

CARACTÉRISATION DE DÉFAUTS PLANS PAR CONTRÔLE ULTRASONORE ET TRAITEMENT DU SIGNAL ADAPTÉ

PLANAR FLAWS SIZING USING ULTRASONIC NON DESTRUCTIVE EVALUATION AND SIGNAL PROCESSING

P. Peureux¹, L. Doudet¹, O. Dupond¹, B. Chassignole¹, Y. Renou², J-H. Thomas²,
R. El Guerjouma²

1 : EDF R&D - 6 quai Watier – 78400 CHATOU

Tél. 01 30 87 73 38 – Fax. 01 30 87 73 23

E-mail : pierre.peureux@edf.fr

2: LAUM, CNRS, Université du Maine, 72085 LE MANS

Résumé

L'interprétation de signaux ultrasonores peut s'avérer très complexe dans le cas de matériaux à fort bruit de structure. En particulier, la détection et la caractérisation des défauts reposent sur l'étude de deux types d'échos générés lors de la rencontre de l'onde ultrasonore se propageant dans le matériau avec le défaut : l'écho de coin et l'écho de diffraction. Ces échos sont bien souvent confondus avec les échos dus au bruit de structure. Cette communication présente les développements ainsi que les résultats préliminaires d'une méthode qui a permis, dans cette étude, d'améliorer significativement le rapport signal sur bruit et de faciliter la caractérisation de défauts plans de type « entaille ».

Cette méthode propose de rehausser le contraste des signaux ultrasonores en utilisant une méthode de séparation aveugle de sources. Des méthodes de transformation en ondelettes discrète permettent de mieux discriminer les échos d'intérêt du bruit de structure.

L'utilisation des capteurs multi-éléments, offrant la possibilité d'insonifier un objet avec différents angles d'incidence à partir d'un même traducteur, permet, dans le cas étudié, d'apporter l'information supplémentaire pouvant aider à caractériser complètement les défauts.

Abstract

The interpretation of ultrasonic data can be extremely difficult in the case of structural noise. Precisely, the detection and the characterization of defects are based on two types of echoes (the diffraction echo and the corner echo) which can be confused with structural noise. This article presents the principle and the first results of a process to improve the signal to noise ratio. This technique also improves the characterization of defects in the case of cracks.

This technique improves the contrast of ultrasonic data with SOBI, Second Blind Order Identification algorithm before using discrete wavelet transformation to differentiate structural noise and echoes which are characteristic of cracks.

Ultrasonic array data allow inspection from different angles. This particularity allows the additional information which is necessary to complete the characterization of defects like cracks to be supplied.

INTRODUCTION

Les signaux issus des contrôles non destructifs ultrasonores permettent de disposer d'une représentation des discontinuités présentes dans le matériau inspecté. Cependant, les informations contenues dans les mesures brutes ne sont pas toujours aisément exploitables pour caractériser ces discontinuités.

Le principe de l'estimation de la hauteur des défauts plans débouchant sur la paroi interne d'une tuyauterie est basé sur la différence de temps de vol entre les échos de diffraction (diffusés par le sommet du défaut) et les échos de coin (réfléchis à l'extrémité débouchante du défaut). La Figure 1 est une illustration de ce principe dans le cas d'un défaut débouchant en surface opposée. Lorsque le matériau insonifié présente des grains dont la taille est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de l'onde incidente, il peut être difficile de distinguer les échos dus à des réflexions sur ces grains des échos représentatifs de défauts (entailles, ...).

Dans cet article, nous proposons d'étudier une méthode susceptible d'améliorer la détection d'entailles débouchantes dans un matériau à gros grains. Plus précisément, nous proposons de procéder en deux étapes. La première étape consiste à rehausser le contraste par la méthode d'analyse en composantes indépendantes (ACI) [1]. La deuxième étape a pour finalité de discriminer les différents types d'échos en utilisant une méthode de décomposition en ondelettes [2].

Enfin, nous montrons des résultats préliminaires de traitements pour des données ultrasonores obtenues lors du contrôle d'un bloc en acier austénoferritique comportant deux entailles électro-érodées et quatre génératrices.

