

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences & Technologie

Filière : Génie Mécanique

Parcours : Master II

Spécialité : Maintenance Industrielle

Contrôle non destructif par ultrason

Préparé par :

Sidibé Sékou Silamakan
Bouziane Mohamed

Devant le jury :

Nom et prénom	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
ATMANI Houari	MAA	Université Ibn Khaldoun	Président
MOULGADA Abdelmadjid	MCA	Université Ibn Khaldoun	Examineur
SLIMANI Halima	MCB	Université Ibn Khaldoun	Encadreur

PROMOTION 2018 /2019

Remerciements

Avant tous nous remercions Allah, le tout puissant, le tout miséricordieux, le très miséricordieux de nous avoir offerts la volonté nécessaire pour concrétiser ce mémoire.

Nous tenons aussi à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements et nos profondes reconnaissances à notre encadreur

*Dr. **SLIMANI Halima** non seulement pour son encadrement mais également pour son dévouement pour réaliser ce travail.*

Nous tenons à remercier l'ensemble des membres du jury pour avoir assuré la tâche qui leur a été attribuée.

*Nous tenons évidemment à remercier les membres du **groupe ALFET** pour leurs aide très précieuse et les nombreux conseils qu'ils nous prodigués tout au long de ce travail.*

Enfin Nous aimerions exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont apporté leurs concours à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

A mon père et ma mère pour leur dévouement à mon égard;

A mes sœurs : Fatoumata et Mariam ainsi que SIra

A tous mes amis.

Enfin: A tous ceux que j'ai oubliés, qu'ils m'en excusent

Sidibe Sekou S



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

En premier lieu à mes chers parents qui ont consenti beaucoup de sacrifices pour me permettre de réaliser mes objectifs.

Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.

À tous mes frères et sœur pour leurs soutiens et à toute la famille sans exception.

Bouziane Mohamed



Liste des figures

Chapitre –I–

Figure I.1: Champs d'application	6
Figure I.2: Les défauts d'aspect.....	7
Figure I.3: Principe de détection d'un défaut	8
Figure I.4: Action du pénétrant.....	11
Figure I.5: Action du révélateur.....	11
Figure I.6: Procédure générale de contrôle par ressuage.....	12
Figure I.7: Contrôle par magnétoscopie	13
Figure I.8: Création du courant de Foucault <<CF>>.....	15
Figure I.9: Principe de la détection de défauts par le courant de Foucault	15
Figure I.10: Application du courant de Foucault pour la détection de défauts internes dans un cylindre avec variation de fréquence	16
Figure I.11: Impression sur le film radiographique de l'image du défaut.	17

Chapitre –II–

Figure II.1: Principe Du Sondage Par Ultrason.....	21
Figure II.2 : Onde longitudinale	22
Figure II.3. : Onde transversale	22
Figure II.4. : Onde de Rayleigh	23
Figure II.5. : Ondes de Lamb a) Mode symétrique b) Mode antisymétrique.....	23
Figure II.6. : Géométrie d'un faisceau d'ondes ultrasonores	25
Figure II.7. : intensité acoustique sur l'axe du faisceau (champ proche et champ lointain).....	25
Figure II. 8 : La variation de l'amplitude de l'onde émise en fonction de la distance parcourue	26
Figure II.9. : Réflexion et réfraction des ondes ultrasonore en incidence oblique	27
Figure II.10. : Structure d'un palpeur ultrasonore	28
Figure II.11 : Principe de contrôle ultrasonore.....	29
Figure II.12 : Contrôle par réflexion.....	30

Figure II.13 : Contrôle par transmission	30
Figure II.14 : Principe de la technique TOFD	32
Figure II.15 : Les différents modes de présentations d'un sondage a ultrasons.....	33

Chapitre –III–

Figure III.1 : Les équipements de contrôle ultrasonore	38
Figure III.2 : Les différents types des cales d'étalons.....	38
Figure III.3 : Etalonnage de l'appareil à ultrasons	39
Figure III.4 : premier résultat de la Détermination	39
Figure III.5 : Deuxième résultat de la détermination du point d'émergence (ou incidence)	40
Figure III.6 : Recherche d'un diamètre 50mm sur la cale	40
Figure III.7 : Résultat de la recherche d'un diamètre 50mm sur la cale	41
Figure III.8 : Recherche de l'entaille sur la cale	41
Figure III.9 : Résultat de la Recherche de l'entaille sur la cale	41
Figure III.10 : Recherche du trou de diamètre 2 mm sur la cale.....	41
Figure III.11 : Résultat de la recherche du trou de diamètre 2 mm sur la cale	42
Figure III.12 : Recherche de l'entaille sur la cale =mesure ½ bond.....	42
Figure III.13 : Résultat de la recherche de l'entaille sur la cale =mesure ½ bond	43
Figure III.14 : Recherche de l'entaille sur la cale : mesure 1 bond.....	43
Figure III.15 : Résultat de la recherche de l'entaille sur la cale : mesure 1 bond	44
Figure III.16 : Recherche du premier défaut	44
Figure III.17 : Résultat de la recherche du premier défaut	45
Figure III.18 : Recherche du deuxième défaut	45
Figure III.19 : Résultat de la recherche du deuxième défaut	46

Liste des tableaux

Tableau II.1. : Les Vitesses de propagations des ondes ultrasonores.....	24
---	----

Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	2

Chapitre –I–

Contrôle non destructif

I.1 Introduction :	4
I.2.Applications et tendances :	4
I.2.1.Champs d’application actuelle :	4
I.2.2.Contrôle en cours de fabrication :	5
I.2.3.Le contrôle de réception :	5
I.2.4.Le contrôle en service :	5
I.3.Tendance et évolution :	6
I.4.principes de détection des défauts :	6
I.4.1.Hétérogénéités et défauts :	6
I.4.2.Les défauts de surface :	7
I.4.3.Les défauts ponctuels :	7
I.4.4.Les défauts d’aspects :	7
I.5.Procédure de CND :	8
I.5.1.Principe de la détection d’un défaut :	8
I.5.2.Les méthodes de flux :	8
différentes :	9
I.5.3.Les méthodes pour lesquelles l’excitation et la détection sont de nature	9
I.6.Technique de contrôle :	9
I.6.1.Examen visuel :	9
I.6.1.1.Définition :	9
I.6.1.2..Application :	9
I.6.1.3. Paramètres de l’examen :	9
I.6.1.4.Avantages et inconvénients :	10
I.6.2.Le ressuage :	10

I.6.2.1 Définition :	10
I.6.2.2.Principe de ressuage :	10
I.6.2.3.Domaine d’application et technique opératoire :	10
I.6.2.4.La procédure générale :	11
I.6.2.5.Limités du ressuage :	12
I.6.2.6.Les produits utilisés en ressuage :	12
I.6.3.Magnétoscopie :	13
I.6.3.1.Définition :	13
I.6.3.2.Principe et base physique de la magnétoscopie :	13
I.6.3.3.La magnétoscopie :	14
I.6.3.4.Domaine d’application :	14
I.6.4.Courant Foucault :	14
I.6.4.1.Définition :	14
I.6.4.2.Principe du contrôle :	15
I.6.4.3.Application :	16
I.6.5.Radiographie :	16
I.6.5.1.Définition :	16
I.6.5.2.Principe de contrôle par radiographie :	17
I.6.5.3.Mise en œuvre de la radiographie par rayons X ou gamma :	17
I.7.Conclusion	18

Chapitre –II–

Le CND par ultrason

II.1. Introduction :	20
II.2. Définition :	20
II.3. Principe de mesure :	20
II.4. Appareil a ultrason :	20
II.5. Les différents types d’ondes :	21
II.5.1.Les ondes longitudinales :	21
II.5.2.Les ondes transversales :	22
II.5.3.Les ondes de surfaces dites ondes de Rayleigh :	23
II.5.4.Les ondes de plaques ou ondes de Lamb :	23

II.6..Propagations des ultrasons :	24
II.6.1.Les modes de propagation des ondes ultrasonores :	24
II.6.2.Description du faisceau ultrasonore émis par un transducteur :	24
II.6.3.Notion de l'impédance acoustique :	25
1.1 Atténuation des ondes ultrasonores :	26
II.6.4.La réflexion et la réfraction des ondes ultrasonores :	27
II.7.Génération des ultrasons :	28
II.7.1.la piézo-électrique :	28
II.7.2.Palpeur piézo-électrique :	28
II.7.3.Les méthodes de contrôle par ultrason :	29
II.7.4.Contrôle par réflexion :	29
II.7.5.Contrôle par transmission :	30
II.8.Les différentes techniques de contrôle ultrasonores :	31
II.8.1.Contrôle par contact :	31
II.8.2.Contrôle par immersion :	31
II.8.3.Contrôle automatique des grandes structures par ultrasons :	31
II.8.4.La technique TOFD :	31
II.9.Les différentes modes de représentation d'un sondage a ultrason :	32
II.9.1.Représentation A :	32
II.9.2.Représentation B :	32
II.9.4.Représentation 3D :	32
II.10.Mode Opérateur :	33
II.11.Domaine d'application :	34
II.12.Caractéristique :	34
II.12.1.Avantage :	34
II.12.2.Inconvénient :	35
II.13.conclusion :	35

Chapitre –III–

Application du technique dans l'entreprise ALFET

III.1.Introduction :	37
III.2. Les matériels utilisés a l'entreprise :	37
III.3.Paramètres de réglage et d'étalonnage d'un appareil à ultrasons :	37

III.4.Les étapes qu'il faut suivre :	37
III.5.Les types d'étalons utilisés :.....	38
III.6.Etalonnage de l'appareil en ondes transversales :	38
III.7.Détection de défauts dans le bloc étalon :.....	40
III.7.1.Recherche d'un trou de diamètre 50mm sur la cale.....	40
III.8.Recherche de l'entaille sur la cale :	41
III.9.Recherche du trou de diamètre 2 mm sur la cale :.....	42
III.10.Recherche de l'entaille sur la cale =mesure ½ bond :.....	42
III.11.Recherche de l'entaille sur la cale : mesure 1 bond :.....	43
III.12.Recherche de défauts	44
III.12.1.Positionnement du premier défaut :.....	44
III.12.2.Positionnement du deuxième défaut :	45
III.12.3. Interprétation des résultats :.....	46
III.13.Conclusion :.....	46
Conclusion générale	48
Références bibliographiques	49
Résumé	

Chapitre -I-

Contrôle non destructif

I.1 Introduction :

L'appellation Contrôle Non Destructif fait naturellement penser au diagnostic que le médecin formule lors de l'examen de son patient : le même principe appliqué aux pièces mécaniques consiste à mettre en œuvre des méthodes d'investigation permettant de juger « sans destruction » l'état de santé des pièces et de formuler un avis sur leur aptitude à remplir la fonction pour laquelle elles sont destinées.

Considérée sous cet aspect d'aptitude au bon fonctionnement, la définition suppose une bonne connaissance de tous les phénomènes mis en jeu, en particulier de la nocivité des défauts, de leur évolution dans le temps et des lois générales de la mécanique de la rupture.

Dans la pratique, les spécialistes en contrôle non destructif chargés de l'inspection sont davantage confrontés à des problèmes d'interprétation des résultats de contrôle par rapport à des critères établis en liaison avec le concepteur de la pièce. Dans cet esprit, la définition suivante des Contrôles Non Destructifs apparaît plus proche de la réalité industrielle : il s'agit de « qualifier, sans nécessairement quantifier, l'état d'un produit, sans altération de ses caractéristiques par rapport à des normes de recette ». En ce sens, le contrôle non destructif (CND) apparaît comme un élément majeur du contrôle de la qualité des produits. Il se différencie de l'instrumentation de laboratoire et industrielle puisque l'objet est de détecter des hétérogénéités et anomalies plutôt que de mesurer des paramètres physiques tels que le poids ou les cotes d'une pièce. Dans ce chapitre nous parlerons sur la nature, le but et le domaine d'application du contrôle non destructif [1].

I.2.Applications et tendances :**I.2.1.Champs d'application actuelle :**

Le contrôle non destructif est essentiel pour la bonne marche des industries qui fabriquent, mettent en œuvre ou utilisent les matériaux, les produits et les structures de toutes natures. A l'heure où la qualité est devenue un impératif difficilement contournable, le champ d'application des CND ne cesse de s'étendre au-delà de son domaine d'emploi traditionnel constitué par les industries métallurgiques et les activités où la sécurité est primordiale, telles que le nucléaire et l'aéronautique.

Après le contrôle des biens d'équipements, vient celui des biens de consommation. La nature des défauts que l'on cherche à détecter se diversifie du même coup ; on recherche les défauts technologiques ponctuels graves, comme ceux inhérents à la fabrication et à l'utilisation des métaux (fissure de fatigue), mais aussi des défauts d'aspect (taches sur une surface propre) et des corps étrangers nuisibles (éclats de verre dans un emballage alimentaire).

On peut, par ailleurs, considérer que le contrôle non destructif d'un produit ou d'un objet peut être effectué à trois stades différents de sa vie, conduisant à trois types d'applications [1].

I.2.2. Contrôle en cours de fabrication :

Le contrôle en cours de fabrication procède de la philosophie de l'instrumentation industrielle en tant qu'outil de contrôle d'un procédé souvent automatisé et impliquant alors un appareillage installé à demeure en ligne de fabrication présentant une grande robustesse, une réaction rapide, un coût d'exploitation faible et une bonne fiabilité. Les défauts recherchés sont ici généralement bien identifiés, le fonctionnement est automatique aboutissant à un repérage ou un tri des produits défectueux [1].

I.2.3. Le contrôle de réception :

Le contrôle de réception d'un lot de pièces, d'une installation, d'un ouvrage au moment de la livraison procède d'une philosophie de respect de conformité à des spécifications de qualité définies auparavant.

Si l'aspect coût et productivité peut avoir encore une certaine importance à ce stade de contrôle, c'est surtout l'aspect procédure de la démarche qui devient primordial, qu'il s'agisse du choix du procédé, du choix des paramètres de réglage, de l'étalonnage, de la présentation et de l'archivage des résultats obtenus. À ce stade, il s'agit de détecter des défauts mais aussi souvent d'en définir la nature et les dimensions.

