

Investigation de différentes techniques non destructives pour la caractérisation de défauts

W. Djerir⁽¹⁾, T. Boutkedjirt⁽²⁾, A. Badidi Bouda⁽¹⁾ and R. Halimi⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Laboratoire de Caractérisation et Instrumentation. Centre de Recherche Scientifique en Techniques de Soudage et Contrôle. BP64, Route de Dely Brahim, Chéraga, Alger, Algérie.*

⁽²⁾ *Faculté de Physique, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, BP 32, El-Alia, DZ-16111 Alger, Algérie.*

Résumé :

Le contrôle non destructif (C.N.D.) des matériaux fournit un ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité de structures industrielles, sans les dégrader, soit au cours de la production, soit en cours d'utilisation. Parmi ces différentes méthodes citons : la radiographie à rayons x, les ultrasons, le ressuage, l'émission acoustique, les courants de Foucault, thermographie et la magnétoscopie. Nous nous intéressons dans ce travail au contrôle par ultrasons, le but étant de faire d'investigations de différentes techniques non destructives pour la caractérisation de défauts. Nous décrivons ainsi les différentes représentations classiques en contrôle non destructif par ultrasons (A scan, B scan, C scan.....) selon lesquelles une imagerie du matériau est effectuée. Enfin, nous présentons la méthode TOFD qui est utilisée pour dimensionner et caractériser un défaut.

Mots clés : C.N.D, défaut, ultrasons, A scan, B scan, C scan, TOFD.

1. Introduction

Les ultrasons sont des vibrations acoustiques de fréquence supérieure à 20kHz. Ces ondes se propagent sur de grandes distances dans les milieux solides, gazeux et liquides à une vitesse qui dépend de la nature du milieu. On distingue deux types d'ondes : les ondes de volume et les ondes de surfaces. Le principe du contrôle par ultrasons consiste à générer une onde acoustique dans le matériau à inspecter à l'aide d'un transducteur émetteur. Toute modification des propriétés mécaniques du milieu de propagation affecte l'onde ultrasonore incidente. L'hétérogénéité dans la pièce est détectée à l'aide d'un transducteur récepteur. Les informations recueillies sont liées aux caractéristiques physiques du matériau ainsi qu'à sa géométrie et aux caractéristiques du système utilisé pour émettre et recevoir ces ondes. Le type d'onde généré est choisi en fonction de la position du défaut : ondes de surface [1] pour la recherche de défauts situés à proximité de la surface, ondes subsurfaciques [2] pour des défauts situés juste sous la surface, ondes de volume pour des défauts situés à une profondeur supérieure à quelques longueurs d'onde. La transmission de l'onde ultrasonore depuis la surface émettrice du transducteur jusque dans la pièce inspectée, nécessite l'utilisation d'un milieu couplant. Selon la nature de milieu couplant on distingue deux types du contrôle : *le contrôle en immersion* qui consiste à plonger

le traducteur et la pièce contrôlée dans un milieu fluide couplant (généralement l'eau). et le *contrôle par contact*. Dans ce type de contrôle, le traducteur est placé directement en contact de la pièce, une fine lame de liquide, généralement un gel aqueux, assurant le couplage.

2. Méthodes courantes en contrôle non destructif

Le défaut recherché dans notre contrôle est un délaminage de longueur 30 mm dans le joint soudé d'une pièce en acier au carbone de 3 mm d'épaisseur.

2.1 Méthode par échographie

La méthode échographique est la méthode la plus répandue dans le contrôle non destructif par ultrasons. Dans ce cas le transducteur utilisé en émission et réception est le même. Cette méthode est appelée aussi méthode par réflexion ou mode "impulsion-écho". Dans cette technique, l'onde sonore générée par l'émetteur se propage dans le milieu de couplage puis dans le matériau à inspecter. Cette onde est réfléchiée par les zones de discontinuité et retourné au transducteur émetteur de départ. A partir de la mesure du temps de propagation aller-retour de l'onde et la vitesse des ondes dans le matériau inspecté, le défaut peut être localisé en profondeur dans la pièce. Les deux situations du contrôle choisies sont données par la figure (1) : dans la situation (a) le transducteur est plan de fréquence 3.5 MHz et au contact direct de la pièce alors que dans la configuration (b) le transducteur émet dans la pièce avec angle de 60° et à la fréquence 4 MHz.

