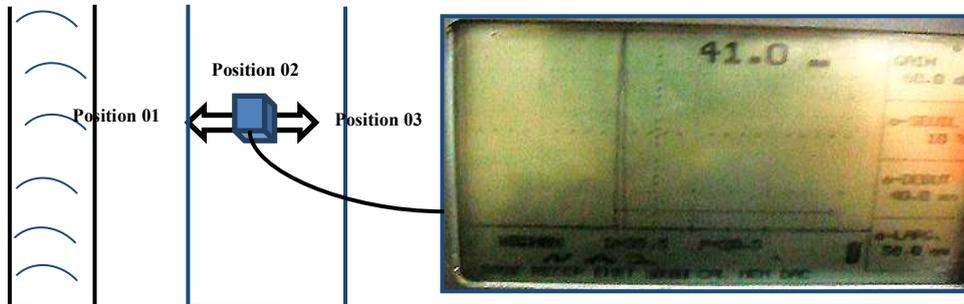


Figure V.3: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 01



Figure V.4: Écho de mouvement transversal (a) position 02 (b) position 03.

La figure V.3 et V.4 représentent les mouvements transversaux des variations des échos de défauts à différentes positions 1 2 3 (mouvement transversal)

D'abord on a exécuté une rotation de 10 degrés, on observe la disparition totale de l'écho du défaut. En conclusion on peut dire que le défaut est plan, comme il a été expliqué à la section IV-5-1

Puis on a effectué une série de mouvements pour déterminer la nature du défaut comme détaillé dans la section IV-5-2, puis on fait un mouvement transversal, et l'amplitude de l'écho du défaut fluctue. Les informations que nous avons rassemblées permettent de dire que notre défaut est soit une fissure ou un manque de pénétration ou manque de fusion. D'après les figures de position 01 et 02 et 03 on a calculé la profondeur et la distance de saut de défaut d'après les formules mentionnées dans la section IV-2-3, pour déduire la forme approximative du défaut dans la soudure.

Défauts	Longueur de trajet mm	Profondeur de défaut mm	Distance de saut mm
Position 01	41.0	20.5	35.5
Position 02	48.2	23.9	41.7
Position 03	50.6	22.0	43.8

Tableau V.2: La position de défauts

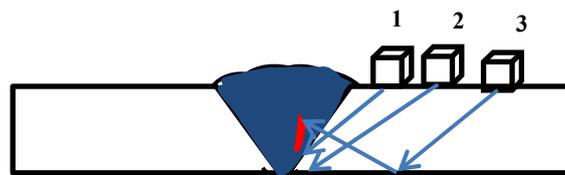


Figure V.5: La forme de défauts dans la pièce

On conclut d'après le tableau et le schéma que le type de défauts est une fissure dans la racine.

Défaut n 2:

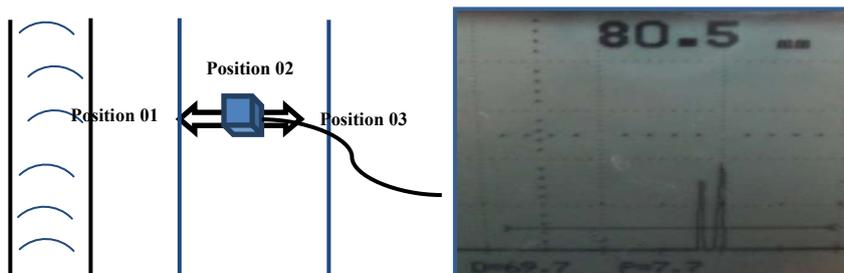


Figure V.6: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 01



Figure V.7: Écho de mouvement transversal (a) position 02 (b) position

On fait une rotation de 10 degrés, et on observe que l'écho n'a pas disparu mais il change un peu, on conclut que le défaut est volumique.

Puis on effectue un mouvement latéral ou transversal, de petits échos apparaissent, variant avec le mouvement de traducteur. On peut dire que ce défaut est une porosité.

D'après les figures de position 01 et 02 et 03 de la figure V.6 V.7 on calcule la profondeur et la distance de saut mentionné dans la section IV-2-3, pour déduire la forme approximative de défauts dans la soudure.

Défauts	Longueur de trajet mm	Profondeur de défaut mm	Distance de saute mm
Position 01	75.3	10.3	65.2
Position 01	80.5	7.7	69.7
Position 02	82.9	6.6	71.8

Tableau V.3: La position de défauts

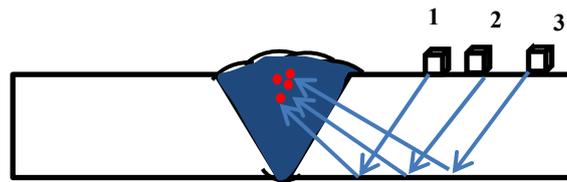


Figure V.8: La forme de défauts dans la pièce

Défaut n 3:

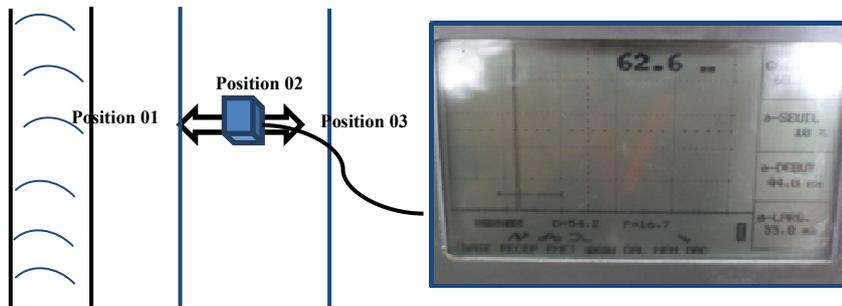


Figure V.9: Le défaut détecte sur la pièce dans la position 01



Figure V.10: Écho de mouvement transversal (a) position 02 (b) position 03.

On exécute une rotation de 10 degrés, l'écho de défaut disparaît totalement, en conclusion le défaut est plan.

Puis on effectue un mouvement transversal, cependant l'écho de défaut reste valide avec une variation notée comme le défaut n1. On peut dire que notre défaut est soit un manque de pénétration ou un manque de fusion ou une fissure.

D'après les figures de position 01 et 02 et 03 on calcule la profondeur et la distance de saut, pour déduire la forme approximative de défauts dans la soudure.