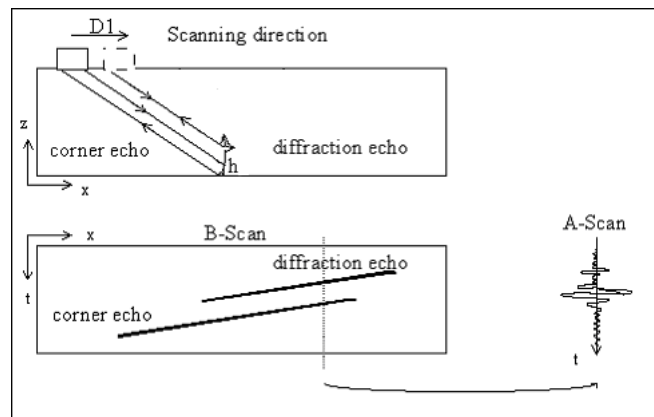


Figure 1 Principe d'estimation de la hauteur d'un défaut plan

PRESENTATION DES DONNEES

Matériau

Les données sont issues de contrôles par ultrasons sur une maquette en acier austénoferritique moulé par centrifugation, comportant deux entailles usinées de hauteur 10 et 15 mm et deux séries de génératrices (figure 2). La structure de solidification présente des grains de taille très importante, ce qui engendre des difficultés significatives lors du contrôle par ultrasons (figure 3).

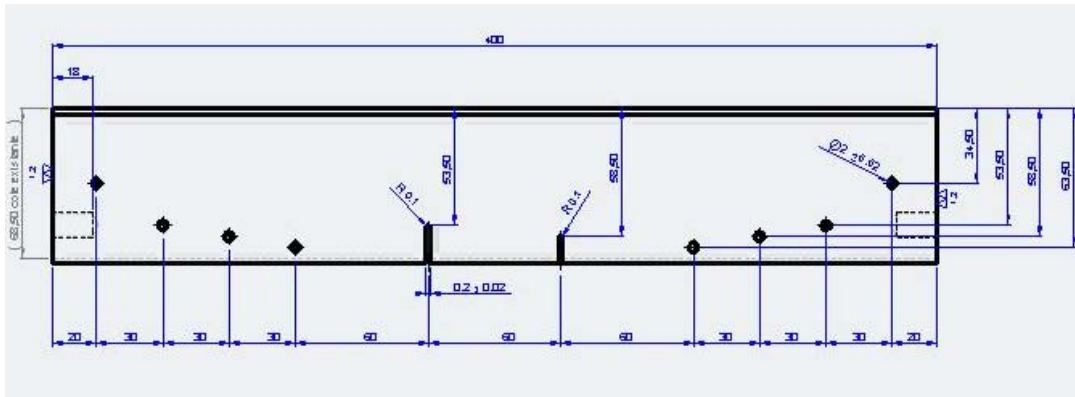


Figure 2 : implantation des défauts usinés



Figure 3 : structure du matériau contrôlé – épaisseur 68,5 mm

Traducteur

Les contrôles ont été réalisés avec un traducteur multi-éléments à 1 MHz de type TRLPA (émission réception séparées), composé de deux matrices de 3x10 éléments (figure 4). L'utilisation de ce traducteur et des lois de retards adéquates permet de réaliser des contrôles selon différents angles de réfraction dans le matériau. La figure 5 présente les faisceaux ultrasonores obtenus en simulation pour trois angles de contrôle différents et pour une profondeur de focalisation théorique de 60 mm [1].

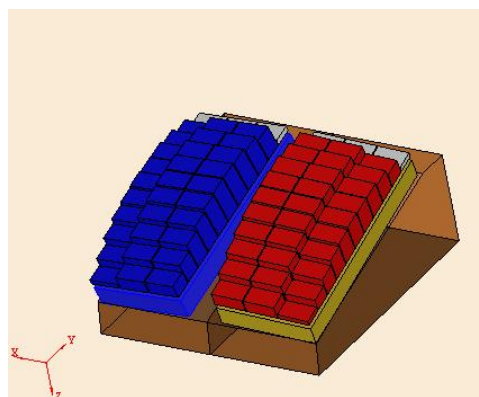


Figure 4 : présentation simplifiée du traducteur utilisé avec une loi de retard type 45F60.