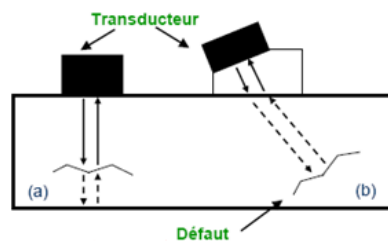


Figure 1 : contrôle par échographie en contact.

La figure (2) est représentative du résultat de ce contrôle.

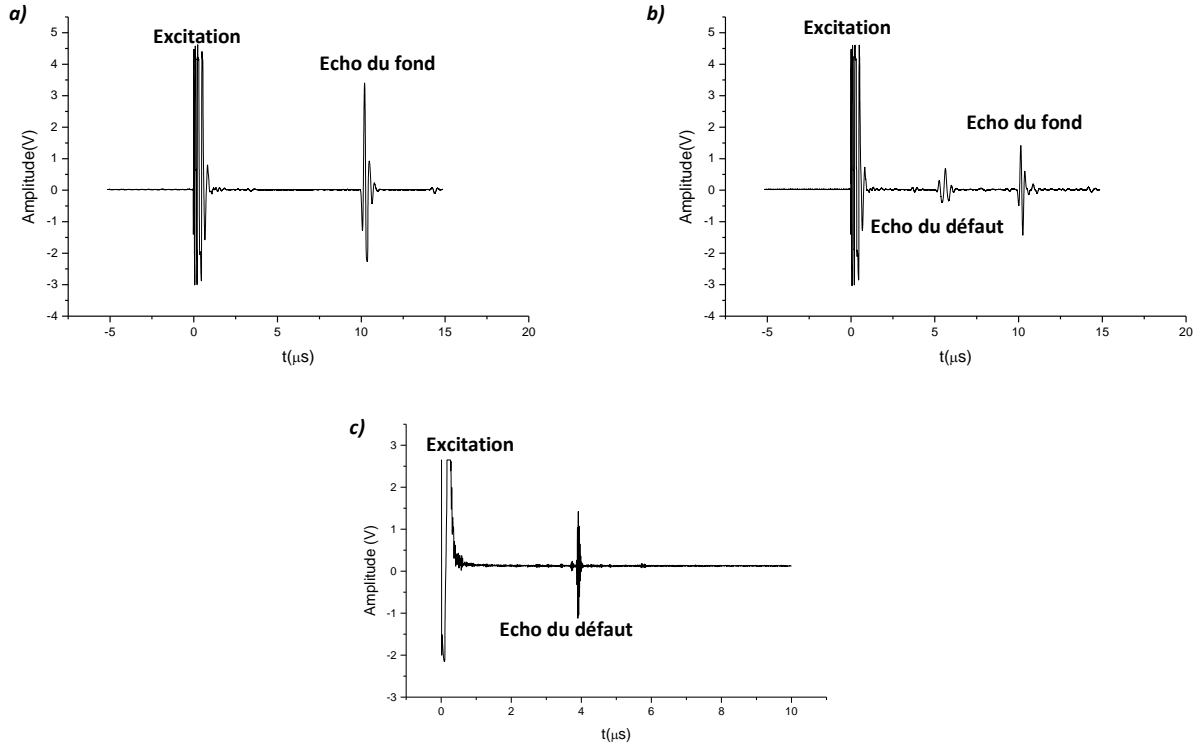


Figure 2: Résultat du contrôle par échographie en contact (a): Absence de défaut (b): Présence du défaut en incidence normale. c) Présence de défaut pour un transducteur à angle.