Défauts	Longueur de trajet mm	Profondeur de défaut mm	Distance de saut mm
Position 01	61.4	17.3	53.2
Position 02	62.6	16.7	54.2
Position 03	64.0	16.0	55.4

Tableau V.4: La position de défauts

D'après les résultats de tableau on peut dessiner le schéma que donne le type de défauts par un manque de fusion dans la paroi latéral.

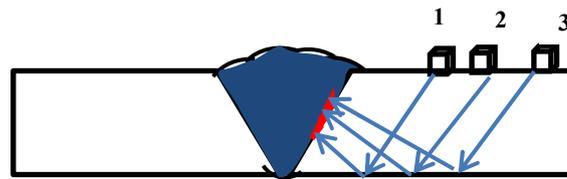


Figure V.11: La forme de défauts dans la pièce

**V-2-3-Dimensionnement et acceptation:**

On a utilisé la méthode -6db pour dimensionner les défauts, les détails sont dans le tableau suivants:

	Défauts 01	Défauts 02	Défauts 03
Distance à l'axe X	83mm	173mm	266mm
Distance à l'axe Y	204mm	222mm	185.5mm
Longueur défauts	23mm	29mm	30mm
Nature défauts	Fissure de racine	porosité	fissure dans la paroi latérale
Critère acceptation	rejeté	interprété	rejeté

Tableau V.5: Les défauts de la pièce contrôlé

**V-3-Piece soudée on X:**

La deuxième pièce est une soudure bout à bout avec tôle chanfreinée en X, avec ses dimension e=29mm l=150mm L=300mm

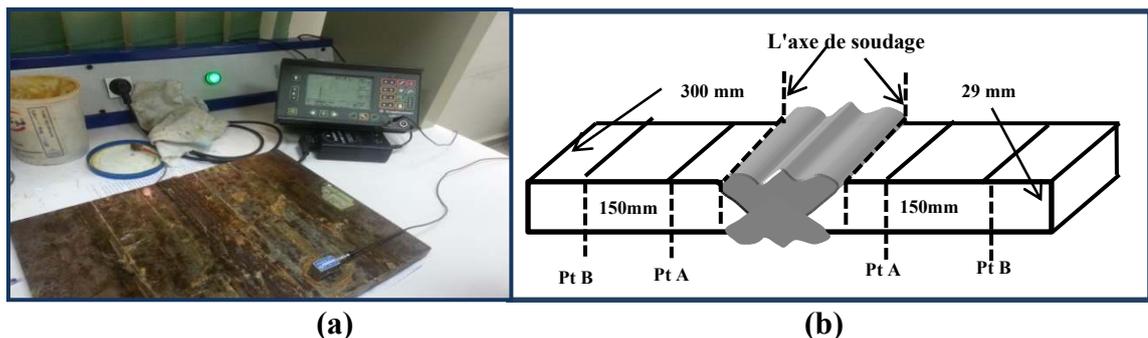


Figure V.12: Tôles soudées bout à bout et chanfreinées en X (a) image réel (b) schéma

**V-3-1-Choix des paramètres et calcule des distance:**

Type de Transducteur	Taille de Transducteur	Fréquence de Transducteur	L'angle de Transducteur	Gain Initial
normal	Rayon a 13mm	5 MHz	0°	45 dB
angle	8*9 mm	4 MHz	60°	60 dB

Tableau V.6: Les paramètres de transducteur pour la pièce

Point A=  $e \cdot \tan \theta = 29 \cdot \tan 60 = 50.22 \approx 50\text{mm}$

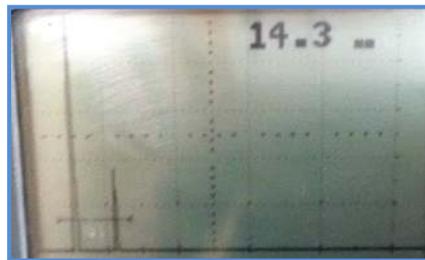
Point B=  $2 \cdot e \cdot \tan \theta = 2 \cdot 29 \cdot \tan 60 = 100.45 \approx 101\text{mm}$

La longueur de trajet de demi bond =  $e / \cos \theta = 29 / \cos 60 = 58\text{mm}$

La longueur de trajet de bond complète =  $2 \cdot e / \cos \theta = 2 \cdot 29 / \cos 60 = 116\text{mm}$

**V-3-2-Détection et Localisation et Identification des défauts:**

**V-3-2-1-Contrôle de métal base:**



**Figure V.13:** L'écho de défauts détecté sur la pièce

Défaut n 1:

D'abord on fait un contrôle du métal de base approchant au joint soudé, on observe une réduction d'amplitude dans l'écho de fond qui apparaît avec une augmentation d'un écho apparu avant l'écho de fond, la distance 14.3mm correspond à une profondeur qui est étendue dans l'épaisseur de la pièce, dans ce cas cet écho est un écho de défaut.

**V-3-2-2-Dimensionnement et acceptation:**

On a utilisé la méthode -6db pour dimensionner les défauts, les détails sont dans le tableau suivants:

	Défauts 01
Profondeur	14.3mm
Distance à l'axe X	200mm
Distance à l'axe Y	110mm
Longueur défauts	25mm
Critère acceptation	interpréter

**Tableau V.7:**La position de défauts

V-3-3-Contrôle de cordon de soudure:

Comme la pièce soudée en V, nous avons utilisé un palpeur à angle (60°), et en faisant un balayage avec une zone de balayage qui s'étend du point A = 50mm au point B = 101mmcompté à partir de l'axe de soudage comme est expliqué dans la sectionIV-2-4.

Après le balayage, deuxdéfauts ont été détectée dans le cordon de soudure.

Défaut n2 et n3:

D'abord on exécuteune rotation de 10 degrés, on observe que l'écho de défaut n2 et n3 disparaît complètement, on conclusion queces défauts sont des défauts plans.

Puis on effectueun mouvement latéral, l'écho de défauts n2 et n3 reste intact avec une variation de l'amplitudedel'écho, ensuite on fait un mouvement transversal, l'écho de défaut n2 et n3 se diminue et augment rapidement.Les informations que nous avonsassembléespermettent de dire que ces défautsont probablement desfissures ou des manques de fusions ou des manques de pénétrations.