I.2.4. Le contrôle en service :

Le contrôle en service s'effectue sur pièces ou structures lors d'opérations de maintenance ou à la suite de détection d'anomalies de comportement. On en attend une très grande fiabilité car les risques de non-détection d'un défaut sont graves. Pour ce type de contrôle, il convient de pouvoir estimer le mieux possible la nature et les dimensions des défauts pour pouvoir en apprécier la nocivité ; il faut disposer aussi d'une grande reproductibilité de l'examen non destructif, de façon à pouvoir suivre l'évolution du dommage au cours du temps.

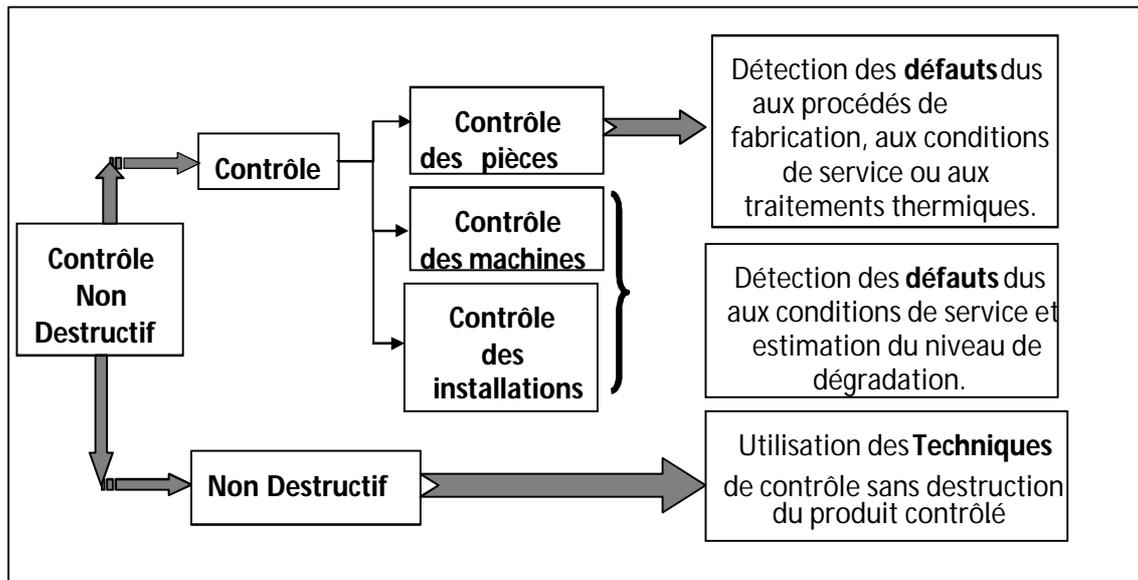


Figure I.1: Champs d'application

I.3.Tendance et évolution :

Globalement, en tant qu'outil majeur de la politique qualité d'une entreprise, les techniques de CND continueront à élargir leur champ d'application vers de nouveaux secteurs d'activité économique. On constate aussi que l'objectif du contrôle non destructif évolue en rapprochant ce domaine de celui de l'instrumentation ; il ne suffit plus aujourd'hui de détecter un défaut, il faut aussi le caractériser et le dimensionner. Il faut aussi imaginer des techniques et procédés non destructifs aptes à mettre en évidence des hétérogénéités physiques complexes ou des irrégularités de propriétés telles que des variations de microstructure dans un métal, des variations de texture ou de rugosité sur une surface et des variations de propriétés électromagnétiques sur une bande. Ces objectifs sont souvent difficiles à atteindre.

Il n'en va pas de même pour l'automatisation des CND qui bénéficie pleinement des progrès de l'informatique ; il en résulte l'arrivée sur le marché, d'année en année, d'appareillages plus performants, plus fiables et surtout plus faciles à utiliser dans le cadre du respect de procédures de contrôles très strictes [1].

I.4.principes de détection des défauts :

I.4.1.Hétérogénéités et défauts :

Le terme défaut est ambigu, relatif et peu précis, mais sa connotation négative évoque bien le rôle que joue le contrôle non destructif dans la recherche de la qualité. En fait, détecter un défaut dans une pièce, c'est physiquement, mettre en évidence une hétérogénéité de matière, une variation locale de propriété physique ou chimique préjudiciable au bon emploi

de celle-ci. Cela dit, on a l'habitude de classer les défauts en deux grandes catégories liées à leur emplacement : les défauts de surface, les défauts internes.

I.4.2. Les défauts de surface :

Les défauts de surface, accessibles à l'observation directe mais pas toujours visibles à l'œil nu, peuvent se classer en deux catégories distinctes : les défauts ponctuels et les défauts d'aspect.

I.4.3. Les défauts ponctuels :

Qui correspondent aux défauts les plus nocifs sur le plan technologique, puisqu'il s'agit des criques, piqûres, fissures, craquelures, généralement aptes à provoquer à terme la rupture de la pièce, en initiant par exemple des fissures de fatigue. Dans les pièces métalliques, l'épaisseur de ces fissures est souvent infime et elles peuvent être nocives dès que leur profondeur dépasse quelques dixièmes de millimètre, ce qui implique l'emploi pour leur détection de méthodes non destructives sensibles, telles que le ressuage, la magnétoscopie, les courants de Foucault, les ultrasons [1].

I.4.4. Les défauts d'aspects :

Qui correspondent à des plages dans lesquelles une variation de paramètres géométriques ou physiques (rugosité, surépaisseur, taches diverses) attire le regard et rend le produit inutilisable. Ici, le contrôle visuel est possible, mais on cherche à le remplacer par des contrôles optiques automatiques.

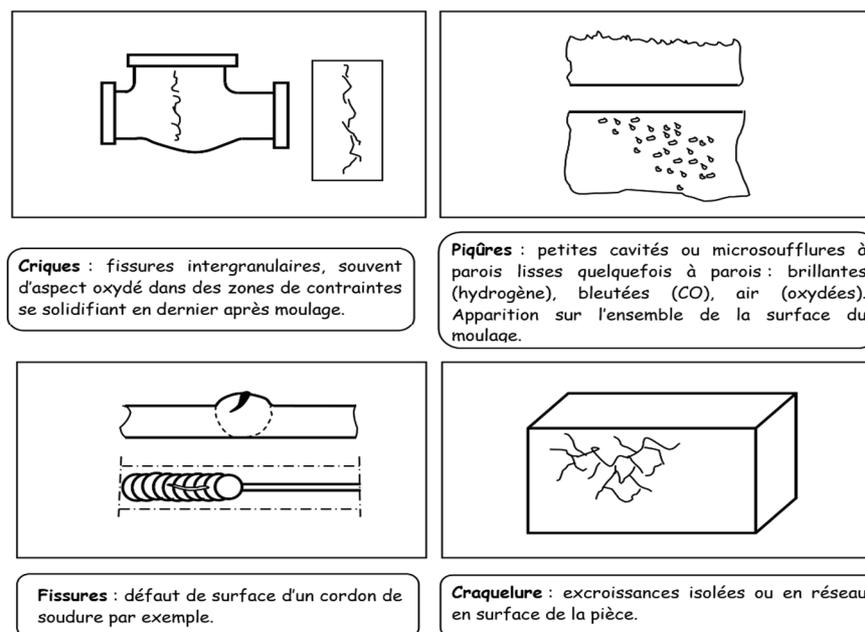


Figure I.2: Les défauts d'aspect

I.5.Procédure de CND :

L'opération de contrôle non destructif d'un objet ne se borne généralement pas à la détection d'éventuels défauts. En effet, même si le choix du procédé, de la méthode et du matériel a été effectué au préalable, il faut envisager toute une procédure ayant les objectifs suivants : fiabilité de l'examen, reproductibilité, localisation des défauts, identification, caractérisation de ceux-ci, en particulier par leur taille, classement, présentation visuelle, décision concernant l'affectation de l'objet, enfin archivage des résultats et des conditions d'examen [1].

I.5.1.Principe de la détection d'un défaut :

Le principe de la détection d'un défaut consiste à exciter celui-ci et à recueillir sa réponse. Schématiquement, on peut généralement distinguer les étapes suivantes, quelle que soit la méthode employée :

- ▶ Mise en œuvre d'un processus physique énergétique (excitation) ;
- ▶ Modulation ou altération de ce processus par les défauts (perturbation) ;
- ▶ Détection de ces modifications par un capteur approprié (révélation) ;
- ▶ Traitement des signaux et interprétation de l'information délivrée.

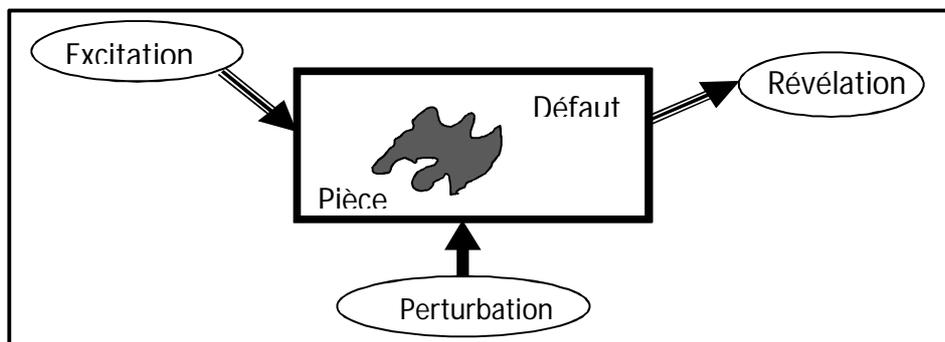


Figure I.3: Principe de détection d'un défaut

Différents types d'énergie sont employés en pratique : énergie mécanique (ultrasons, ressage), électromagnétique (radioscopie, observation dans le visible, flux magnétique...). On peut schématiquement distinguer deux groupes de méthodes de détection :

I.5.2.Les méthodes de flux :

Avec une excitation et une détection de même nature et pour lesquelles le défaut introduit une perturbation de flux qui peut être relevée soit directement dans le flux transmis (radiographie) ou le flux rediffusé (ultrasons), soit par un effet de proximité (bobine de sonde

à courants de Foucault, flux de fuite magnétique) : figure ci-dessous ; la grande majorité des procédés du contrôle non destructif se réfère à ce groupe de méthodes ;

I.5.3. Les méthodes pour lesquelles l'excitation et la détection sont de nature différentes :

Chacune mettant en jeu un processus original et spécifique ; l'excitation la plus employée est la sollicitation mécanique ; elle conduit aux techniques d'analyse de vibrations mécaniques ou de microdéformations (interférométrie holographique) ou encore à une technique d'émission provoquée dont la plus connue est l'émission acoustique.

I.6. Technique de contrôle :

Examens visuels, ressuage, magnétoscopie, ultrasons, radiographie, courants de Foucault, thermographie infrarouge, analyse des huiles en service, analyse des vibrations...

I.6.1. Examen visuel :

I.6.1.1. Définition :

C'est l'examen le plus simple et le plus ancien parmi les techniques de contrôle non destructif utilisés. Il se base sur l'expérience de l'opérateur. Aussi sur le pouvoir de résolution des instruments utilisés [2].

I.6.1.2. Application :

C'est un examen qui permet de détecter principalement les défauts de surface (fissure, déformation, arrachement de matière, etc...), d'où ces défauts peuvent donner une information sur l'état intérieur de la structure.

Les tests d'étanchéité, les pneumatiques et les épreuves hydrauliques comportent aussi un examen visuel pour mettre en évidence des fuites éventuelles des structures sous pression.

I.6.1.3. Paramètres de l'examen :

Toutefois, les paramètres à prendre en charge lors de l'examen visuel sont entre autre l'éclairage qui permet de bien voir les zones à contrôler et le positionnement de l'examineur.

Néanmoins il existe des outils d'aide au contrôle visuel, comme : La loupe binoculaire ; un endoscope ; un microscope optique,

Ce qui donne au contrôle visuel une nouvelle dimension. Ces techniques bénéficient actuellement des moyens numériques d'acquisition et de traitement d'image, qui leurs donnent beaucoup plus de rapidité, d'efficacité et de fiabilité.

I.6.1.4. Avantages et inconvénients :

Les avantages du contrôle visuel, c'est qu'il est très *facile* à exécuter et qu'il n'est *pas coûteux* mais présente des nombreux inconvénients, tel que : Le *manque de précision* et il ne permet pas de détecter les *défauts à l'intérieur* de la structure à contrôler.

I.6.2. Le ressuage :**I.6.2.1 Définition :**

Le ressuage est un terme qui désigne *l'extraction d'un fluide* d'une discontinuité dans laquelle il s'était préalablement accumulé au cours d'une opération d'imprégnation. *L'imprégnation* d'une fissure par un liquide tirant profit de ses propriétés *tensio-superficielles*, conduit par l'intermédiaire d'un ressuage avant l'observation visuelle, à un moyen de recherche de défauts de surface qui est parmi les plus anciens, le plus simple et le plus utilisé de nos jours [2].

I.6.2.2. Principe de ressuage :

La méthode consiste à appliquer un pénétrant de faible tension superficielle (de bonne capillarité) sur la surface de la pièce.

On lui laisse un certain temps de sorte qu'il puisse s'introduire dans les discontinuités aboutissant à la surface, On élimine ensuite le pénétrant sur la surface mais cette opération laisse cependant en place la partie qui a réussi à s'infiltrer dans les discontinuités.

Un révélateur, produit opaque et absorbant est appliqué sur la surface, le pouvoir absorbant du révélateur fait que le pénétrant qui a réussi à s'infiltrer dans les discontinuités est alors aspiré vers la surface (effet buvard) et y laisse une trace. Cette trace à cause de la diffusion du pénétrant dans le révélateur, est toujours plus importante que la discontinuité.

L'efficacité de cette méthode de contrôle repose sur la possibilité de détecter les indications de discontinuité afin d'améliorer cette détectabilité. Le pénétrant contient en général un produit coloré visible à la lumière blanche ou un produit fluorescent visible à la lumière noire (ultra-violet) [1].