Lorsque le milieu est sain on reçoit un seul écho qui est l'écho du fond (figure 2. a). En présence du défaut (Figure 2. b) on remarque la présence d'un deuxième écho provenant du défaut. Nous remarquons également l'atténuation de l'écho défaut du fond par rapport à la première situation. L'écho du défaut peut être également identifié à partir du signal délivré par le capteur à angle (figure 2. c).

La figure 4 représente un résultat de contrôle du défaut précédent pour la méthode en immersion donnée par la figure 3; le transducteur est de fréquence 5 MHz.

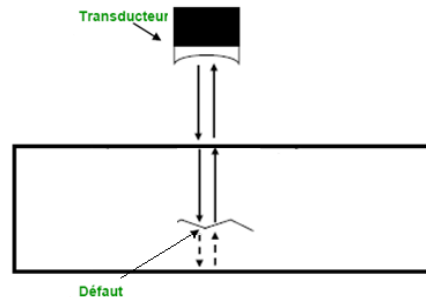


Figure 3 : Contrôle par échographie en immersion.

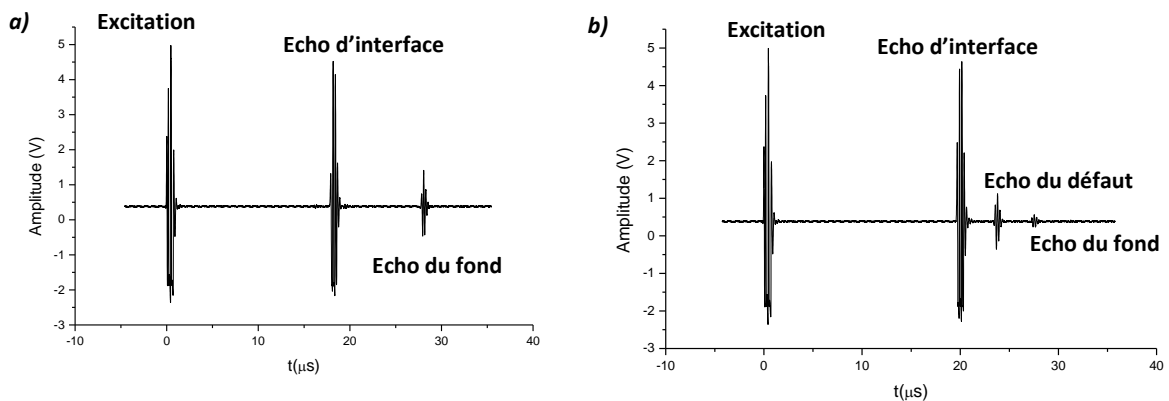


Figure 4 : Résultat du contrôle par échographie en immersion décrite dans la figure 3. (a): Absence de défaut (milieu sain). (b) : Présence du défaut

Dans le milieu sain on reçoit deux échos : l'écho d'interface et l'écho du fond. En présence de défaut on reçoit trois échos : écho d'interface, l'écho du défaut et l'écho du fond très affaibli par la présence du défaut.

A partir de ces deux expériences, on peut conclure que la méthode par contact est très pratique car son équipement est transportable (généralement des appareils ultrasonores portables). Elle offre la possibilité de trouver des défauts en profondeur. Les inconvénients de cette méthode résident dans la difficulté dans l'interprétation des signaux qui dépendent de l'opérateur. Aussi, cette méthode manuelle est lente. Il est d'ailleurs souvent nécessaire de contrôler plusieurs endroits de la surface de la pièce pour pouvoir faire une représentation tridimensionnelle des défauts. L'utilisation de l'eau pour la méthode en immersion, permet une propagation acoustique efficace et satisfaisante de l'onde ultrasonore vers la pièce

d'inspection. Il permet également de s'affranchir de l'effet de l'opérateur exerçant des pressions différentes sur le capteur dans le contrôle par contact. L'inconvénient majeur de cette méthode est la difficulté de l'appliquer sur site en raison des contraintes d'environnement rencontrées : équipement coûteux et non transportable avec l'impossibilité de contrôler des pièces non immergeables.

2.2 Méthode par transmission

En mode transmission, l'émetteur et le récepteur sont situés sur les côtés opposés de la matière (figure 5). Les interruptions dans le passage des ondes sonores sont utilisées pour localiser et mesurer les défauts.