Défaut n2:

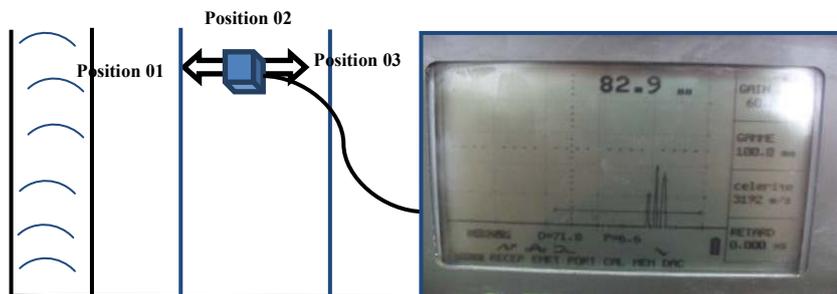


Figure V.14: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 02



Figure V.15: Écho de mouvement transversal(a) position 02(b) position

D'après les figures de position 01 et 02 et 03 on calcule la profondeur et la distance de saut, pour déduire la forme approximative de défauts dans la soudure.

Défauts	Longueur de trajet mm	Distance de saute mm	Profondeur de défaut mm
Position 01	82.9	71.8	6.6
Position 02	87	75.8	14.5
Position 03	99.6	86.3	8.2

Tableau V.8:La position de défauts

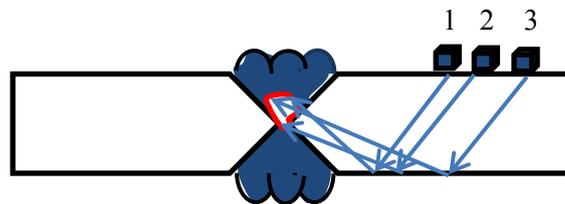


Figure V.16:La forme de défauts dans la pièce

On conclut d'après le tableau et le schéma que le type de défauts est un manque de pénétration.

Défaut n3:

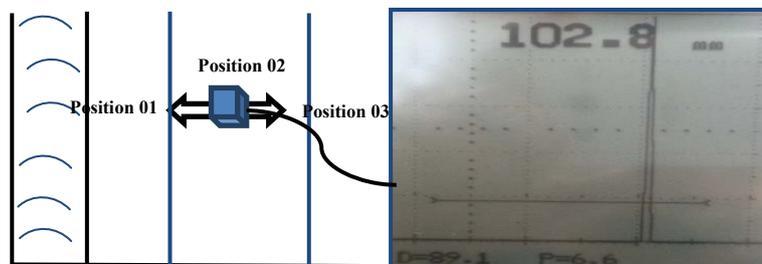
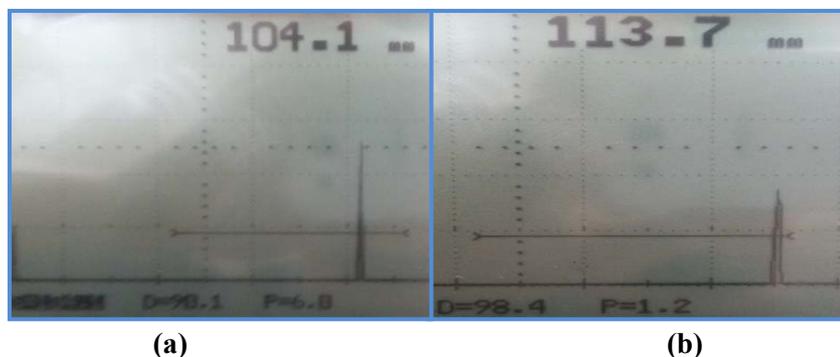


Figure V.17: Le défaut détecte sur la pièce dans la position 01



FigureV.18: Écho de mouvement traversant (a) position 02(b) position 03.

D'après les figures de position 01 et 02 et 03 on calcule la profondeur et la distance de saut, pour déduire la forme approximative de défauts dans la soudure.

Défauts	Longueur de trajet mm	Distance de saute mm	Profondeur de défaut mm
Position 01	102.8	89.1	6.6
Position 02	104.1	90.1	6.8
Position 03	113.7	98.4	1.2

Tableau V.9:La position de défauts

On conclut d'après le tableau et le schéma qui suit que le type de défauts est un manque de fusion

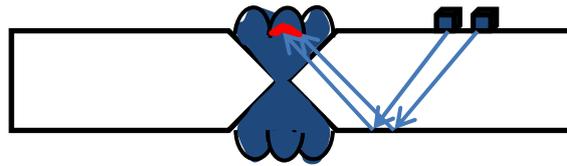


Figure V.19: La forme de défauts dans la pièce

**V-3-4-Dimensionnement et acceptation:**

On a utilisé la méthode -6db pour dimensionner les défauts, les détails sont dans le tableau suivants:

	Défauts 01	Défauts 02
Distance à l'axe X	213mm	252mm
Distance à l'axe Y	74mm	240mm
Longueur défauts	25mm	13mm
Nature défauts	Manque de fusion	Manque de pénétration
Critère acceptation	rejeté	rejeté

Tableau V.10: Les défauts de la pièce

**V-4-Piece Pipe:**

La troisième pièce est une pipe, avec une épaisseur  $e=12\text{mm}$ .

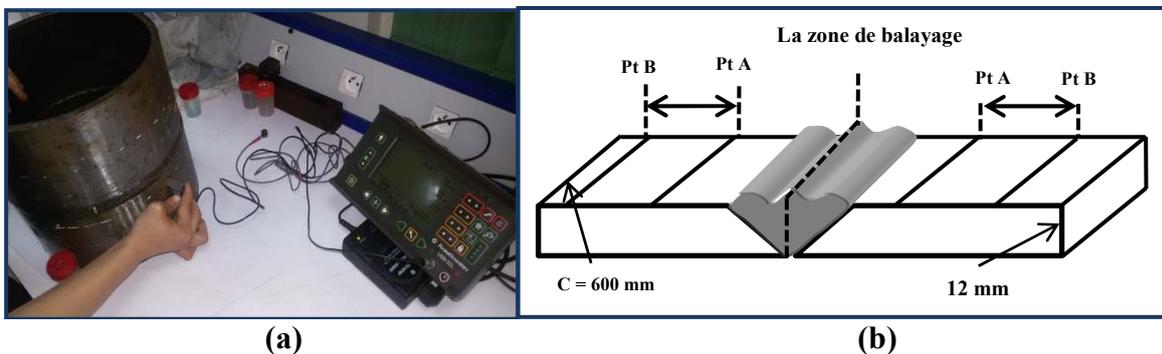


Figure V.20: Pipe soudée en V (a) image réel (b) schéma de pipe au cote

V-4-1-Choix des paramètres et calcul des distance:

Type de Traducteur	Taille de Traducteur	Fréquence de Traducteur	L'angle de Traducteur	Le gain Initial
normal	Rayon a 13mm	5 MHz	0°	45 dB
angle	8*9 mm	4 MHz	70°	60 dB