I.6.2.3. Domaine d'application et technique opératoire :

Le ressuage ne peut détecter que les défauts superficiels débouchant sur la surface. Les défauts matés ou obturés ne sont que partiellement détectés. Par contre les défauts internes ne peuvent pas être décelés.

On peut ainsi localiser les défauts de : moulage, de fatigue, d'usinage, de traitement thermique et de soudage.

Le ressuage donne des résultats intéressants avec des métaux tel que l'aluminium, le magnésium, le cuivre, le titane, l'acier inoxydable et la plupart des alliages non métalliques

comme les céramiques, les plastiques, le caoutchouc moulé, (mais il faut, pour les plastiques et les composés caoutchouc moulé, se méfier de leur réactivité vis à vis des produits utilisés et donc procédé à des essais préliminaires) [2].

I.6.2.4. La procédure générale :

Sur une surface propre, exempte de pollution susceptible de colmater les défauts débouchant (les traces d'huile et de graisse, les résines inorganiques, les matières charbonneuses, les peintures, les produits de corrosion, les oxydes, etc.), est appliqué un liquide contenant des traceurs colorés et (ou) fluorescents. Ce liquide est appelé liquide d'imprégnation ou pénétrant.

Après une période d'attente (temps d'imprégnation) au cours de laquelle le pénétrant vient remplir les discontinuités, l'excès en surface est éliminé [1].

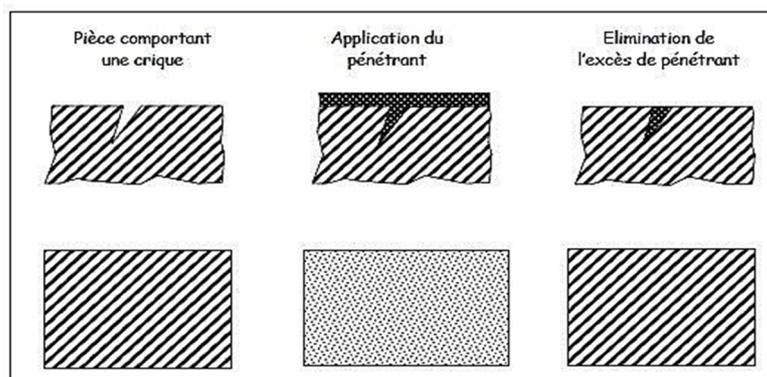


Figure I.4: Action du pénétrant

Un deuxième produit appelé révélateur est alors appliqué à sec ou en suspension sur la surface de la pièce. Son but est de faire « ressuier » c'est-à-dire d'attirer le pénétrant resté en rétention dans les discontinuités.

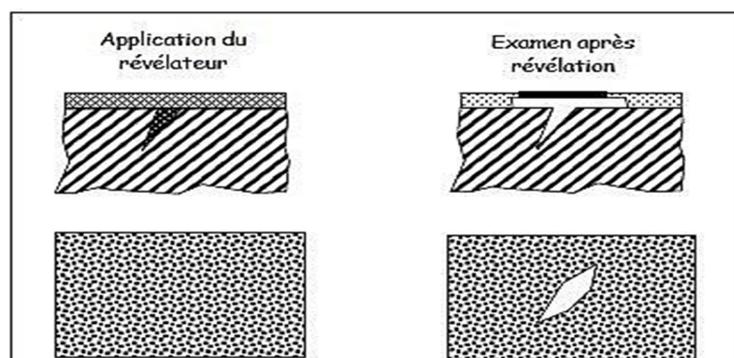


Figure I.5: Action du révélateur

Une inspection par pénétrant liquide se fait en six temps schématisés ci-après.

- 1er temps : Nettoyage de la surface à contrôler de toutes traces de matériaux étrangers solides ou liquides qui risqueraient de gêner l'entrée du pénétrant dans les discontinuités.
- 2ème temps : Application du pénétrant sur toute la surface à examiner et maintien d'une couche continue de pénétrant pendant tout le temps d'imprégnation.
- 3ème temps : Elimination du pénétrant étalé à la surface de la pièce (c'est une phase très délicate : il ne faut pas enlever le pénétrant situé dans les défauts).
- 4ème temps : Application régulière du révélateur sur toute la surface à examiner.
- 5ème temps : Pendant et après développement des indications, inspection soignée en lumière blanche ou/et sous lumière ultraviolette pour repérer la présence, localiser, donner la « nature » et la « grandeur » des discontinuités débouchant à la surface.
- 6ème temps : Nettoyage de la pièce pour éliminer toutes traces de produits de ressuage.

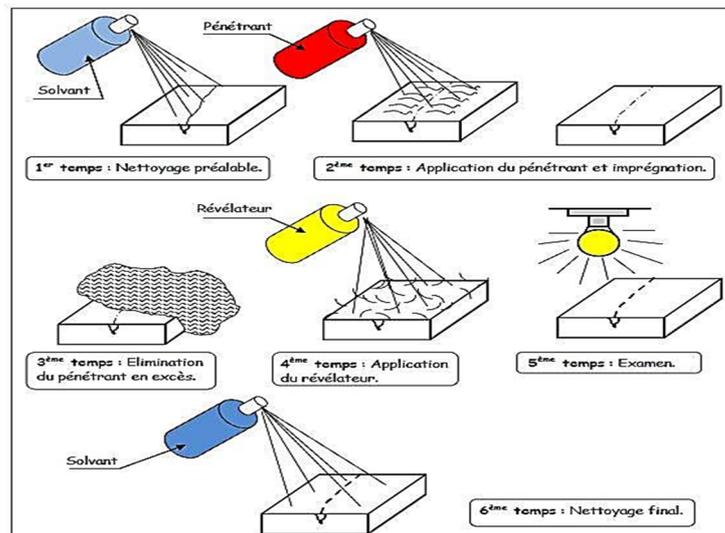


Figure I.6: Procédure générale de contrôle par ressuage

I.6.2.5.Limités du ressuage :

Il faut retenir que, dans tous les cas, les opérations sont relativement *lentes* et prenant chacune plusieurs minutes (jusqu' à 30 minutes) en ce qui concerne l'imprégnation des fissures par le pénétrant.

L'observation est généralement réalisée *visuellement*. La méthode est applicable sur tous matériaux *non poreux* [2].

I.6.2.6.Les produits utilisés en ressuage :

Il existe trois (3) types de produit en ressuage de fonction différente qui sont :

- Les nettoyants : Qui permettent de nettoyer les surfaces à contrôler.
- Les pénétrants : Qui peuvent être de deux (2) types : Coloré ou fluorescent.

- Les révéléteurs : Qui permettent d'attirer le liquide d'imprégnation retenu dans les défauts.

I.6.3. Magnétoscopie :

I.6.3.1. Définition :

La magnétoscopie est une technique du CND basée sur le principe des circuits magnétiques pour détecter des défauts débouchant ou sous-jacents dans des matériaux essentiellement ferromagnétiques [2].

I.6.3.2. Principe et base physique de la magnétoscopie :

La théorie des circuits magnétiques indique que la présence d'un entrefer correspond à un fort accroissement local de la réluctance du circuit et donc de la différence de potentiel magnétique (D.P.M.), constituant ainsi un obstacle au flux magnétique dont les lignes de force doivent alors s'épanouir latéralement selon un flux de fuite.

Cet effet de dispersion d'un flux magnétique hors d'une pièce ferromagnétique, au droit d'une fissure débouchant ou sous-cutanée (ou toute autre hétérogénéité non ferromagnétique se comportant comme un entrefer), est à la base d'une gamme de procédés magnétiques de détection des défauts de surface dans les aciers dont le plus connu et le plus employé est la magnétoscopie.

Ces procédés magnétiques diffèrent entre eux principalement par le mode de mise en évidence du flux de fuite magnétique correspondant à la dispersion de flux décrite ci-dessus.

En magnétoscopie, on observe visuellement une accumulation de poudre de fer ou de magnétite colorée provoquée par le flux de fuite. Ensuite, on recueille la trace magnétique du flux de fuite sur un film, une bande ou une pâte d'empreinte magnétisable ; les autres procédés sont regroupés sous le vocable détecteur à flux de fuite (magnetic leakage flux testing). Il s'agit généralement d'appareils de contrôle automatique de barres et de tubes d'acier mettant en œuvre des détecteurs ponctuels de flux électromagnétiques [2].

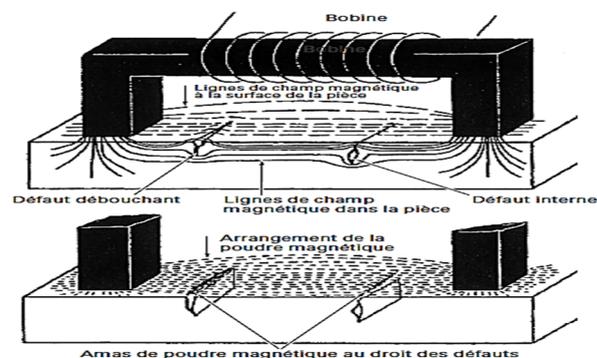


Figure I.7: Contrôle par magnétoscopie

I.6.3.3. La magnétoscopie :

La détection visuelle des champs de fuite magnétique au droit des défauts peut s'effectuer en observant des accumulations de limaille de fer dues aux concentrations de flux sur la surface de la pièce à contrôler. Les produits, qui doivent être répartis uniformément sur la surface de la pièce pendant la magnétisation, se présentent soit sous forme de poudre sèche, soit beaucoup plus fréquemment sous forme d'une encre magnétique.

Le support liquide le plus utilisé est le pétrole ; cependant, son emploi implique certains risques (incendie, allergie, odeur, stockage) et son rejet à l'égout est interdit ; c'est pourquoi on utilise parfois des encres à l'eau dont le pouvoir mouillant est accru par l'ajout d'agents tensio-actifs adéquats.

La sensibilité de détection est liée en partie à la granulométrie des particules de fer ou d'oxyde, qui doivent être de toute façon très homogènes. Pour une recherche de très fins [2].

I.6.3.4. Domaine d'application :

La magnétoscopie est ainsi une méthode largement utilisée particulièrement dans :

- Le transport (aéronautique, automobile, ferroviaire) ;
- l'énergie (pétrole, thermique, hydraulique, nucléaire) ;
- chaudronnerie ;
- métallurgie (fonderie, forge) ;
- mécanique ; agroalimentaire ;
- cimenterie ; etc..., tant en fabrication qu'en maintenance.

Elle permet de contrôler des pièces en alliages ferreux ; forgés, soudés, des tôles, des tubes, bref toutes sortes de pièce de géométrie simple ou complexe, pourvue que le matériau qui les constitue soit de nature ferromagnétique [2].

I.6.4. Courant Foucault :**I.6.4.1. Définition :**

D'après le physicien français Jean Bernard FOUCAULT (1819-1868), lorsque l'on place un corps conducteur dans un champ magnétique variable dans le temps (ou dans l'espace), des courants induits se développent en circuit fermé à l'intérieur de celui-ci, ce sont des courants nommés les courants de Foucault [2].

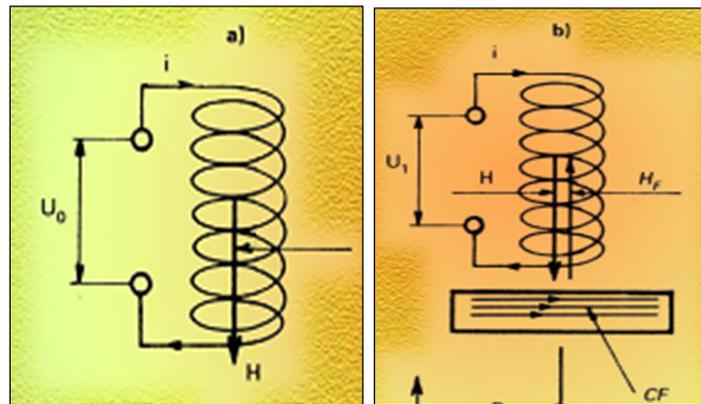


Figure I.8: Création du courant de Foucault <<CF>>

I.6.4.2.Principe du contrôle :

En effet, le trajet, la répartition et l'intensité des courants de Foucault dépendent des caractéristiques physiques et géométriques du corps considéré, ainsi bien entendu que des conditions d'excitation (paramètres électriques et géométriques du bobinage).

On conçoit dès lors qu'un défaut, constituant une discontinuité électrique venant perturber la circulation des courants de Foucault, puisse engendrer une variation d'impédance décelable au niveau de la bobine d'excitation (ou de tout autre bobinage situé dans le champ).

Ce principe simple est surtout utilisé pour détecter des défauts superficiels, dans la mesure où les courants de Foucault ont tendance à se rassembler à la surface des corps conducteurs [2].

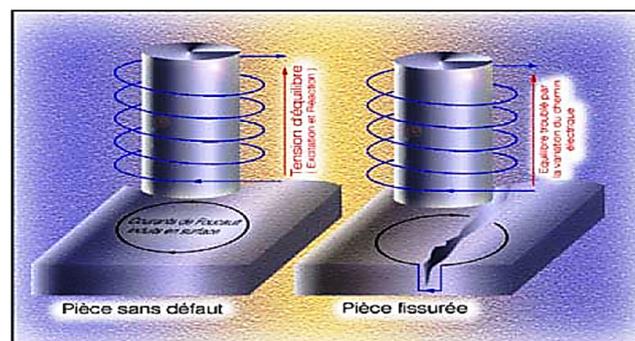


Figure I.9: Principe de la détection de défauts par le courant de Foucault

I.6.4.3.Application :

En supposant constantes la fréquence du courant inducteur (f) et la distance entre la bobine et le matériaux (D) lors d'un examen, ce sont essentiellement les fluctuations de la perméabilité magnétique relative du matériau (μ_r) et la conductivité électrique du matériau (σ) qui seront évaluées puisque ces deux paramètres dépendent des propriétés du matériau et en particulier :

- De sa composition chimique ;
- La teneur en éléments d'un alliage,
- La teneur en impuretés d'un métal,
- L'influence de traitements thermiques dont le matériau a fait l'objet et qui sont à l'origine de modifications de la structure cristallographique, ou de phénomènes de précipitation ou de mise en solution de certains éléments,
- La température du matériau,
- La présence de discontinuités géométriques superficielles [1].