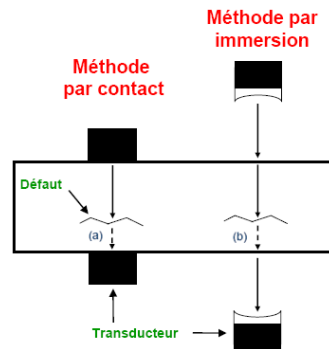


Figure 5 : Principe de la méthode par transmission (a) par contact; (b) par immersion.

La figure 6 et 7 présente un résultat de contrôle du défaut par la méthode transmission en contact et en immersion respectivement.

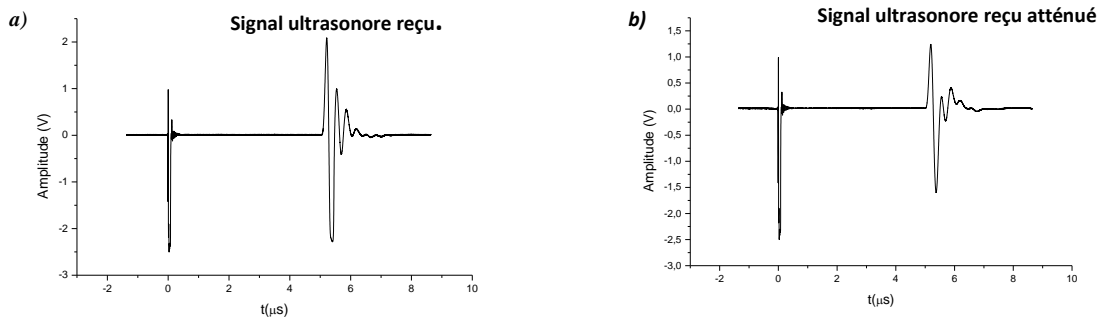


Figure 6 : Résultat du contrôle par transmission en contact
 (a) Absence du défaut (milieu sain); (b) : Présence de défaut.

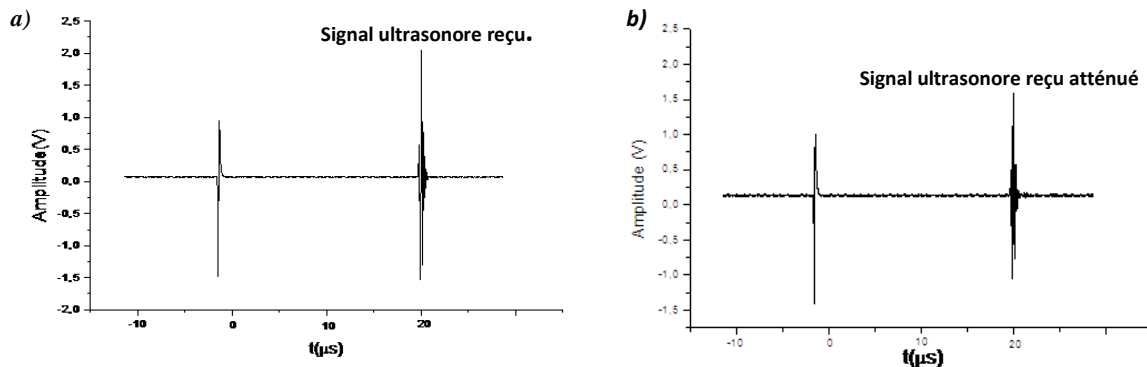


Figure 7 : Résultat du contrôle par transmission en immersion.
(a) Absence du défaut (milieu sain); (b) : Présence de défaut.

Pour les deux cas du contrôle (contact, immersion), on constate l'affaiblissement du signal ultrasonore reçu en présence du défaut par rapport au milieu sain.