Tableau V.11: Les paramètres de traducteur de pièce

Point A=  $e \cdot \tan \theta = 12 \cdot \tan 70 = 32.96 \approx 32\text{mm}$

Point B=  $2 \cdot e \cdot \tan \theta = 2 \cdot 12 \cdot \tan 70 = 65.93 \approx 66\text{mm}$

La longueur de trajet de demi bond=  $e / \cos \theta = 12 / \cos 70 = 35.08\text{mm}$

La longueur de trajet de bond complète=  $2 \cdot e / \cos \theta = 2 \cdot 12 / \cos 70 = 70.17\text{mm}$

V-4-2-Détection et Localisation et Identification des défauts:

V-4-2-1-Contrôle de cordon de soudure:

Dans ce cas nous avons utilisé un palpeur à angle (70°), et en effectuant un balayage avec une zone de balayage qui s'étend du point A=32mm au point B=66mm compté à partir de l'axe de soudage comme est expliqué dans la section IV-2-4

Deux défauts ont été détectés dans le cordon de soudure contrôlé après le balayage.

Pour le défaut n 1:



Figure V.21: Le défaut détecté sur la pièce dans la position



Figure V.22: Écho de mouvement traversant (a) position 02 (b) position 01.

On a exécuté une rotation de 10 degrés, l'écho du défaut atotalement disparu. En conclusion on peut dire que le défaut est un défaut plan, comme il a été expliqué dans la section IV-5-1

Puis on a effectué un mouvement latéralcomme détaillé dans la section IV-5-2, l'écho de défaut reste intact pendant une certaine distance avec une variation d'intensité de l'écho, puis on fait un mouvement transversal, et l'écho de défaut varie de manière permanant.On peut traduire dire que ce défaut est soit un manque de pénétration ou un manque de fusion ou une fissure.

D'après les figures de position 01 et 02 et 03 on peut déduire la forme approximative de défauts dans la soudure.

Défauts	Longueur de trajet mm	Distance de saute mm	Profondeur de défaut mm
Position 01	30.2	28.4	10.3
Position 02	31.5	29.6	10.77
Position 03	32.6	30.63	11.14

Tableau V.12:La position de défauts

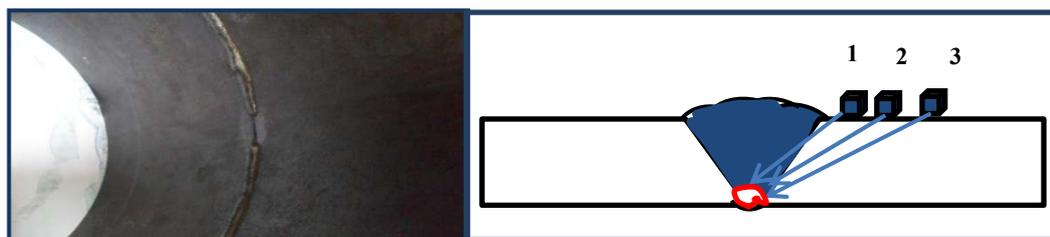


Figure V.23:La forme de défauts dans la pièce

Défaut n 2:

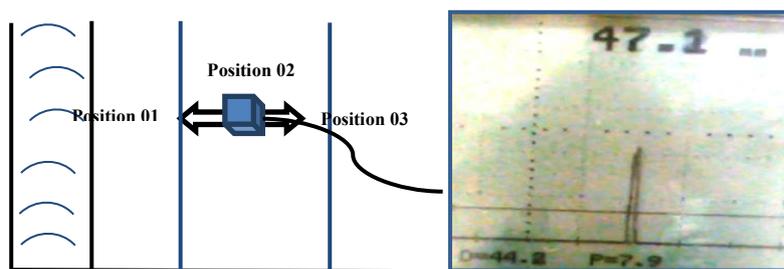


Figure V.24: Le défaut détecté sur la pièce dans la position



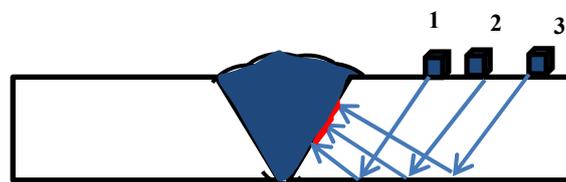
FigureV.25: Écho de mouvement transversal (a) position 02(b)position

Comme précédant on a exécuté une rotation de 10 degrés, puis on observe une disparition totale de l'écho du défaut. On peut dire que le défaut est un défaut plan.

Les résultantes que nous avons obtenus sont les mêmes pour ces défauts comme le défaut n1. C'est à dire que notre défaut est soit un manque de pénétration ou un manque de fusion ou une fissure. D'après les figures de position 01 et 02 et 03 on peut déduire la forme approximative de défauts dans la soudure.

Défauts	Longueur de trajet mm	Distance de saute mm	Profondeur de défaut mm
Position 01	47.1	44.2	7.9
Position 01	51.7	48.5	6.2
Position 02	61.1	57.4	3.1

**Tableau V.13:**La position de défauts



**Figure V.26:**La forme de défauts dans la pièce

On conclut d'après le tableau et le schéma que le type de défauts est un manque de fusion dans la paroi latérale.

**V-4-2-2-Dimensionnement et acceptation:**

On a utilisé la méthode -6db pour dimensionner les défauts, les détails sont dans le tableau suivants:

	Défauts 03	Défauts 01
Distance à l'axe X	210mm	320mm
Distance à l'axe Y	102mm	120mm
Longueur défauts	25mm	19mm
Nature défauts	Manque de fusion dans paroi latérale	Manque de pénétration
Critère acceptation	rejeté	rejeté

**Tableau V.14:** Les défauts de la pièce

**V-5-Pièce soudée on T:**

Dans cette pièce la soudure est en T, a une épaisseur e=19mm.