Ces variations apparentes de l'impédance de la bobine dues à la fluctuation des facteurs précités vont modifier les caractéristiques électriques du circuit contenant cette bobine.

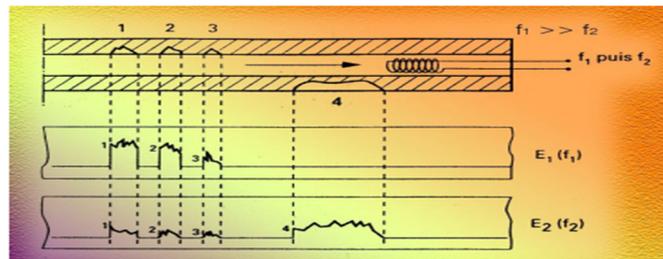


Figure I.10: Application du courant de Foucault pour la détection de défauts internes dans un cylindre avec variation de fréquence

Il apparaît que les défauts 1, 2 et 3 situés au voisinage de la surface interne seront décelés par les deux courants alors que la fissure externe ne le sera qu'au moyen du courant basse fréquence. La comparaison des deux enregistrements permet donc une discrimination des défauts en fonction de leur positions relatives par rapport aux parois interne et externe du tube.

I.6.5.Radiographie :

I.6.5.1.Définition :

La radiographie est une méthode du CND permettant de détecter des défauts débouchant ou interne sur tous types de matériaux contrôlables. Cette méthode utilise les

particularités des rayons ionisant X et gamma qui sont des ondes électromagnétiques de très faible longueur d'onde [2].

I.6.5.2.Principe de contrôle par radiographie :

Le contrôle par radiographie consiste à faire traverser le matériau par un rayonnement ionisant (rayon X ou gamma) et à recueillir le signal atténué sur un récepteur (films photographique ou capteur électronique) qui convertit ce rayonnement en une image visible d'où ces images seront interpréter par un expert du domaine pour la détection des défauts [2].

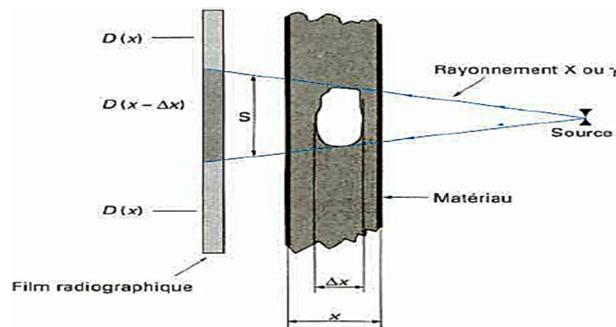


Figure I.11: Impression sur le film radiographique de l'image du défaut.

Le contrôle par radiographie nécessite un choix approprié du matériel, de la procédure et des conditions d'examen.

I.6.5.3.Mise en œuvre de la radiographie par rayons X ou gamma :

Il s'agit de choisir le matériel, la procédure et les conditions de mise en œuvre de façon à obtenir une bonne fiabilité du contrôle, c'est-à-dire, en fait une image nette et contrastée mettant bien en évidence pour les défauts recherchés. Cela suppose de prendre en compte un certain nombre de conditions telle que :

- Le rayonnement :

Et donc la source, et son réglage. Dans le cas d'une source à rayon X : c'est un tube en verre ou en céramique sous vide poussé, comportant une cathode émettrice d'électrons et une anticathode encastrée dans une anode refroidie et inclinée, portée à un potentiel élevé.

La source doit être choisi juste assez dure pour traverser la pièce sans dégrader le contraste lié au rayonnement diffusé

- La prise de vue :

Doit être définie en terme de conditions géométriques, position et orientation relative de la source, de l'objet et du film conduisant à un compromis satisfaisant entre flou géométrique, grandissement des défauts, rayonnement diffusé, éloignement donc débit de dose et durée d'exposition de film.

- Le choix du film :

Résulte aussi de compromis entre rapidité et résolution, au regard du type de défaut recherché et aux conditions de prise de vue.

- La détermination du temps de pose :

Se fait en pratique à l'aide d'abaques prenant en compte les paramètres de la source et les conditions de prise de vue.

- L'exploitation des clichés :

Se fait, après développement, fixage et lavage, par un examen du film par transparence sur des boîtes à lumières normalisées, ce qui exige des appareils particuliers pour l'examen des clichés à haute densité optique.

- Le contrôle de la qualité des radiographies :

C'est indispensable pour pouvoir tirer des conclusions sur la qualité de la pièce elle-même, car il permet de savoir si le cliché a été pris dans de bonnes conditions, compatibles avec la sensibilité recherchée pour l'examen. Différents moyens peuvent être utilisés : Outre la référence à un cliché pris sur une pièce identique avec défauts naturels ou artificiels connus, on utilise très couramment la technique des IQI (indicateurs de qualité d'image).

- La numérisation des radiographies :

Permet d'accéder à du traitement d'image par ordinateur en vue d'accroître les performances de l'examen au regard des résultats obtenus par contrôle visuel des radiogrammes.

I.7. Conclusion :

Après avoir rappelé brièvement la nature, le but et le domaine d'application du contrôle non destructif, nous avons tout d'abord évoqué les grands principes de détection des défauts et les bases physiques qui gouvernent les procédés et leur performance. Nous avons ensuite décrit plus en détail les principes physiques, la réalisation et la mise en œuvre des 6 principales familles de procédés du contrôle non destructif, à savoir : l'examen visuels, le ressuage, les procédés par courants de Foucault, les procédés radiographiques, les procédés magnétoscopiques. Enfin les procédés de contrôle par ultrasons qu'on va laisser pour le chapitre 2.

Chapitre -II-

Le CND par ultrason

II.1. Introduction :

Les ultrasons sont des vibrations élastiques, de fréquence comprise entre 20 kHz et 100 MHz, qui se propagent dans des milieux fluides ou solides. L'onde ultrasonore subit plusieurs phénomènes tels que la réflexion, la réfraction, la diffusion et l'interférence. Elle est caractérisée par sa longueur d'onde, c'est-à-dire la distance parcourue par l'onde pendant une période. Une onde ultrasonore se propageant dans un milieu déterminé peut aussi être caractérisée d'une part par sa célérité, d'autre part par la perte d'énergie qu'elle subit par unité de longueur de milieu traversé, c'est-à-dire par un coefficient d'absorption. Dans ce chapitre nous présenterons la théorie de la propagation des ondes ultrasonores et les principes de fonctionnement.

II.2. Définition :

Le nom vient du fait que leur fréquence est trop élevée pour être audible pour l'homme, de la même façon que les infrasons désignent les sons dont la fréquence est trop faible pour être perceptible par l'oreille humaine. Les ultrasons sont des ondes mécaniques, découvertes en 1883 par le physiologiste anglais Francis Galton. L'ultrason est un son dont la fréquence est supérieure à 20KHz.

II.3. Principe de mesure :

La mesure de distance par ultrasons s'effectue par celle du temps qui sépare l'émission d'une impulsion et la réception de l'onde réfléchi par l'objet à mesurer. En fonction de l'application, la propagation de l'onde ultrasonore se fait dans l'air ou dans un liquide ou dans un solide, les caractéristiques de transmission de ces milieux sont très différentes.

Les fréquences des ondes utilisées varient pour la plus part des applications entre 2KHz et 2MHz. Les basses fréquences sont utilisées pour obtenir les plus longues étendues de mesure en mer par exemple. Les plus hautes fréquences sont utilisées pour effectuer des mesures de précision dans les solides. La transmission de l'énergie acoustique est beaucoup plus efficace si le milieu de mesure est un liquide ou un solide plutôt qu'un gaz. Des fréquences comprises entre 20 et 100KHz sont utilisées pour effectuer des mesures dans l'air [2].

II.4. Appareil a ultrason :

Par l'intermédiaire d'une décharge électrique l'émetteur produit une impulsion d'une durée de quelques nanosecondes et d'une tension de pointe d'environ 1000 Volts. Le transducteur piézoélectrique la transforme en une impulsion élastique qui se propage sous forme d'un train d'ondes ultrasonores dans l'éprouvette.

On entend par train d'ondes, un ensemble d'ondes de différentes fréquences qui toutes superposées donne la forme de l'impulsion.

Après réflexion, le transducteur retransforme l'impulsion ultrasonore en un signal électrique.

En raison des pertes d'énergie subies lors des transformations, des passages d'interfaces, de la réflexion et de l'absorption dans la pièce à contrôler, ce signal ressort beaucoup plus faible que l'impulsion d'émission. Il nécessite donc une amplification pour pouvoir être observé. Le comportement du faisceau ultrasonore est analysé à l'aide d'un tube cathodique qui enregistre verticalement l'amplitude de l'onde ultrasonore et horizontalement le temps. C'est l'impulsion d'émission qui déclenche la tension de déflexion horizontale du tube cathodique [2].

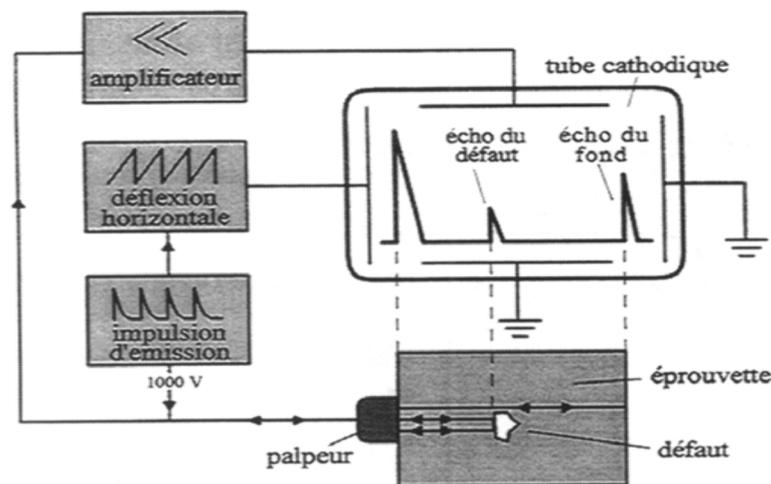


Figure II.1: Principe Du Sondage Par Ultrason

II.5. Les différents types d'ondes :

II.5.1. Les ondes longitudinales :

Sont caractérisées par le fait que la direction de la vibration est la même que celle de la propagation (les ondes se propagent parallèlement à la direction de vibration et perpendiculaire à la surface de contrôle). Les plans des particules se déplacent l'un par rapport à l'autre en modifiant leur distance [3].

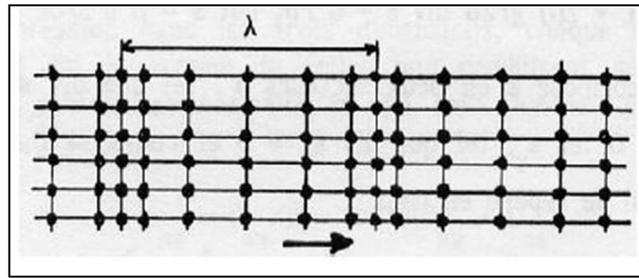


Figure II.2 : Onde longitudinale

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (2-1)$$

Avec :

E : Module d' Young du matériau N/m^2

ρ : Masse volumique spécifique du matériau (kg/m^3)

ν : Coefficient de poisson.

II.5.2. Les ondes transversales :

Se propagent dans une direction perpendiculaire à celle de la vibration. Les plans des particules glissent l'un par rapport à l'autre en conservant leur distance. Ces ondes ne peuvent exister que dans les solides car leur existence est liée à une résistance au cisaillement que ne possèdent ni les liquides ni les gaz [3].

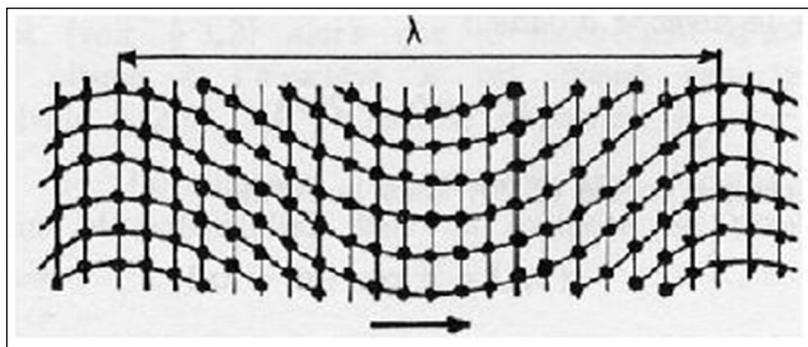


Figure II.3. : Onde transversale

$$V_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (2-2)$$

Par démonstration en théorie des milieux élastiques, la vitesse des ondes longitudinales et transversales sont liées aux caractéristiques mécaniques du matériau : (le module d'Young, et le coefficient de poisson, la masse volumique).