Cette méthode est appliquée à des contrôles spécifiques. Elle offre la possibilité de contrôler des pièces fortement atténuées et épaisses; l'épaisseur de la pièce à contrôler est parcourue une seule fois. Contrairement à la méthode par échographie qui nécessite de parcourir deux fois l'épaisseur de la pièce à contrôler. L'inconvénient majeur de cette méthode est sa sensibilité au changement de structure de la pièce et l'impossibilité de localiser le défaut en profondeur.

3. Représentation des données ultrasonores: Imagerie ultrasonore

Le résultat d'un contrôle se compose d'un ensemble de signaux temporels reçus en chaque position d'inspection. L'analyse des données ultrasonores issues d'une acquisition requiert une représentation de ces données facilitant leur lecture. Le contrôle complet du matériau consiste à déplacer le transducteur parallèlement à la surface du matériau suivant deux axes appelés *balayage* et *incrément*. A partir de l'ensemble des signaux temporels acquis par le transducteur, on peut extraire les différentes vues A scan, B scan, C scan, D scan et courbes échodynamiques.

La figure 8 présente un exemple de A scan; B scan et C scan enregistrés lors du calibrage du transducteur. Le calibrage est réalisé sur une pièce en acier contenant des trous cylindriques percés perpendiculairement à l'axe de balayage. Les trous sont de diamètre régulièrement croissant de 2 mm. La figure 8. a représente un exemple d'un signal délivré par le capteur (signal HF) et son A scan pour la position repérée en pointillé sur l'image B scan en figure 8.c. Le B scan est représenté par la figure 8.c: la forme en arc d'hyperbole est caractéristique d'un contrôle réalisé avec un transducteur plan. L'onde émise, peut être considérée, dans le champ lointain, comme une onde sphérique émise du centre du transducteur. La figure 8. d représente un C scan résultant d'un balayage du trou de 2 mm.