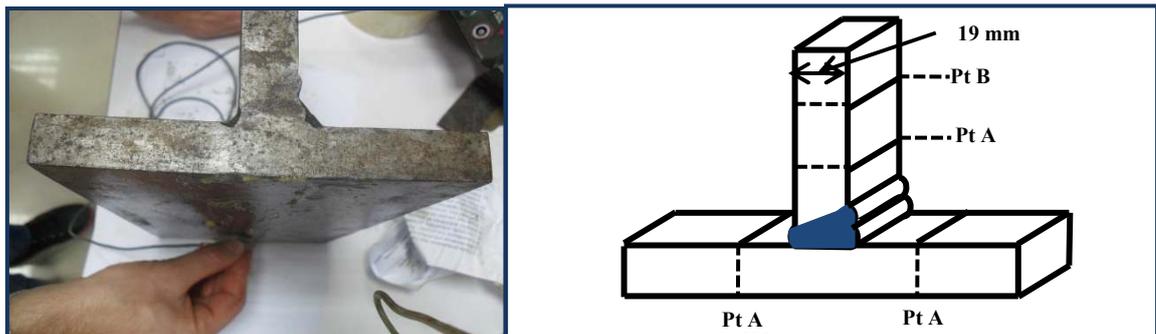


Figure V.27: dimension d'une pièce soudée en T

**V-5-1-Choix des paramètres et calcul des distance:**

Type sonde	Taille de sonde	Fréquence	angle	gain
normal	Rayon a 13mm	5 MHz	0°	45 dB
angle	8*9 mm	4 MHz	60°	60 dB

Tableau V.15: Les paramètres de transducteur pour la pièce

Point A=  $e \cdot \tan \theta = 19 \cdot \tan 60 = 32.9 \text{ mm} \approx 32 \text{ mm}$

Point B=  $2 \cdot e \cdot \tan \theta = 2 \cdot 19 \cdot \tan 60 = 65.80 \text{ mm} \approx 66 \text{ mm}$

La longueur de trajet de demi bond=  $e / \cos \theta = 19 / \cos 60 = 38 \text{ mm}$

La longueur de trajet de bond complète=  $2 \cdot e / \cos \theta = 2 \cdot 19 / \cos 60 = 76 \text{ mm}$

**V-5-2-Détection et Localisation et Identification des défauts:**

**V-5-2-1-Contrôle de cordon de soudure:**

Nous avons utilisé un traducteur droit et à angle (60°), et en réalisant un balayage comme est expliqué dans la section IV-2-4.

On a trouvé un seul défaut dans le cordon de soudure contrôlé.

Pour le défaut n 1:

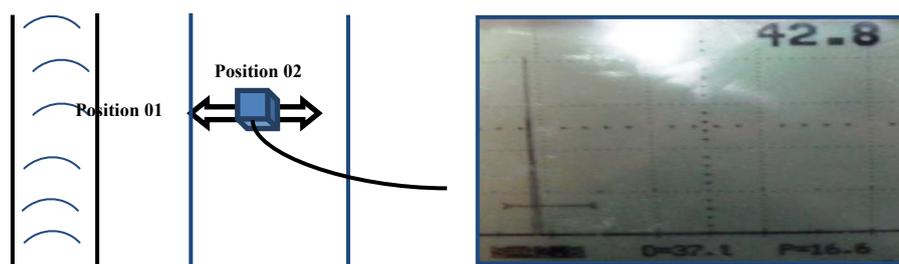


Figure V.28: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 01

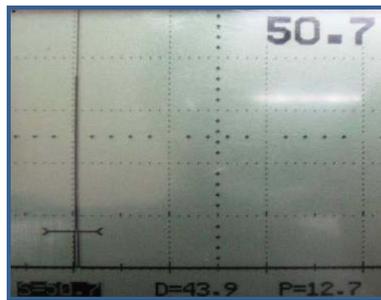


Figure V.29:Écho de mouvement transversal position

On exécute une rotation de 10 degrés, on observe la disparition totale de l'écho du défaut. En conclusion on peut dire que le défaut est un défaut plan, comme il a été expliqué à la section IV-5-1

On fait un mouvement latéral, l'écho de défaut reste intact avec une variation de l'amplitude de l'écho, puis on fait un mouvement transversal, et l'écho de défaut varie de façon permanente. Ces résultats confirment que ce défaut est une fissure.

D'après les figures de position 01 et 02 on calcule la profondeur et la distance de saut, pour déduire la forme approximative de défauts dans la soudure.

Défauts	Longueur de trajet mm	Distance de saute mm	Profondeur de défaut mm
Position 01	42.8	37.1	16.6
Position 02	50.7	43.9	12.7

Tableau V.16:La position de défauts

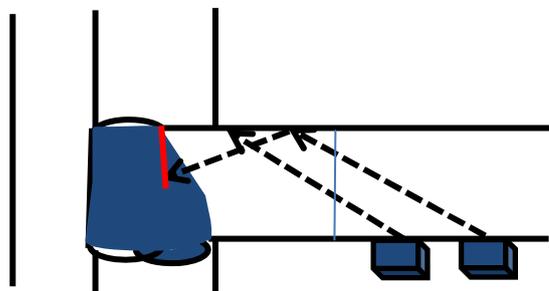


Figure V.30: La forme de défauts dans la pièce

### V-5-2-2-Dimensionnement et acceptation:

On a utilisé la méthode -6db pour dimensionner les défauts, les détails sont dans le tableau suivants:

	Défauts 01
Distance à l'axe X	38mm
Longueur défauts	20mm
Nature défauts	Fissuration
Critère acceptation	rejeté

Tableau V.17: Les défauts de la pièce

V-6-Piece soudé on Y:

La dernier pièce est une soudure en Y, avec une épaisseur=24mm.

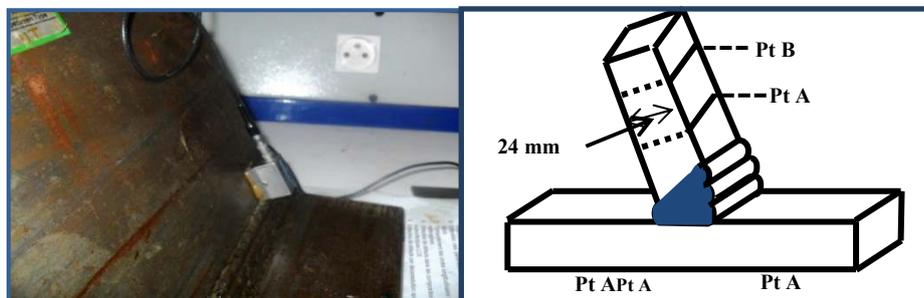


Figure V.30: Dimension d'une pièce soude en Y

V-6-1-Choix des paramètres et calcul des distance:

Type de Transducteur	Taille de Transducteur	Fréquence de Transducteur	L'angle de Transducteur	Gain Initial
normal	Rayon a 13mm	5 MHz	0°	45 dB
A angle	8*9 mm	4 MHz	60°	60 dB