II.5.3. Les ondes de surfaces dites ondes de Rayleigh :

Elles affectent la surface sur une profondeur de l'ordre de la longueur d'onde. Le mouvement est simultanément parallèle et perpendiculaire à la direction de propagation (résultat de la superposition d'une onde longitudinale et d'une onde transversale de même fréquence déphasée de $\pi/2$) ce double mouvement explique la très grande sensibilité à toute discontinuité de surface. Pour la plupart des matériaux on a approximativement $V_L = 0.9V_T$

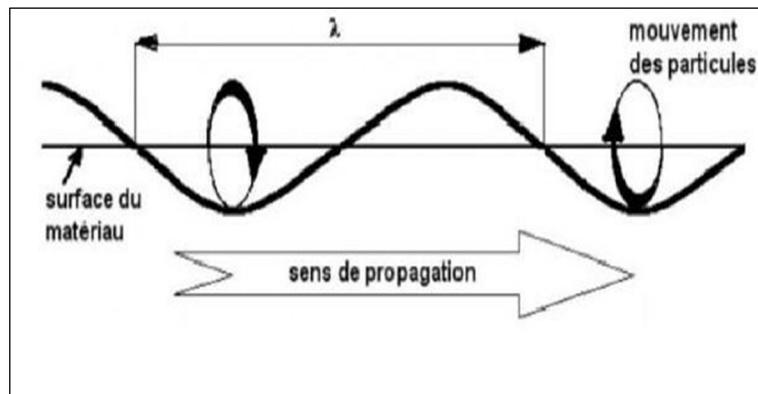


Figure II.4. : Onde de Rayleigh

$$V_s = 0.9 * V_T \quad (2-3)$$

II.5.4. Les ondes de plaques ou ondes de Lamb :

Correspondent à des ondes de surface qui se propagent dans des matériaux dont l'épaisseur est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. Dans ce cas, l'onde vibratoire intéresse toute l'épaisseur de la plaque. On distingue deux grandes familles d'ondes de Lamb, suivant que la plaque vibre en conservant un plan de symétrie (modes symétriques ou de compression) ou non (modes antisymétriques ou de flexion), les deux modes symétriques et antisymétriques sont représentés sur la figure suivante.

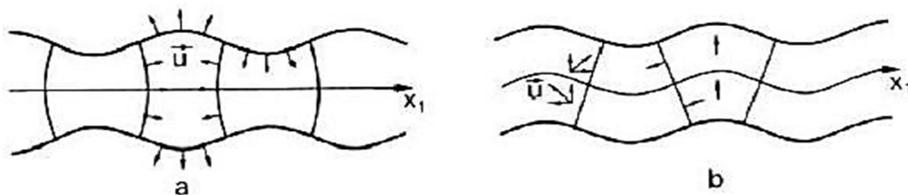


Figure II.5. : Ondes de Lamb a) Mode symétrique b) Mode antisymétrique

II.6..Propagations des ultrasons :

II.6.1.Les modes de propagation des ondes ultrasonores :

La vitesse de propagation des ondes ultrasonores dépend du mode de vibration des particules ainsi que la nature du milieu. Elle est donc différente d'un milieu à l'autre, ce qui implique une conséquence très importante : lorsqu'un faisceau ultrasonore frappe obliquement une surface de séparation entre deux milieux différents, quatre faisceaux sont créés, deux réfractés et deux réfléchis, pour chacun d'eux, longitudinal et transversal [4].

Le tableau ci –après donne quelques exemples de vitesses moyennes V_L et V_T pour les matériaux les plus utilisés en CND. Il s'agit de valeurs moyennes, car les paramètres élastiques des matériaux dépendent de l'état physique et chimique de ceux-ci.

Tableau II.1. : Les Vitesses de propagations des ondes ultrasonores

Vitesses et impédance acoustique (valeurs moyennes)				
Matériau	Masse volumique (10^3 kg/m^3)	Vitesse V_L (m/s)	Vitesse V_T (m/s)	Impédance acoustique Z ($10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
Acier	7.8	5920	3240	46
Fonte	7.2	4600	2150	33
Aluminium	2.7	6300	3100	17
Cuivre	8.9	4700	2250	42
Laiton	8.5	4500	2100	38
Béton	2.5	4500		11
Plexiglas	1.2	2700	1100	3.2
Verre	2.5	5650	3400	14
Huile	0.8	1500		1.2
Eau	1.0	1480		1.5
Air	$1.29.10^{-3}$	333		4.10^{-4}

II.6.2.Description du faisceau ultrasonore émis par un traducteur :

Les ultrasons se propagent essentiellement en ligne droite selon un faisceau plus ou moins étalé, constitué d'un lobe principal dans lequel la plus grande partie de l'énergie est concentrée et c'est cette propriété qui les rend utiles pour localiser les défauts.

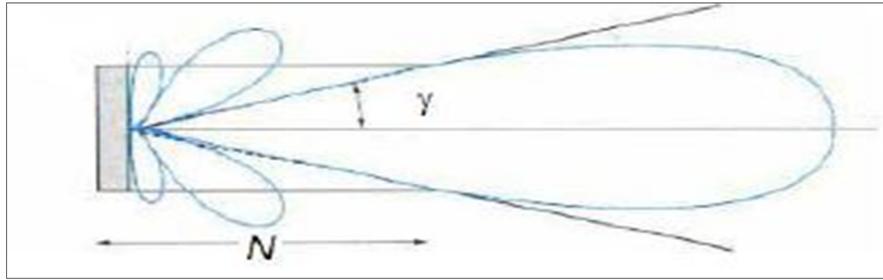


Figure II.6. : Géométrie d'un faisceau d'ondes ultrasonores

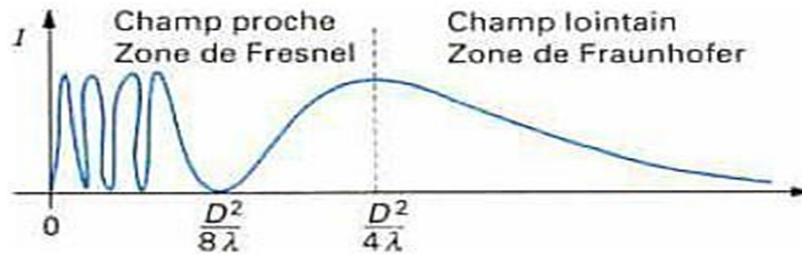


Figure II.7. : intensité acoustique sur l'axe du faisceau (champ proche et champ lointain)

Champ proche (zone de Fresnel) : irrégularité de l'amplitude de l'écho sur l'axe (succession de maxima de minima dans la direction de propagation).

Champ éloigné (zone de Fraunhofer) : élargissement continu du lobe centrale d'où l'élargissement du faisceau par un angle d'étalement ou de divergence 2γ tel que :

$$\gamma \approx 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (2-4)$$

Note :

- En raison de la complexité du spectre d'énergie dans le champ proche, il est conseillé de faire le contrôle dans la zone de champ éloigné.

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} \quad (2-5)$$

N : la distance limite du champ proche

D : le diamètre de la source.

Dans le champ éloigné, l'amplitude sur l'axe décroît de façon régulière quand on s'éloigne le transducteur.

II.6.3. Notion de l'impédance acoustique :

L'impédance acoustique caractérise la résistance d'un milieu au passage du son. Elle est définie par la relation :

$$Z = \rho V \quad (2-6)$$

ρ = la masse volumique du milieu

V : La vitesse des ultrasons dans le milieu considéré.

1.1 Atténuation des ondes ultrasonores :

L'amplitude d'une vibration qui se propage dans un milieu, n'est pas constante au cours du temps, elle s'atténue le long de son parcours. Les causes principales de cette atténuation sont :

- L'absorption :

L'absorption est due à une conversion de l'énergie mécanique vibratoire en chaleur. Cette absorption est proportionnelle à la fréquence.

- La diffusion :

La diffusion de l'onde (énergie déviée de sa direction) suite aux imperfections du matériau (joints de grains qui créent une dispersion,...).

L'atténuation de l'amplitude d'une onde ultrasonore suit la loi exponentielle de la forme :

$$A_x = A_0 \exp(-\alpha x) \quad (2-7)$$

x : Épaisseur traversée

A_x : Est l'amplitude de l'onde à la distance $x+x_0$

A_0 : est l'amplitude de l'onde à la distance x_0

α : Coefficient d'atténuation, généralement exprimé en Neper ou en dB par unité de longueur.

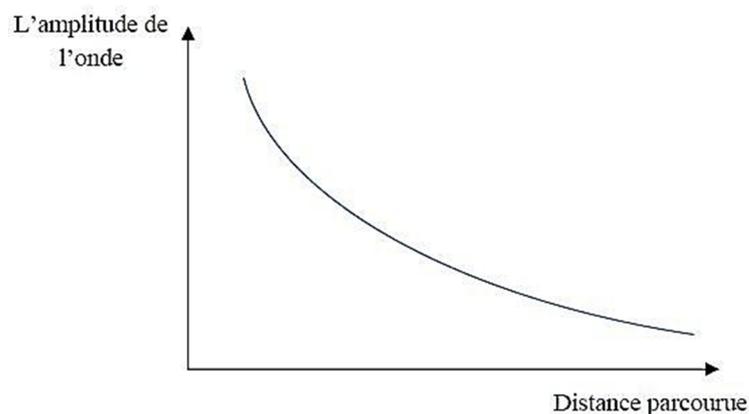


Figure II. 8 : La variation de l'amplitude de l'onde émise en fonction de la distance parcourue

II.6.4. La réflexion et la réfraction des ondes ultrasonores :

Une onde ultrasonore longitudinale incidente sous un angle oblique sur une interface se divise en deux réfléchies et en deux ondes transmises. Chaque paire comprend une onde longitudinale et une onde transversale. L'onde transversale transmise est supprimée pour une incidence normale.

Et l'onde longitudinale transmise disparaît si elle dépasse un angle critique qui dépend du rapport des vitesses des ultrasons dans les deux milieux considérés, cet effet est utilisé par les palpeurs à incidence oblique [4].

Les orientations des faisceaux d'onde réfléchies et réfractées sont définies par les lois de (Descartes-Snell), bien connues en optique, et où l'indice optique est ici remplacé par la vitesse V des ondes. On a les relations entre angles de réfraction et vitesse de l'onde.

$$\frac{\sin(i)}{VL1} = \frac{\sin(\alpha L1)}{VL1} = \frac{\sin(\alpha T1)}{VT1} = \frac{\sin(\alpha L2)}{VT2} = \frac{\sin(\alpha T2)}{VT2} \quad (2-8)$$

- V_{2L} : Vitesse de propagation de l'onde longitudinale dans le milieu 2 ;
- V_{2T} : Vitesse de propagation de l'onde transversale dans le milieu 2 ;
- α_i : angle d'incidence dans le milieu 1 ;
- α_{2L} : angle de réfraction de l'onde longitudinale dans le milieu 2
- α_{2T} : angle de réflexion de l'onde transversale dans le milieu 2

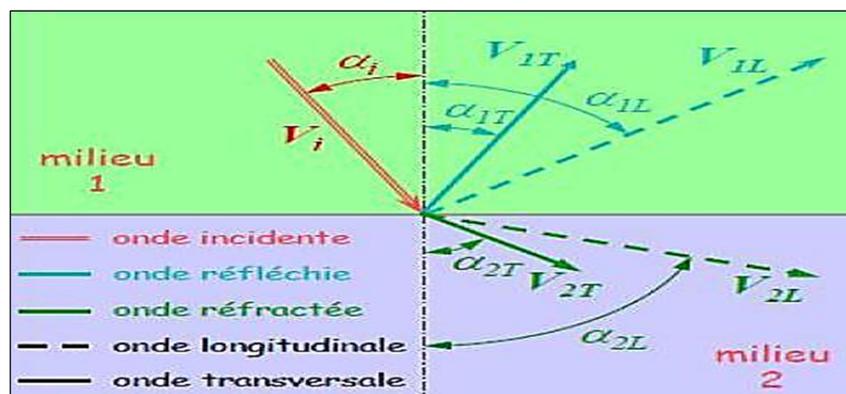


Figure II.9. : Réflexion et réfraction des ondes ultrasonore en incidence oblique

Ces considérations sont extrêmement importantes dans la pratique. Pour un angle d'incidence compris entre deux angles critiques, l'existence d'un seul faisceau réfracté est utilisée pour simplifier les interprétations de signaux ultrasonores en éliminant un des modes vibratoires, au-delà desquels les ondes réfractées ne peuvent exister (le calcul de la condition sur les sinus).

II.7. Génération des ultrasons :

II.7.1. la piézo-électrique :

C'est la propriété réversible que possèdent certains cristaux, à cause de manque de symétrie dans leur structure. Lorsque le matériau subit à une sollicitation mécanique (compression, cisaillement), il engendre un potentiel électrique proportionnel aux contraintes qu'il subit. La réciprocité du phénomène, si le matériau soumet à un potentiel électrique, il change de forme, et produit des vibrations mécaniques.

II.7.2. Palpeur piézo-électrique :

Le palpeur est l'outil véritable de contrôle. Il est constitué autour d'une pastille piézoélectrique circulaire ou rectangulaire taillée dans le matériau piézoélectrique choisi, dont les faces parallèles sont métallisées de façon à réaliser deux électrodes auxquelles sont soudés les fils de

Le palpeur est l'outil véritable de contrôle. Il est constitué autour d'une pastille piézoélectrique circulaire ou rectangulaire taillée dans le matériau piézoélectrique choisi, dont les faces parallèles sont métallisées de façon à réaliser deux électrodes auxquelles sont soudés les fils de connexion. Pour limiter les vibrations vers l'arrière du palpeur et leur durée, la pastille est placée sur un bloc amortisseur réalisé en matériau dense et très absorbant (par exemple, métal lourd ou sel métallique noyé dans une résine). L'ensemble de ces deux éléments et une bobine d'accord sont placés dans un boîtier métallique complète par un connecteur électrique et une face de protection devant la pastille piézoélectrique. Cette face avant joue le double rôle de protection contre les chocs mécaniques et l'étanchéité. Elle est réalisée dans des matériaux très variés (résines, carbures non métalliques...) [3].

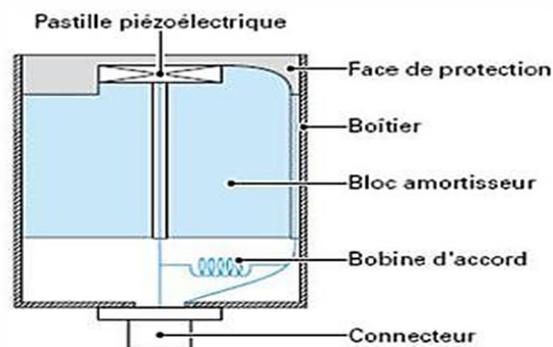


Figure II.10. : Structure d'un palpeur ultrasonore

Il existe plusieurs familles de palpeurs piézoélectriques adaptées aux :

- Mode d'utilisation : contrôle par contact ou en immersion,

- Nature du produit à sonder
- Défauts

Les palpeurs les plus utilisés dans l'industrie sont les suivants : palpeur droit cylindrique, palpeur d'angle à sabot, palpeur droit focalisé, palpeur droit double avec émission et réception séparées (palpeurs SE). Certaines applications particulières font appel à des palpeurs spéciaux tels que les palpeurs droits rectangulaires, les palpeurs à focalisation cylindrique, palpeurs EMA. Palpeurs lasers...