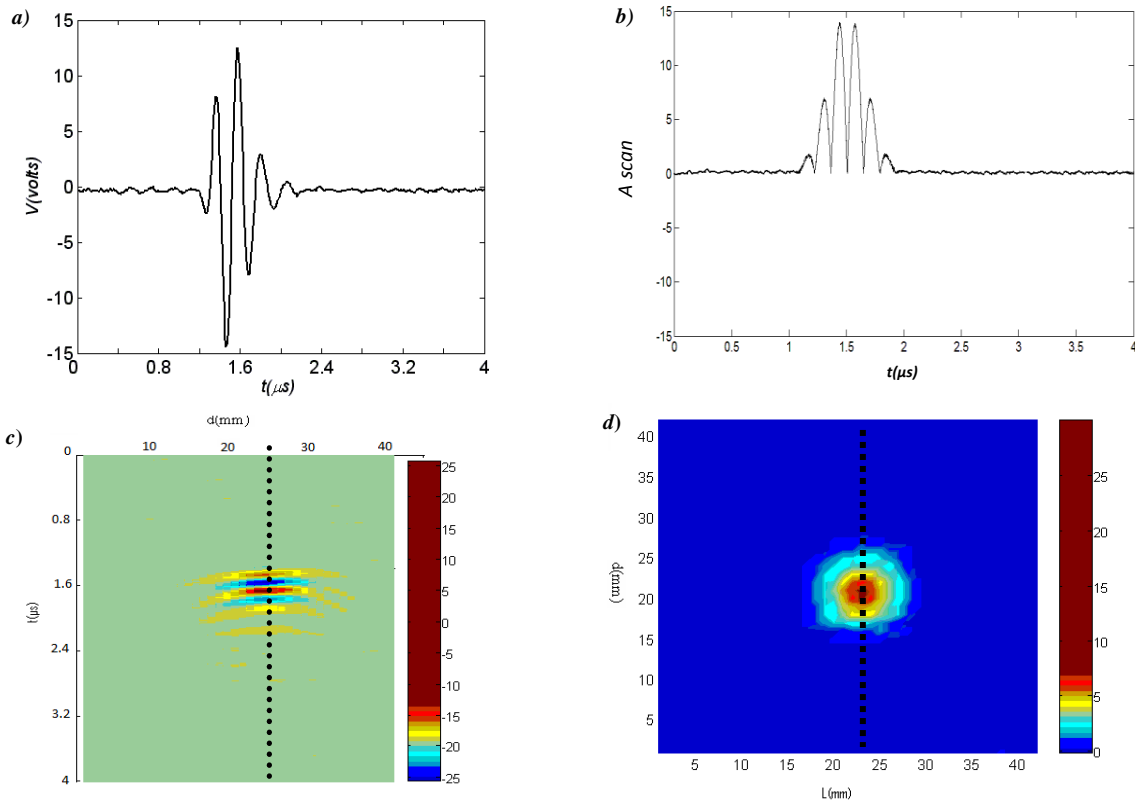


Figure 8 : Représentation a) Signal HF, b) A scan, c) B scan et d) C scan d'un défaut cylindrique de diamètre 2mm.

4. Nature et dimensionnement d'un défaut

Les deux caractéristiques principales recherchées sont la nature du défaut (plan ou volumique) et son extension. Deux types de défauts sont à distinguer: défauts volumiques (soufflures, retassures, inclusions... etc.) et les défauts plans (fissure).

La distinction entre défauts volumiques et défauts plans est généralement obtenue en étudiant la variation de l'amplitude de l'écho en fonction de l'angle du transducteur. A partir de l'angle donnant l'écho maximum, on fait pivoter le transducteur de 10°. Dans le cas où la décroissance de l'écho est inférieure à 6 dB le défaut est considéré comme volumique. Dans le cas contraire il est considéré comme plan. Parmi les techniques les plus répandues, deux méthodes sont basées sur l'observation d'échos de réflexion soit la " méthode à -6dB" et la méthode dite "Distance Gain Size"[3, 4, 5] ou (DGS). La méthode à - 6dB et la Méthode "Distance Gain Size" sont depuis très longtemps utilisées. Cependant, elles ont pour inconvénient majeur de sous-dimensionner la taille réelle du défaut. Ces méthodes sont aussi applicables pour des défauts plans dont l'orientation est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde. Aussi pour la méthode "DGS", la sensibilité du contrôle dépend

des dimensions du défaut artificiel. La troisième technique dite T.O.F.D est basée sur l'observation d'échos de diffraction. Elle est décrite dans ce qui suit.

5. Méthode TOFD (Time of Flight Diffraction)

La technique T.O.F.D consiste à balayer la pièce à contrôler en utilisant des émetteurs/récepteurs séparés à l'aide d'un dispositif tandem (émetteur et récepteur séparés sur la même face du matériau à inspecter) [6]. Généralement, on utilise deux transducteurs à ondes longitudinales (émetteur-récepteur) avec des angles de réfraction de 45° à 70°. Cette méthode est basée sur l'exploitation des ondes de diffraction générées par les extrémités des fissures et à mesurer le temps de parcours (ou temps de vol) de ces ondes dans le matériau. Le principe de la technique est illustré par la figure 9.

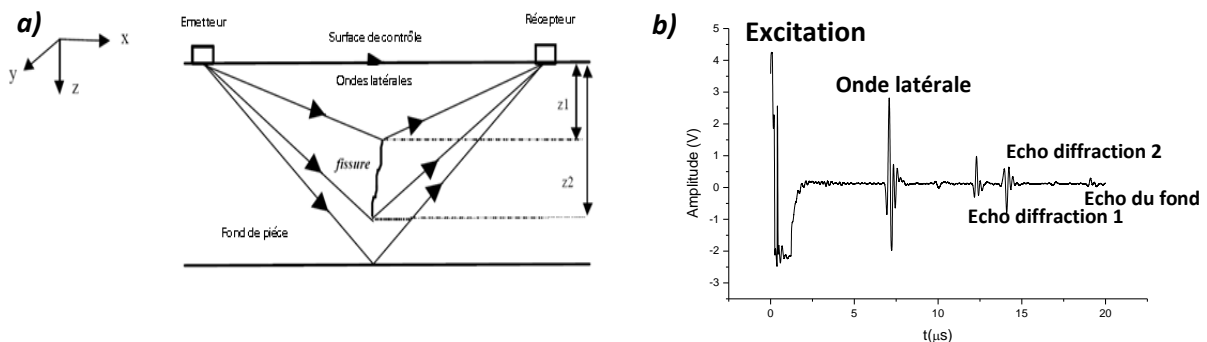


Figure 9: a) Principe de la technique T.O.F.D. (b) Résultat d'un contrôle par la technique T.O.F.D.