Tableau V.18: Les paramètres de transducteur pour la pièce

Point A=  $e \cdot \tan \theta = 24 \cdot \tan 60 = 41.6 \approx 41 \text{ mm}$

Point B=  $2 \cdot e \cdot \tan \theta = 2 \cdot 24 \cdot \tan 60 = 83.13 \approx 84 \text{ mm}$

La longueur de trajet de demi bond=  $e / \cos \theta = 24 / \cos 60 = 48 \text{ mm}$

La longueur de trajet de bond complète=  $2 \cdot e / \cos \theta = 2 \cdot 24 / \cos 60 = 96 \text{ mm}$

V-6-2-Détection et Localisation et Identification des défauts:

V-6-2-1-Contrôle de métal base:

Après avoir appliqué le palpeur droit, les échos obtenus sont représentés sur la figure 100. La distance entre les échos correspond à 24mm qui est l'épaisseur de la pièce qui est affichée sur l'oscilloscope, c'est à ne dire aucun défaut dans la zone de métal de base.

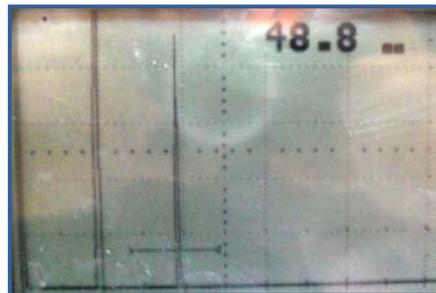


Figure V.32: L'écho du traducteur normal

V-6-2-2-Contrôle de cordon de soudure:

On a utilisé un palpeur à angle (60°) comme les autres pièces, puis en réalisant un balayage comme est expliqué dans la section IV-2-4. On a trouvé deux défauts dans la soudure en Y contrôlé.

Pour le défaut n 1:

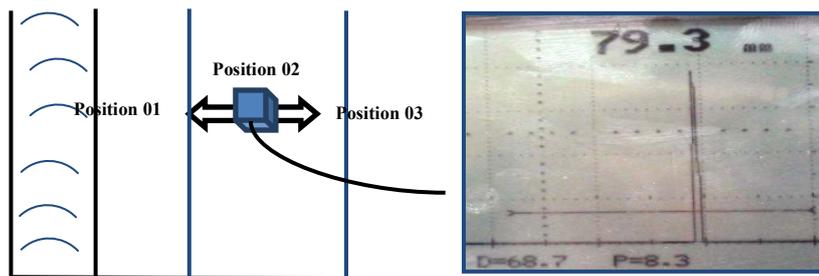


Figure V.33: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 01

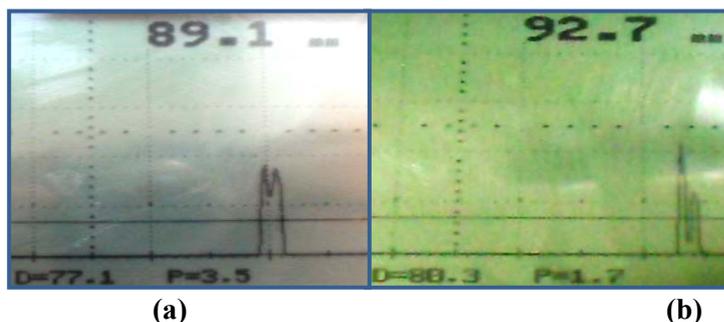


Figure V.34:Écho de mouvement traversant (a) position 02(b)position 03.

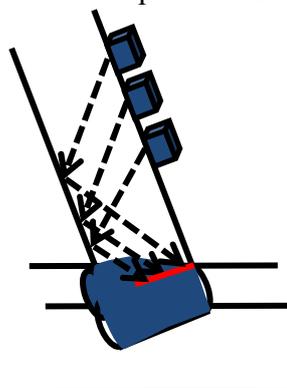
On a exécuté une rotation de 10 degrés, on observe la disparition totale de l'écho du défaut. En conclusion on peut dire que le défaut est un défaut plan, comme il a été expliqué à la section IV-5-1

Puis on fait un mouvement latéral, l'écho de défaut reste intact avec une variation de l'amplitude du écho, puis on fait un mouvement transversal, et l'écho de défaut varie de façon permanente.

D'après les figures de position 01 et 02 et 03 on calcule la profondeur et la distance de saut, pour déduire la forme approximative de défauts dans la soudure.

Défauts	Longueur de trajet mm	Distance de saute mm	Profondeur de défaut mm
Position 01	79.3	68.7	8.3
Position 02	89.1	77.1	3.5
Position 03	92.7	80.3	1.7

**Tableau V.19:**La position de défauts



**FigureV.35:** La forme de défauts dans la pièce

Les informations que nous avons avant assemblé du tableau et du schéma permettent de dire que notre défaut est une fissure.

**V-6-2-3-Dimensionnement et Identification:**

On a utilisé la méthode -6db pour dimensionner les défauts, les détails sont dans le tableau suivants, les détails sont dans le tableau suivant:

	Défauts 01
Distance à l'axe X	120mm
Longueur défauts	22mm
Nature défauts	Fissure de racine
Critère acceptation	rejeté

**Tableau V.20:**Le défaut de la pièce

**Conclusion:**

L'étude expérimentale qui été réalisée dans ce chapitre, nous permis de détecter, localiser, dimensionné, identifier des défauts de différents types et formes comme les fissures, les manques de fusions, les manques de pénétration, les porosités etc.....

---

## Liste des figures :

Figure I.1: Différentes zones d'un joint soudé.....	1
Figure I.2: Les différentes préparations d'un soudage bout à bout.....	2
Figure I.3: Les différentes préparations d'un soudage on T.....	2
Figure I.4: Différentes formes de fissuration.....	3
Figure I.5: Arrachement lamellaire dans un joint en T.....	4
Figure I.6: Différents types de manque de fusion.....	4
Figure I.7: Défauts de pénétration (a) manque de pénétration (b) excès de pénétration.....	5
Figure I.8: Les différentes formes de cavitation.....	6
Figure I.9: L'emplacement d'une inclusion.....	6
Figure II.1: Principe de contrôle par ressuage.....	7
Figure II.2: Contrôle par magnétoscopie.....	8
Figure II.3: Principe de la détection par courants de Foucault.....	8
Figure II.4: Schéma représentatif du principe de la radiographie.....	9
Figure II.5: Contrôle par écho.....	9
Figure II.6: Contrôle par transmission.....	10
Figure II.7: modèle d'un corps élastique.....	10
Figure II.8: Caractéristiques principales des ondes acoustiques.....	11
Figure II.9: Description de la propagation d'une onde longitudinale.....	12
Figure II.10: Description de la propagation d'une onde transversale.....	12
Figure II.11: les ondes de surface ou de Rayleigh.....	13
Figure II.12: les ondes de Lamb.....	13
Figure II.13: La réflexion et la transmission à l'incidence.....	14
Figure II.14: Phénomène de réfraction.....	15
Figure II.15: Angles de réfraction.....	16
Figure II.16: les réfractions et conversion de mode.....	16
Figure II.17: Transducteur piézoélectrique.....	17
Figure II.18: L'effet piézoélectrique(a) direct(b) inverse.....	17
Figure II.19: Champ proche et champ lointain.....	18
Figure II.20: Inspection avec une sonde directe avec Absence d'indication.....	20
Figure II.21: Inspection avec une sonde directe avec Présence d'indication.....	20
Figure II.22: Inspection avec un traducteur d'angle.....	21