Les caractéristiques déterminantes d'une sonde ultrasonore : sa fréquence d'oscillation et son diamètre, la distance focale pour un palpeur focalisé, et l'angle de réfraction pour les palpeurs d'angle.

II.7.3. Les méthodes de contrôle par ultrason :

Les ondes ultrasonores se propagent dans un matériau. À l'émission, le transducteur génère une onde ultrasonore par effet piézoélectrique, et à la réception, le transducteur convertit l'énergie mécanique en signal électrique.

Des modifications locales du milieu parcouru (fissures, défaut de compacité....) engendrent des perturbations dans la propagation des ondes. Le contrôle par ultrasons a donc pour principe d'analyser, à l'aide d'instruments de mesure appropriés, les modifications appropriées à la progression des ondes ultrasonores [1].

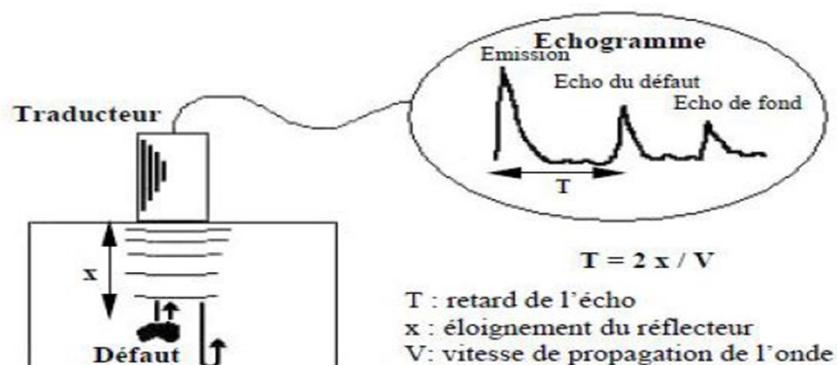


Figure II.11 : Principe de contrôle ultrasonore

II.7.4. Contrôle par réflexion :

Cette mesure utilise un seul palpeur qui est alternativement émetteur et récepteur. Il émet une onde ultrasonore longitudinale qui se propage dans la pièce à contrôler et de direction perpendiculaire à la surface à examiner. Toute discontinuité du milieu sondé entraîne la réflexion d'une partie de l'onde ultrasonore. L'analyse a pour but ensuite d'évaluer

les échos réfléchis. La mesure de l'intervalle de temps séparant le signal électrique d'entrée et le signal électrique de retour indique la position en profondeur du défaut. L'amplitude et la forme des échos de défauts sont caractéristiques de la nature et de la dimension des défauts [1].

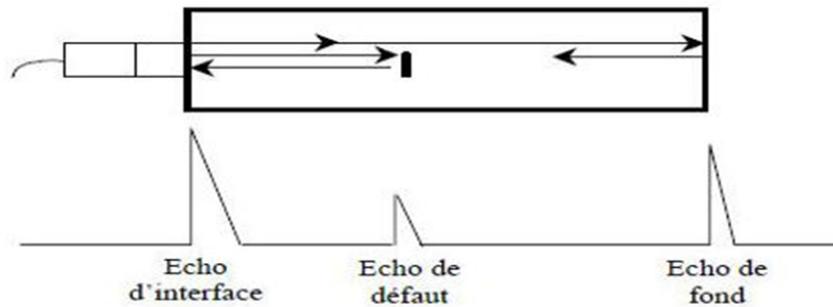


Figure II.12 : Contrôle par réflexion

II.7.5. Contrôle par transmission :

Dans certains cas, en lieu et place d'une analyse des ondes renvoyées vers le palpeur émetteur, on utilise un second palpeur placé à l'opposé du premier et qui sert uniquement de récepteur. Les impulsions ultrasonores reçues par ce palpeur permettent de caractériser la transmission des ultrasons au travers de la pièce. Quand un défaut intercepte le signal, une partie de l'énergie ultrasonore est arrêtée et par conséquent, l'énergie parvenant au capteur récepteur est diminuée.

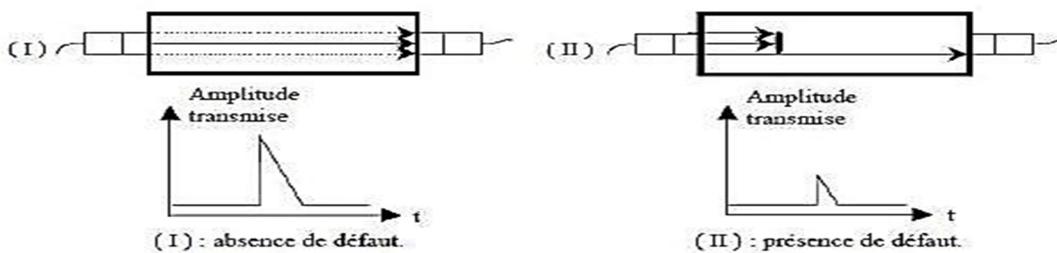


Figure II.13 : Contrôle par transmission

Son inconvénient réside sur la diminution du signal obtenu qui peut être la conséquence de nombreux autres phénomènes telle que le mauvais couplage entre les palpeurs et la pièce, aussi le changement de l'état de surface du métal, le désalignement des palpeurs émetteur –récepteur, et non pas toujours à la présence d'un défaut [1].

II.8. Les différentes techniques de contrôle ultrasonores :**II.8.1. Contrôle par contact :**

Le traducteur est directement placé sur la pièce à contrôler. La liaison est assurée par un film de couplage qui est généralement une graisse, une huile ou des gels spéciaux. Cette technique est surtout employée lors de contrôle manuel c.-à-d. lorsque le déplacement est assuré par un opérateur [1].

II.8.2. Contrôle par immersion :

Le traducteur est situé à une distance de la pièce, le couplage est assuré par un liquide. Habituellement de l'eau additionnée d'un mouillant. Cette technique assurée la mobilité sur 3 axes à ces palpeurs, et aussi la facilité d'utiliser des palpeurs focalisés. [1].

II.8.3. Contrôle automatique des grandes structures par ultrasons :

C'est un système de chantier entièrement automatisé permettant d'analyser des surfaces importantes horizontales ou verticales sur des structures métalliques. Il est constitué d'un robot roulant magnétique et d'une instrumentation de contrôle ultrasonore informatisée.

La mécanique de support de traducteur est conçue pour franchir des soudures ou des obstacles de surface. Ce robot est configurable pour mesurer de profils B-Scan (mesure d'épaisseur en fonction d'une longueur parcourue) ou pour des cartographies C-Scan (mesures de surfaces de corrosion ou détection / localisation / caractérisation de défauts, fissures...).

Cet ensemble est principalement dédié aux analyses et expertises par ultrasons pour des tubes de grand diamètre (en interne ou externe), des structures planes, des fonds ou toits de réservoir, des viroles et des parois de cuve [6].

II.8.4. La technique TOFD :

TOFD est l'acronyme de "Time of Flight Diffraction", c.-à-d. Mesure du temps de vol de l'onde diffractée. La méthode TOFD exploite les phénomènes de diffraction générés par les extrémités des défauts.

Méthode de dimensionnement de défauts basée sur la mesure du temps de vol et non l'amplitude avec deux traducteurs utilisés en tandem, et pitch and catch.

Le contrôle s'effectue au moyen de deux traducteurs ultrasonores mis en opposition, l'un fonctionnant en émission, l'autre en réception [7].

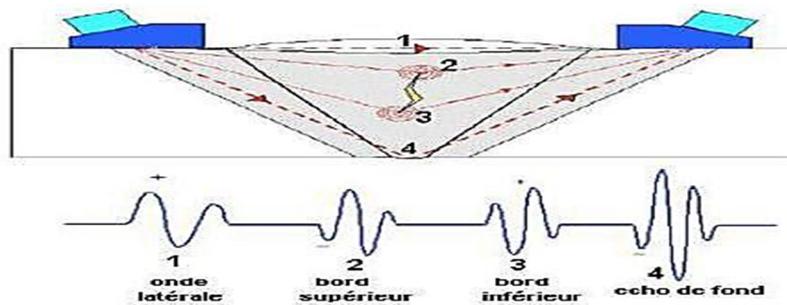


Figure II.14 : Principe de la technique TOFD

II.9. Les différents modes de représentation d'un sondage à ultrason :

Les données issues d'une acquisition peuvent être représentées sous la forme d'un ensemble de signaux monodimensionnels, ou sous forme d'une image permettant une visualisation simple et interprétation rapides des informations.

II.9.1. Représentation A :

Le signal A-Scan est une représentation de l'amplitude des échos enregistrés par le récepteur en fonction du temps, il s'agit d'un sondage. C'est un signal monodimensionnel obtenu lorsqu'un tir ultrasonore est réalisé pour une position donnée (X, Y) du couple émetteur/récepteur. L'appareil à ultrasons permet de visualiser sur l'écran le parcours du faisceau dans la pièce. Le mode de représentation A-Scan est à la base de toutes les méthodes d'exploitation et d'interprétation de données ultrasonores en contrôle non destructif [7].

II.9.2. Représentation B :

Une cartographie B-Scan est une image engendrée par une succession des A-Scan selon la direction principale de balayage de la surface contrôlée (on obtient une carte des échos).

II.9.3. Représentation C :

Une cartographie C-Scan est obtenue à partir des signaux A-Scan en effectuant la projection, sur un plan parallèle à la surface de contrôle, du maximum révélé sur les signaux A-Scan associé à chaque position (X, Y) des capteurs.

II.9.4. Représentation 3D :

Une représentation tridimensionnelle est un mélange des représentations B et C. cette représentation nécessite un contrôle automatique de l'objet et un ordinateur pour traiter les informations.

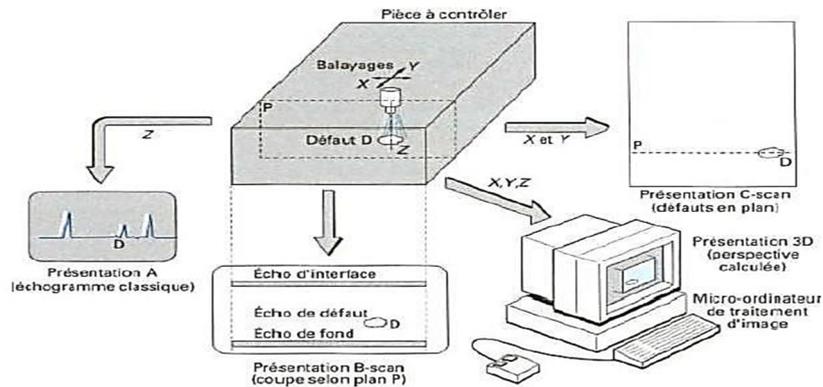


Figure II.15 : Les différents modes de présentations d'un sondage a ultrasons

II.10.Mode Opérateur :

Au premier lieu, on applique des essais sur différents matériaux avec différentes épaisseurs considéré comme des matériaux de référence ; puis on se concentre sur l'émission des ultrasons.

En imagerie médicale, les ultrasons utilisés ont une fréquence se situant entre 2 et 10 millions d'Hertz.

On les utilise pour les échographies car, comme les ondes lumineuses lorsqu'ils rencontrent une interface entre deux milieux différents, une partie est réfléchi, l'autre est réfractée, passe dans le deuxième milieu selon la loi de Snell-Descartes.

Dans cette partie, nous avons voulu testé la réflexion et la transmission des ultrasons.

Pour cela, nous avons tout d'abord placé le transducteur ultrasonore en contact direct c'est la représentation A-Scan dans le cadre du contrôle non destructif par ultrasons (US), qui est la plus répandue.

Celle-ci présente l'amplitude du signal d'écho US en fonction de son temps de vol. Une inhomogénéité dans une cible se traduit alors par un pic sur la courbe A-Scan.

Chaque fois qu'un faisceau d'ultrasons rencontre une interface, c'est-à-dire un changement de milieu ; une partie des ultrasons est réfléchi. À chaque nouvelle interface, une nouvelle réflexion a lieu, jusqu'à extinction totale du faisceau.

On a commençais cette application sur les matériaux de références et après sur des pièces qu'on veut tester.

Lorsque le faisceau ne rencontre aucun obstacle (autre que la résistance de l'air), aucun signal n'est détecté à la réception. Afin d'illustrer notamment la réflexion des ultrasons exercée sur les différents matériaux et aussi sur des pièces qu'on veut tester.

Avant l'expérience, nous n'avons pas connaissance des épaisseurs et des signaux de chaque matière.

A l'aide du capteur ultrasonore et du système d'émission et de réception des ultrasons Kraut Kramer, nous avons pu assurer la qualité de la pièce et surtout voir l'effet des interfaces (réflexion et transmission) [6].

II.11. Domaine d'application :

Le contrôle non destructif par ultrason est précis, fiable et reproductible. Il peut être effectué par l'émission d'ultrasons dans un matériau, ce qui rend inutile la destruction ou la coupe des pièces. Les défauts internes peuvent être identifiés dans les matériaux industriels, en toutes formes et toutes dimensions.

Il est possible d'économiser du travail, du temps et des matériaux pour plusieurs applications d'inspection où la structure interne est invisible et où le côté opposé est difficile, voire même impossible, à atteindre.

Dans les applications d'inspection par ultrasons, les ondes sonores à haute fréquence et à grande directivité sont utilisées pour mesurer l'épaisseur des matériaux, trouver des défauts internes ou analyser les propriétés matérielles des métaux, des plastiques, des composites, des céramiques, du caoutchouc et du verre.