Le contrôle d'une fissure de 29 mm de longueur nous a donné 4 échos : un écho de surface dû à une propagation de l'onde le long de la surface de contrôle (Onde latérale). Deux échos de diffraction provenant des extrémités de la fissure, de polarités opposées [7, 8], et un écho de fond, dû à la réflexion de l'onde sur la surface opposée à la surface de contrôle. Cette technique est aujourd'hui l'une des techniques les plus utilisées pour mesurer la longueur d'une fissure dans un matériau [9]. Elle s'est avérée être beaucoup plus précise que les techniques traditionnelles basées sur les ondes réfléchies. En revanche, Cette méthode reste très délicate pour la localisation du défaut en balayage. La figure 9 illustre le résultat d'un contrôle d'une fissure de 29 mm de longueur dans un joint soudé d'un acier au carbone.

6. Discussion et Conclusion

Nous avons présenté dans ce papier les principaux aspects du contrôle non destructif par ultrasons. L'inconvénient majeur de la méthode par échographie est la nécessité de parcourir deux fois l'épaisseur de la pièce à contrôler. Pour la méthode par transmission l'épaisseur de la pièce à contrôler est parcourue une seule fois mais l'inconvénient majeur de cette méthode est sa sensibilité au changement de structure de la pièce et l'impossibilité de localiser le défaut en profondeur.

La technique T.O.F.D qui est basée sur l'exploitation des ondes de diffraction générées par les extrémités de la fissure, et à mesurer le temps de parcours (ou temps de vol) de ces ondes dans le



matériau permet de mesurer la longueur de la fissure dans le matériau. En revanche, cette méthode reste très délicate pour la localisation du défaut en balayage.

7. Bibliographie

- [1] L. Rayleigh "On waves propagated along the plane surfaces of an elastic solid", Proceedings of London Math., vol. 17, pp 4-11, 1885.
- [2] L. V. Basatskaya, A. K. Vopilkin, IN Ermolov, V. I. Ivanov, and A. P. Shishov, "Propagation of longitudinal ultrasonic waves near the surface of a solid", Sov. Phys. Acoust., vol. 24, n.1, pp. 15-20, 1978.
- [3] L. Paradis, "Développement de méthodes et d'un dispositif de traitement du signal adaptés au contrôle non destructif par ultrasons", thèse de l'institut National Polytechnique de Grenoble, 1983.
- [4] J. Perdijon, "Le contrôle non destructif par ultrasons ", Hermès, pp 129, 1993.
- [5] S. J. Song, L. W. Schmerr, A. Sedov , "DGS Diagrams and frequency response curves for a flat bottom hole : a model- based approach", Res. Nondestr. Eval., 3, Spinger-Verlag, New York inc, pp. 201-219, 1991 .
- [6] F. A. Ravenscroft, K. Newton, C. B. Scruby, "Diffraction of ultrasound by cracks: comparison of experiment with theory ", Ultrasonics, Vo. 129, 1991.
- [7] U. Schlengermann, "Determination of crack depth using ultrasonics-an overlook", UT-Online Application Workshop, May 1997.
- [8] S. Baby, T. Balasubramanian, R.J. Pardikar, M. Palaniappan, R-Subbaratnam "Time of Flight Diffraction (TOFD) Technic for Accurate Sizing of Surface Breacking cracks", NATIONAL SEMINAR OF INST, Chennai, 5-7.12.INDIA, 2002.
- [9] L.D. NOTTINGHAM, D.E. MACDONALD, "Time of Flight Diffraction ultrasonic measurement of IGSCC in generator training rings", 10th N.D.E. in N.P.V.I., 1990.