---

---

Figure II.23:Inspection de différentes positions avec une sonde d'angle.....	21
Figure II.24:Inspection avec une sonde d'angle sans indication.....	22
Figure II.25:Inspection avec une sonde d'angle avec indication.....	22
Figure III.1: Chaîne de contrôle par ultrasons.....	23
Figure III.2: Amplitude d'échos (dB) en fonction de la distance (mm).....	24
FigureIII.3: Transducteurs Piézoélectriques (a) à ondes longitudinales (b) à ondes transversales.....	24
Figure III.4: les cales les plus utilisent pour détecte les défauts.....	26
Figure III.5: Les diffèrent pièces à Controller.....	26
Figure III.6: Cale d'étalonnage VI (toutes les mesures sont en mm).....	28
Figure III.7: Position du traducteur sur un bloc d'étalonnage et le signal correspondant.....	28
Figure III.8: signal après étalonnage.....	28
Figure III.9: Trois positions du traducteur sur un bloc d'étalonnage.....	29
Figure III.10: le positionnement du traducteur sur le bloc et son signal.....	30
Figure III.11: signal après étalonnage.....	30
Figure IV.1: Contrôle par ondes longitudinales.....	31
Figure IV.2: Positionnement de défaut par ondes longitudinales.....	32
Figure IV.3: Zones de balayage de pièce soudée on V.....	32
Figure IV.4: Les côtes à balayer d'une pièce soudée on en V.....	32
Figure IV.5: Zones de balayage d'une pièce soudée on X.....	33
Figure IV.6: Les côtes à balayer dans une pièce soudée en X.....	33
Figure IV.7: Les cotes à contrôler dans une pièce soudée en Y.....	33
Figure IV.8: Tôles soudée bout à bout et chanfreinées en V.....	34
Figure IV.9: Marche dans la zone de balayage.....	34
Figure IV.10: Position d'un défaut par ondes transversal pour un demi trajet.....	35
Figure IV.11: Position d'un défaut par ondes transversal pour un trajet complète.....	35
Figure IV.12: Positionnement des défauts par rapport l'axe Y.....	36
Figure IV.13: Le DAC(a) Schéma des points de DAC(b) L'amplitude de DAC.....	37
Figure IV.14: Le mécanisme de la méthode -6db.....	38
Figure IV.15: Mouvement du traducteur.....	38
Figure IV.16: Les types de défaut (a) défaut volumique (b) défaut plan.....	39
Figure IV.17: Manque de pénétration et son amplitude d'écho.....	39
Figure IV.18: Manque de fusion et son amplitude d'écho.....	39
Figure IV.19: Fissuration à la racine et son amplitude d'écho.....	40

---

---

Figure IV.20: Fissure au raccordement et son amplitude d'écho.....	40
Figure IV.21: Les porosités et les inclusions.....	40
Figure IV.22: Amplitude d'écho(a) Défauts d'inclusion(b) Défauts de porosité.....	41
Figure IV.23: Echo de soufflures.....	41
Figure V.1: Tôles soudée bout à bout et chanfreinées en V(a) image réel (b) schéma.....	42
Figure V.2: L'écho du traducteur normal.....	43
Figure V.3: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 01.....	43
Figure V.4: Écho de mouvement transversal (a) position 02(b) position 03.....	43
Figure V.5: La forme de défauts dans la pièce.....	44
Figure V.6: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 01.....	45
Figure V.7: Écho de mouvement transversal (a) position 02(b) position.....	45
Figure V.8: La forme de défauts dans la pièce.....	45
Figure V.9: Le défaut détecte sur la pièce dans la position 01.....	46
Figure V.10: Écho de mouvement transversal (a) position 02(b) position 03.....	46
Figure V.11: La forme de défauts dans la pièce.....	46
Figure V.12: Tôles soudées bout à bout et chanfreinées en X(a) image réel (b) schéma.....	47
Figure V.13: L'écho de défauts détecté sur la pièce.....	48
Figure V.14: Le défaut détecte sur la pièce dans la position 01.....	49
Figure V.15: Écho de mouvement transversal (a) position 02(b) position 03.....	49
Figure V.16: La forme de défauts dans la pièce.....	50
Figure V.17: Le défaut détecte sur la pièce dans la position 01.....	50
Figure V.18: Écho de mouvement traversant (a) position 02(b) position 03.....	50
Figure V.19: La forme de défauts dans la pièce.....	51
Figure V.20: Pipe soudée en V(a) image réel (b) schéma de pipe au cote.....	51
Figure V.21: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 03.....	52
Figure V.22: Écho de mouvement traversant (a) position 02(b) position 01.....	52
Figure V.23: La forme de défauts dans la pièce.....	53
Figure V.24: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 01.....	53
Figure V.25: Écho de mouvement transversal (a) position 02(b) position 03.....	53
Figure V.26: La forme de défauts dans la pièce.....	54
Figure V.27: dimension d'une pièce soudée en T.....	55
Figure V.28: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 01.....	55
Figure V.29: Écho de mouvement transversal position 02.....	56

---

---

Figure V.30: La forme de défauts dans la pièce. ....	56
Figure V.31: Dimension d'une pièce soude en Y. ....	57
Figure V.32: L'écho du traducteur normal.....	58
Figure V.33: Le défaut détecté sur la pièce dans la position 01. ....	58
Figure V.34:Écho de mouvement traversant (a) position 02(b) position 03. ....	58
Figure V.35: La forme de défauts dans la pièce. ....	59