Les appareils à ultrasons génèrent de courtes impulsions d'énergie sonore dans la pièce à inspecter, à des fréquences situées au-delà de la limite de perception par l'ouïe humaine. Les appareils à ultrasons permettent de contrôler et d'analyser les formes des ondes réfléchies ou transmises et de produire des rapports d'inspection [5].

II.12. Caractéristique :

II.12.1. Avantage :

Les avantages des techniques ultrasonores sont d'avoir une grande sensibilité de détection les hétérogénéités dans la structure, et cela, compte tenu de la bonne pénétration des ondes ultrasonores dans un bon nombre de microstructures métallurgiques, sur des pièces présentant une épaisseur importante. De plus, elles ont la particularité de pouvoir se prêter facilement au contrôle automatisé, permettant ainsi d'acquérir, de stocker et de traiter une grande quantité d'informations. Cette particularité peut être mise à profit pour :

- Obtenir une bonne localisation des défauts dans les trois dimensions par le biais des cartographies B-Scan et C-Scan.
- Appliquer des techniques de traitement du signal aux informations contenues dans les écho-grammes A-Scan représentatifs du trajet de l'onde ultrasonore dans l'épaisseur du matériau et améliorer ainsi la sensibilité de la détection [2] [3].

II.12.2.Inconvénient :

- Sensibilité suivant orientation du défaut
- Nature et dimensionnement des défauts difficiles

II.13.conclusion :

Les méthodes de contrôle non destructif par ultrasons permettent de tester une structure sans provoquer de modification irréversible. Elles représentent donc un enjeu industriel important du point de vue économique. On a abordé dans ce chapitre les principes de bases physiques des ultrasons et les différentes méthodes et techniques de contrôle ultrasonore.

Dans le prochain chapitre on va entamer l'application de cette technique dans l'entreprise ALFET.

Chapitre –III–

Application du technique dans l'entreprise ALFET

III.1.Introduction :

Pour montrer la contribution des ultrasons dans le contrôle et l'évaluation non destructive des défauts dans les matériaux métalliques, on propose ci-après une étude expérimentale.

Cette étude comprend :

- Mesures expérimentales sur cales normalisées.
- Mesures expérimentales sur des pièces contenant des défauts.

III.2.Les matériels utilisés a l'entreprise :

Appareil à ultrasons : USN 52 numérique.

Producteur : KrautKramer branson « Allemagne ».

- Traducteurs :
 - palpeur droit « OL », Ø10, 4MHz.
 - Palpeur à angle « OT », « 45°, 60°, 70° », 4MHz, 8×9
- Blocs d'étalonnages : V1 type B.
- Blocs de référence : ce sont des blocs réalisés dans un matériau présentant des caractéristiques acoustiques voisines, qui présentent des réflecteurs artificiels tels que :
 - Des trous cylindriques à fond plat,
 - Des génératrices de trous cylindriques,
 - Des rainures ou entailles.

III.3.Paramètres de réglage et d'étalonnage d'un appareil à ultrasons :

Pour assurer la reproductibilité d'un examen par ultrasons, dans la plupart des cas, des cales étalon sont utilisés : réalisés à partir d'un matériau des propriétés similaires à celle de l'élément à contrôler, ils comportent des réflecteurs artificiels tels que trous forcés, trous à fond, plat, entailles ...etc.

Les étalons permettent le contrôle et le réglage des appareils à ultrasons et leurs accessoires avant l'exécution d'un travail.

III.4.Les étapes qu'il faut suivre :

- Configuration de l'appareil, choix de la vitesse, de la plage de mesure...
- Etalonnage de l'instrument avec un bloc normalisé
- Ajustement et vérification des réglages sur la cale.
- Pratique du contrôle sur les pièces et structures.

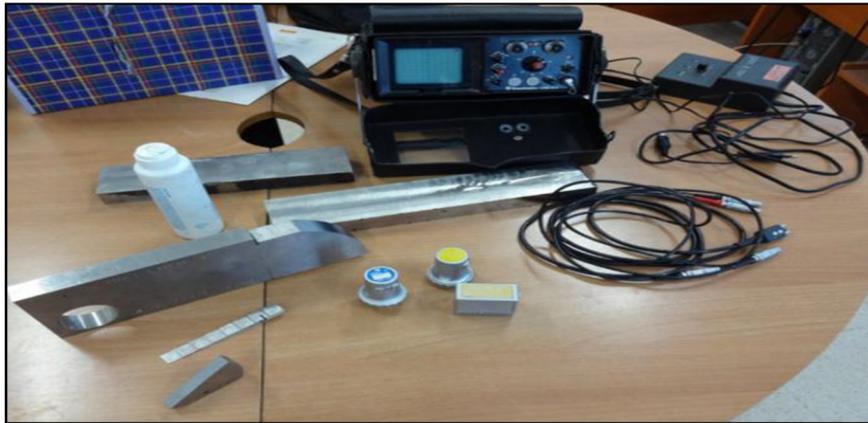


Figure III.1 : Les équipements de contrôle ultrasonore

III.5. Les types d'étalons utilisés :

- Cale étalon normalisé EN12223 pour les grands palpeurs
- Cale étalon normalisé EN27963 pour les palpeurs miniatures
- Etalon en escalier 3421.z



Figure III.2 : Les différents types des cales d'étalons

III.6. Etalonnage de l'appareil en ondes transversales :

- En utilisant la cale universelle d'étalonnage EN 12 223.
- Calibrage de palpeur d'angle (angle de faisceau, vérification du point émergent).
- Cale en Acier 25*100*300mm.
- Le palpeur (45°, 2MHZ, 20*22).



Figure III.3 : Etalonnage de l'appareil à ultrasons

Le capteur est placé à la position L du bloc d'étalonnage et un écho de fond, on obtient le quadrant 100 mm c.-à-d. quart de circonférence du cercle.

L'amplitude maximale de cet écho de fond est déterminée en déplaçant la sonde dans les deux sens autour de la position L, c.-à-d. d'avant en arrière pour maximiser l'écho.

Premier cas :

La plage de mesure sur cadran 250mm (échelle 1 graduation =25mm) ; vitesse des US 3240m/s

Sur écran : la distance entre deux pic successif est égale à 100mm, elle correspond au rayon de cercle de la cale.

La distance du premier écho est plus courte que celle du deuxième écho c'est pour ça que l'amplitude du premier écho de fond est plus grande que le deuxième.

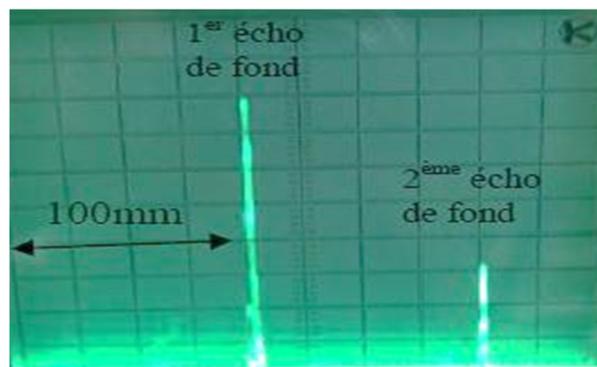


Figure III.4: premier résultat de la Détermination du point d'émergence (ou incidence)

Deuxième cas :

La plage de mesure sur écran 1000mm (échelle 1 graduation = 100mm), vitesse des US 3240m/s

La distance entre deux pic successif = 100mm, qui représente le rayon de cercle de la cale.

En absence de tout défaut interne plusieurs échos de fond successifs sont observés sur l'écran.

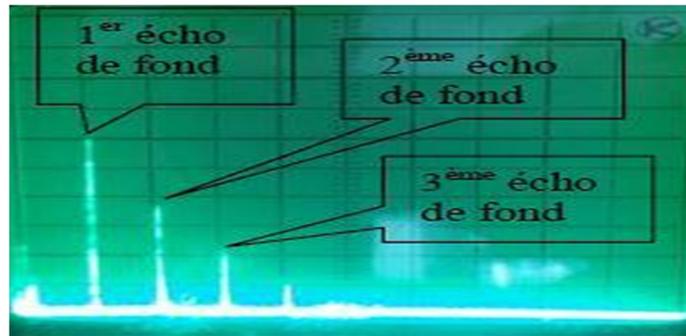


Figure III.5: Deuxième résultat de la détermination du point d'émergence (ou incidence)

III.7. Détection de défauts dans le bloc étalon :

III.7.1. Recherche d'un trou de diamètre 50mm sur la cale

Le parcours ultrasonore $P = 75\text{mm}$.

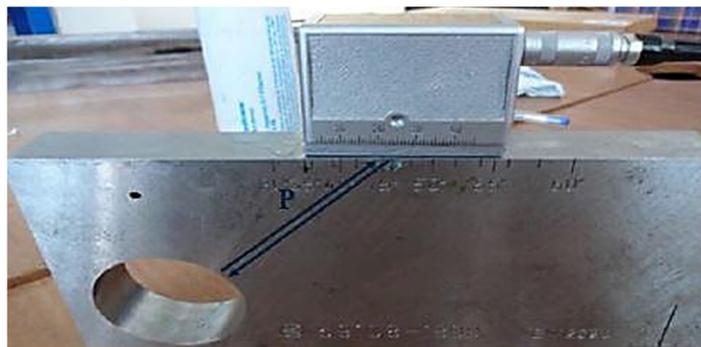


Figure III.6 : Recherche d'un diamètre 50mm sur la cale

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

La sonde est déplacée en fonction de son angle, soit à position (35° à 60°), ou (60° à 75°) ou (75° à 80°) comme indiqué la figure. Et la face du palpeur dirigée vers le trou de diamètre 1.5

L'amplitude de l'écho provient du trou de 1,5 mm de diamètre est maximale.

La plage de mesure sur cadran 250mm (échelle 1 graduation = 25mm).

Un pic apparaît à distance ($3 \times 25 = 75\text{mm}$). (Voir la photo). Qui correspond à la réflexion maximale du coin du trou.

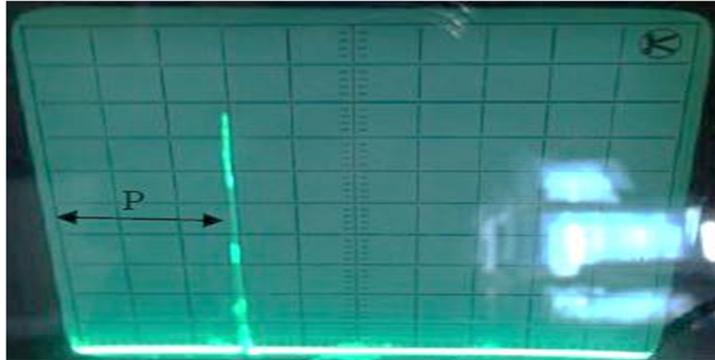


Figure III.7: Résultat de la recherche d'un diamètre 50mm sur la cale

III.8.Recherche de l'entaille sur la cale :

Parcours ultrasonore ($P = a/\sin 45^\circ = 100/\sin 45^\circ$)

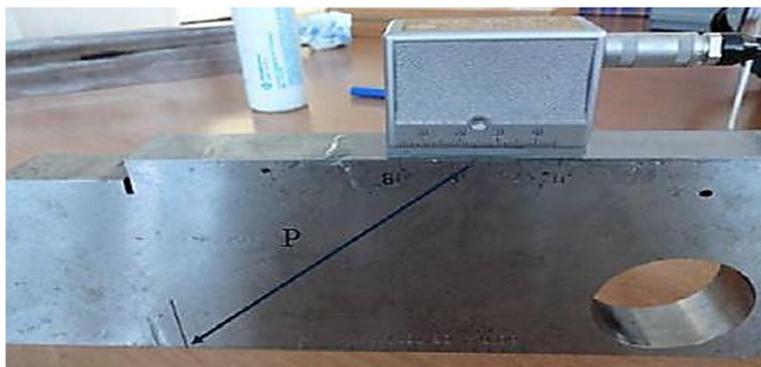


Figure III.8 : Recherche de l'entaille sur la cale

La plage de mesure sur cadran 250mm (échelle 1 graduation = 25mm).

Un pic apparaît à distance ($5.65 \times 25 = 141\text{mm}$).

Qui correspond au parcours ultrasonores P

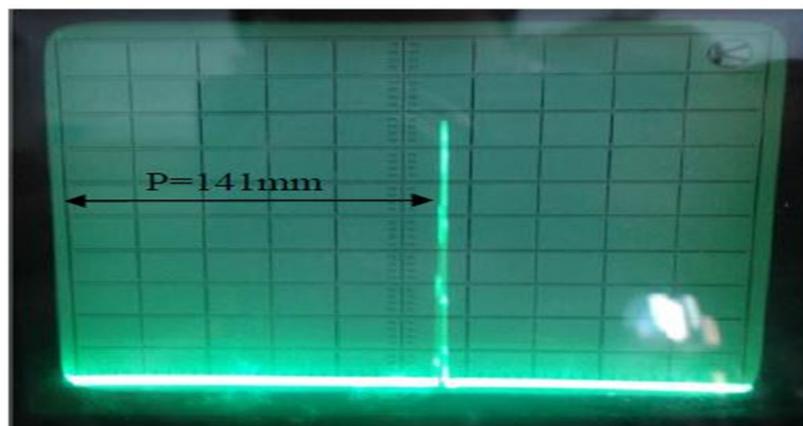


Figure III.9 : Résultat de la Recherche de l'entaille sur la cale

III.9. Recherche du trou de diamètre 2 mm sur la cale :

La distance entre le point d'émergence du palpeur et le trou de diamètre 2mm qui correspond au parcours ultrasonore.

$$P = h/\cos 45^\circ = 14/\cos 45^\circ,$$

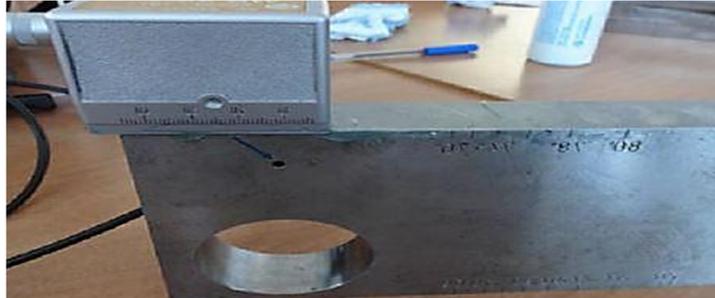


Figure III.10 : Recherche du trou de diamètre 2 mm sur la cale

La plage de mesure sur cadran 250mm (échelle 1 graduation = 25mm)

Il y'a un pic qui apparait à une distance de $0.8 * 25 = 20\text{mm}$.