### **Liste des tableaux :**

Tableau III.1 : Fréquence centrale et le diamètre de la pastille piézoélectrique des deux transducteurs. ....	24
Tableau III.2 : Fréquence transversale centrale et le diamètre de la pastille piézoélectrique des deux transducteurs. ....	25
Tableau III.3: Le choix d'angle de traducteur. ....	27
Tableau V.1: Les paramètres du transducteur. ....	42
Tableau V.2: La position de défauts. ....	44
Tableau V.3: La position de défauts. ....	45
Tableau V.4: La position de défauts. ....	46
Tableau V.5: Les défauts de la pièce contrôlé . ....	47
Tableau V.6: Les paramètres de transducteur pour la pièce . ....	47
Tableau V.7: Le défaut de la pièce . ....	48
Tableau V.8: La position de défauts. ....	50
Tableau V.9: La position de défauts. ....	50
Tableau V.10: Les défauts de la pièce. ....	51
Tableau V.11: Les paramètres de traducteur de pièce. ....	52
Tableau V.12: La position de défauts. ....	53
Tableau V.13: La position de défauts. ....	54
Tableau V.14: Les défauts de la pièce . ....	54
Tableau V.15: Les paramètres de transducteur pour la pièce. ....	55
Tableau V.16: La position de défauts. ....	56
Tableau V.17: Les défauts de la pièce. ....	57
Tableau V.18: Les paramètres de transducteur pour la pièce . ....	57
Tableau V.19: La position de défauts. ....	59
Tableau V.20: Le défaut de la pièce. ....	59

---

---

---

---

## **Introduction générale:**

La plupart des joints soudés contient des défauts dans le cordon de soudure et pour les détecter il faut utiliser une méthode de contrôle non destructif. Le but de Contrôle Non Destructif (CND) est de détecter la présence d'un défaut dans une pièce métallique sans détruire cette dernière, Ce contrôle peut être réalisé, soit pendant la conception d'assemblage soudé, soit en cours d'utilisation, soit dans le cadre de la maintenance.

Les besoins croissantes en termes de sûreté de fonctionnement d'un produit industriel ainsi que l'amélioration de la durée de vie des pièces qui le constituent, conduisent à mettre en place des contrôles qualités de plus en plus encouragés. L'utilisation des ultrasons permet un contrôle non destructif fiable, rapide et peu coûteux. La simplicité de ce contrôle et sa consistance d'utilisation réalisent une technique très utilisée industriellement.

Les ultrasons sont couramment utilisés en Contrôle Non Destructif pour assurer l'absence de défauts à l'intérieur des matériaux. Si une indication est détectée il est important ensuite de les localiser et de les dimensionner et identifier.

Le but de ce mémoire de master est d'étudier les défauts dans un cordon de soudure des différents types des joints soudés au niveau de C.R.T.I où ce travail a été réalisé.

Le mémoire est composé de cinq chapitres :

Le premier chapitre est une généralité sur le soudage et les défauts dans les joints soudés.

Le deuxième chapitre contient des généralités sur les techniques de contrôle.

Le troisième chapitre inclut une partie nécessaire sur Les préparations de matériel de contrôle à ultrason.

Le quatrième est réservé aux procédés de contrôle à ultrason.

Le cinquième chapitre est consacré aux résultats et interprétations des défauts observés dans les cordons de soudures.

---

---

## Référence Bibliographiques

- [1] S.Benissaad, «le soudage», édition opu.
- [2] M.touboul, «Thèse de doctorat : Etude du comportement mécanique à chaud de l'acier Vers la compréhension du rôle des mécanismes intra/inter granulaires sur la tenue en fluage. Application aux structures soudées», 2012.
- [3] «<http://notech.franceserv.com/soudure-generalites.html>»
- [4] «<http://www.rocdacier.com/ressource.n.398/description-et-vocabulaire-d-un-cordon-de-soudure.html>»
- [5] International atomic energy agency, «ultrasonic testing of materials at level 2», 1988
- [6] «[https://fr.wikibooks.org/wiki/Soudage/Conception\\_d%27un\\_assemblage\\_soud%C3%A9](https://fr.wikibooks.org/wiki/Soudage/Conception_d%27un_assemblage_soud%C3%A9)»
- [7] R.Drai, «techniques de traitement des signaux ultrasonores appliquées au contrôle non destructif des matériaux», 2005
- [8] «<http://www.rocdacier.com/ressource.n.395/defauts-des-soudures.html>»
- [9] Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, «solvabilité des aciers Partie a : Etude bibliographique relative à l'arrachement lamellaire», 1975
- [10] Cetim, « le contrôle non destructif généralités », 3eme édition paris 1997.
- [11] J.Dumont-fillon, «contrôle non destructif (cnd)", technique de l'ingénieur, traité mesure et contrôle r1400», 1996.
- [12] Y.Kabir, «thèse de magister en électronique : Segmentation d'image de film radiographie dédiée au contrôle non destructif (cnd) », 1999.
- [13] S.DJILI, «thèse doctorat : Étude modale des ondes guidées dans un cylindre creux : Application, au Contrôle Non Destructif par ondes guidées de fuite et au Contrôle Santé Intégré par inter-corrélation du champ du bruit ambiant», 2015
- [14] Thehashemiteuniversityndt center, « introduction to non-destructive testing techniques»
- [15] A.Badidi bouda, R.Drai, «le contrôle non destructif (c.n.d) des matériaux par ultrasons niveau I»
- [16] «[https://fr.wikipedia.org/wiki/contr%C3%B4le\\_par\\_ultrasons](https://fr.wikipedia.org/wiki/contr%C3%B4le_par_ultrasons)»
- [17] «<http://www.olympus-ims.com/fr/ndt-tutorials/flaw-detection/straight-beam-tests/>»
- [18] «<http://www.olympus-ims.com/fr/ndt-tutorials/flaw-detection/weld-inspection/>»
- [19] «Les calescd, sofranel»
- [20] University of Warwick, «usn 52r / usn 52 l technical references and operating manual issue 05»
- [21] J. D. Lavender, «ultrasonic testing of steel castings», 1976.
- [22] Bolland patrice, «thèse de doctorat : traitement d'images ultrasonores: étude et application de la transformation de hough aux échos de diffraction», 1999
- [23] A.Badidi bouda, R.Drai, «travaux pratiques ut1»
- [24] A.Badidi bouda, R.Drai, «ut spécifique contrôle de soudures niveau II»
- [25] P.gilles, laboratoire d'étude des matériaux, «contrôles non destructifs», 1980
-