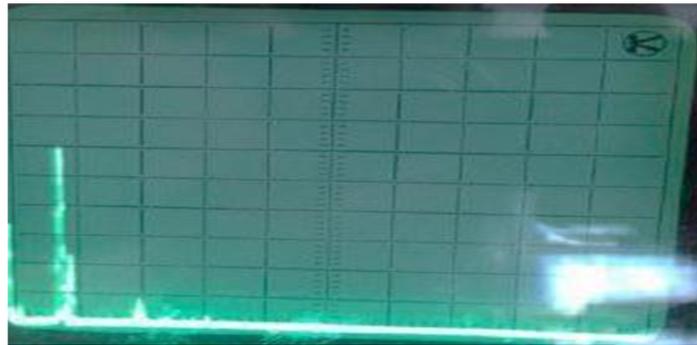


Figure III.11 : Résultat de la recherche du trou de diamètre 2 mm sur la cale

III.10. Recherche de l'entaille sur la cale

La distance entre le point d'émergence du palpeur et l'entaille qui correspond au parcours ultrasonore.

$$P = e/\cos 45^\circ = 25/\cos 45^\circ$$

$$P = 35\text{mm}.$$



Figure III.12 : Recherche de l'entaille sur la cale

La plage de mesure sur cadran 250mm (échelle 1 graduation = 25mm)

Un pic apparait à distance $2.8 \times 25 = 70\text{mm}$



Figure III.13 : Résultat de la recherche de l'entaille sur la cale

III.11. Recherche de l'entaille sur la cale

La distance entre le point d'émergence du palpeur et l'entaille qui correspond au parcours ultrasonore.

$$P = 2 \cdot e / \cos 45^\circ = 2 \cdot 25 / \cos 45^\circ$$

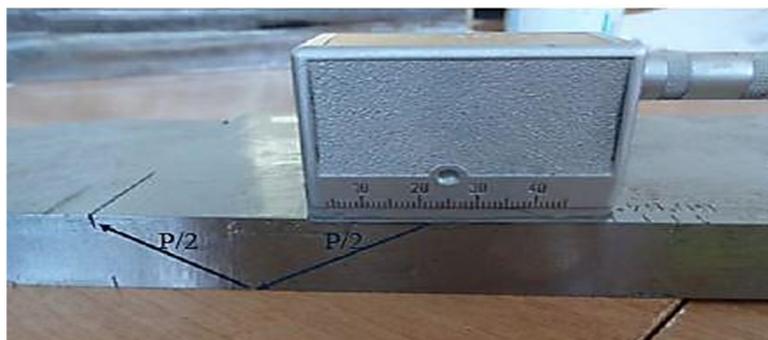


Figure 14 : Recherche de l'entaille sur la cale

La plage de mesure sur cadran 250mm (échelle 1 graduation = 25mm)

Un pic apparaît à distance $2.8 * 25 = 70\text{mm}$ qui correspond à un écho de fond en absence de défaut.

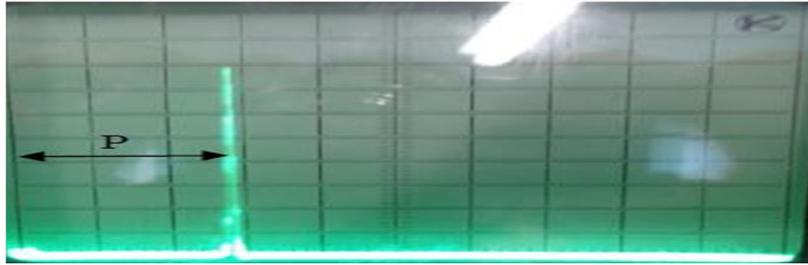


Figure III.15 : Résultat de la recherche de l'entaille sur la cale

III.12. Recherche de défauts

III.12.1. Positionnement du premier défaut :

On cherche la position qui donne un écho d'amplitude maximale.



Figure III.16 : Recherche du premier défaut

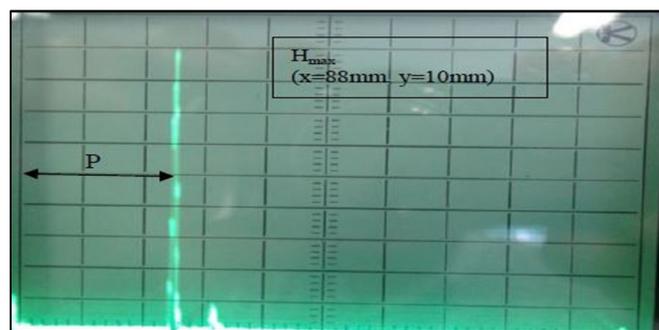


Figure III.17 : Résultat de la recherche du premier défaut

La plage de mesure sur cadran 250mm (échelle 1 graduation=25mm)

Le pic sur l'écran d'amplitude maximale H_{\max} apparaît à $p=2.4 * 25=60\text{mm}$, correspondant au parcours ultrasonore.

La distance entre le palpeur et le défaut suivant l'axe x est égale à :

$$d = p \sin \theta = 60 \sin 45 = 42.4 \text{ m m}$$

La profondeur du défaut :

$$h = 2e - p \cos 45 = 2.26 - 60 \cos 45 = 9.6 \text{ m m}$$

La position du palpeur par rapport à la référence est de coordonnées :

$$(x = 88 \text{ m m} , y = 10 \text{ m m})$$

Le premier défaut est localisé par rapport au point de référence, voir figure aux coordonnées :

$$(x = 130.4 \text{ m m} , y = 10 \text{ m m})$$

Sur une profondeur :

$$h = 9.6 \text{ m m}$$

III.12.2. Positionnement du deuxième défaut :

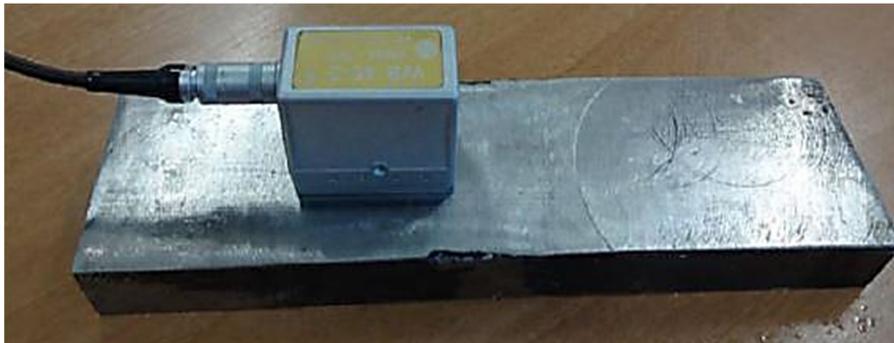


Figure III.18 : Recherche du deuxième défaut

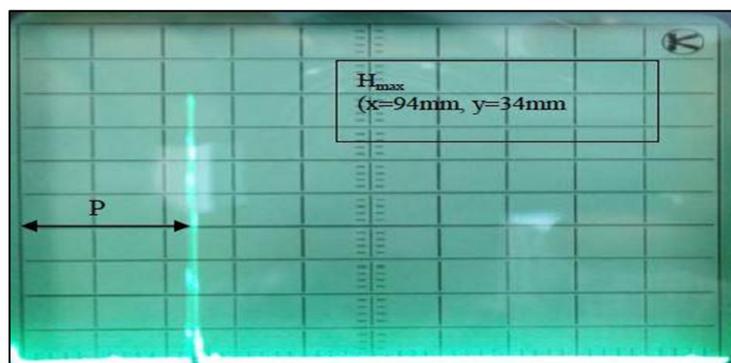


Figure III.19 : Résultat de la recherche du deuxième défaut

Le pic sur l'écran d'amplitude maximale H_{\max} apparaît à $p=2.3*25=57.5\text{mm}$, correspondant au parcours ultrasonore.

La distance entre le palpeur et le défaut suivant l'axe x est égale à :

$$d = p \sin \theta = 57.5 \sin 45 = 40.6 \text{ m m}$$

La profondeur du défaut :

$$h = 2e - p \cos 45 = 2.26 - 57.5 \cos 45 = 11.3 \text{ mm}$$

La position du palpeur par rapport à la référence est de coordonnées :

$$(x = 94 \text{ mm}, y = 34 \text{ mm})$$

Le premier défaut est localisé par rapport au point de référence, voir figure aux coordonnées :

$$(x = 134.6 \text{ mm}, y = 34 \text{ mm})$$

Sur une profondeur :

$$h = 11.3 \text{ mm}$$

III.12.3. Interprétation des résultats :

Afin d'identifier les deux défauts présents dans les deux pièces soudées en X. Nous avons dans un premier temps utilisé la méthode directe pour localiser les positions des deux défauts et dans un deuxième temps, nous avons évalué les dimensions de ces défauts.

Premier défaut :

Sa position par rapport à la référence de la pièce : X=130.4mm et Y= 10mm.

Les dimensions sont : une longueur de 12mm et une hauteur de 7.1mm.

Deuxième défaut :

Sa position par rapport à la référence de la pièce : X=134.6mm et Y= 34mm.

Les dimensions sont : une longueur de 14mm et une hauteur de 5.3mm.

III.13. Conclusion :

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances en matière de CND par ultrasons il a relevé plusieurs points, telles que les notions de bases des ultrasons, les techniques de contrôle et les méthodes d'estimation des défauts. Ce mode de contrôle non destructif permet d'estimer la valeur du défaut, et cela sans être obligé de démonter la pièce.

Conclusion générale

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances en matière de CND par ultrason. Il a relevé plusieurs points, telles que les notions de bases des ultrasons, les techniques de contrôles et les méthodes d'estimation des défauts. Ce mode de contrôle non destructif permet d'estimer la valeur du défaut, et cela sans être obligé de démonter la pièce.

L'acquisition des données est une étape importante. Le choix du palpeur, et les conditions d'acquisition, influent considérablement sur la qualité des données. Plus l'acquisition sera soignée, plus les traitements seront efficaces.

- L'amplitude du pic donne une indication sur la taille du défaut.
- La combinaison de plusieurs capteurs, ou différentes techniques, donne de meilleurs résultats.
- La position de l'écho du défaut entre le pic d'émission et l'écho de fond est proportionnelle à sa profondeur.
- Pour pouvoir détecter des défauts plans d'orientations diverses, il faut utiliser plusieurs palpeurs d'angles différents.
- Si la technique utilisée est inadaptée, cela influe sur la performance de contrôle.

En fin, ce travail simple reste une source d'espoir pour la mise en œuvre formelle de ces étapes dans la future.

En fin, ce travail simple reste une source d'espoir pour la mise en œuvre formelle de ces étapes dans la future.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] B. BANKS ; G.E. OLDFIELD et H. RAWDING « La détection ultrasonique des défauts dans les matériaux » EYROLLES
- [2] Jacques DUMONT-FILLON « Contrôle non destructifs »
- [3] R.Drai « Technique de traitement des signaux ultrasonores appliquées au contrôle non destructif des matériaux » Thèse Doctorat 2005
- [4] J. Dumont-Fillon « Contrôle non destructif (CND) » Techniques de l'ingénieur r1400, (1996)
- [5] cours théorique et pratique de l'ultrason : Programme de formation « Gtp ». [02/01/2008]
- [6] : manuel pour l'examen par ultrasons des soudures, institut international de la soudure, commission V. 1978.
- [7] : ultrasons techniques particulières de contrôle : Cahiers de formation CETIM [2em édition 1996].
- [8] : Mémoire de master, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER-BISKRA Thème : étude les défauts de soudage des pipelines.
- [9] : Procédure générale de contrôle par ultrason (norme) [CIS-UT-01-b]
- [10] J. Krautkramer & H. Krautkramer; Ultrasonic Testing of Materials; Springer Verlag; 4th/revised edition; November 1990.
- [11] www.mesures.com/archives/642FICHE%2043.pdf ; Le contrôle non destructif, TECHNIQUES DE BASE (fiche 43) consulté le 05-04-2006
- [12] Orland.guedes.free.fr/docs/ultrasons.pdf ; Génération et propagation ultrasonore ; Consulté le 30 septembre 2005

Résumé

Les contrôles non destructifs ont pour but de détecter les défauts d'homogénéité dans les matériaux et leur besoin s'est développé dans les secteurs industriels où la fiabilité est capitale.

Parmi les nombreuses méthodes existantes, le contrôle par ultrasons est l'une des plus utilisées du fait de sa grande sensibilité, de sa commodité d'emploi et de son coût raisonnable.

Les CND par ultrasons ont plusieurs champs d'application comme par exemple : la métallurgie, le domaine de mesure, l'industrie sidérurgique.

Entre autres, les ultrasons sont souvent utilisés pour pouvoir détecter et localiser les défauts et lacunes pouvant se trouver dans les échantillons et les analyses. Pour se faire, il est nécessaire de se munir d'une méthodologie permettant à partir des données acquises, de réaliser un diagnostic fin et pur dont il est l'objectif de ce travail.

Abstract

Non-destructive testing is designed to detect inhomogeneities in materials and their need has developed in industrial sectors where reliability is paramount. He enters several fields through different means, namely:

Among the many existing methods, ultrasonic testing is one of the most widely used because of its high sensitivity, ease of use and reasonable cost.

Ultrasonic CNDs have several fields of application such as, for example, metallurgy, the measurement domain and the steel industry.

Among other things, ultrasound is often used to detect and locate defects and gaps that may be found in samples and analyzes. To do this, it is necessary to have a methodology allowing from the data acquired, to achieve a fine and pure diagnosis for which it is the objective of this work.