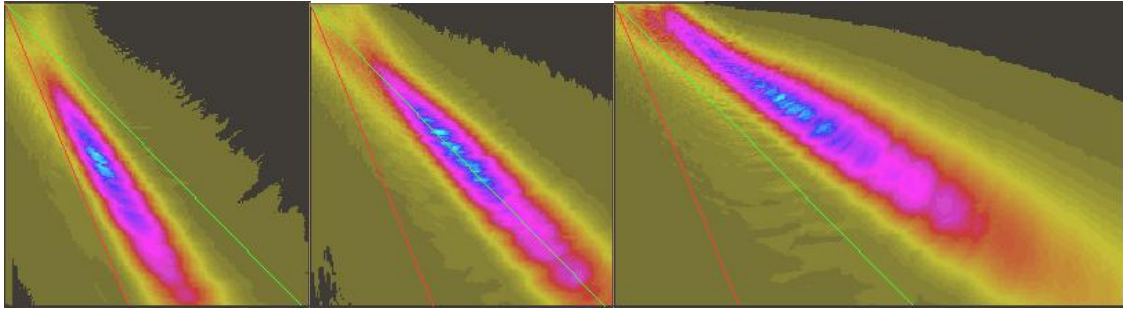


Figure 5 : 30F60

45F60

60F60

REHAUSSEMENT DE CONTRASTE PAR ACI

L'objectif de l'ACI est de trouver une transformation qui décompose autant que possible les données en sous-ensembles indépendants. Cette méthode est principalement utilisée dans les problèmes de séparation de sources.

Cette phase repose sur l'hypothèse que les défauts recherchés sont des entailles transverses par rapport au sens du contrôle. En d'autres termes, d'un B-scan à l'autre, les échos correspondant à une entaille sont supposés présents contrairement aux échos dus au bruit de structure. C'est cette corrélation qui est exploitée au moyen de l'ACI.

Les signaux observés, considérés comme un mélange linéaire de composantes mutuellement indépendantes, peuvent alors être exprimés comme suit :

$$\mathbf{x} = \mathbf{A} * \mathbf{s} \quad (1)$$

où :

- \mathbf{x} est le vecteur des observations x_i , c'est à dire les mesures (ici un A-scan par ligne de balayage) ;
- \mathbf{s} est le vecteur des composantes indépendantes inconnues (ou des sources) ;
- \mathbf{A} est une matrice de mélange.

Le but de l'analyse est de déterminer la ou les sources correspondant aux échos d'intérêt.

Les propriétés du modèle de l'ACI sont :

- Le mélange est linéaire et instantané.
- Le système (1) est surdéterminé, c'est à dire, le nombre de lignes de balayage (21) est supérieur au nombre de sources (5 dans cette étude). Par ailleurs, le nombre d'échantillons temporels est considérable comparé au nombre de sources.
- Les mesures sont stationnaires. Ceci se traduit principalement par une moyenne d'ensemble des données invariables au cours du temps.
- Le nombre de mélanges linéaires observés m doit être au moins aussi grand que le nombre de composantes indépendantes n .
- La matrice A doit être de rang plein.

L'algorithme utilisé pour estimer les sources \mathbf{s} est l'algorithme **SOBI** (**S**econd **B**lind **O**rdre **I**dentification) [4] qui utilise les statistiques du second ordre. Il est basé sur la diagonalisation conjointe d'un ensemble de matrices de corrélation blanchies des observations [3].

Pour notre étude, il s'avère que la première source contient l'information relative aux échos d'intérêt. En conséquence, seule cette source est retenue à l'issue de cette phase de traitement.

Le traitement se fait A-scan par A-scan, comme indiqué sur la figure ci-dessous :

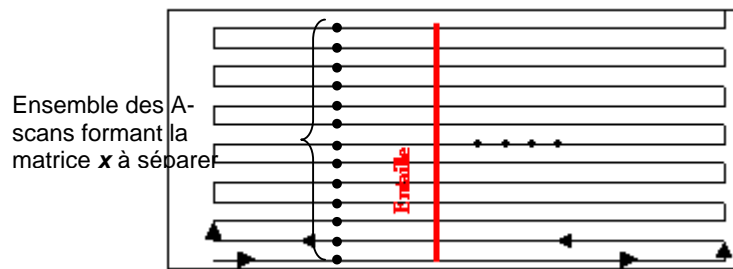


Figure 6 : Choix des A-scans décomposés par ACI

Ce traitement fournit, à partir de tous les B-scans issus de l'inspection, une seule image.

DECOMPOSITION EN ONDELETTES POUR LA DISCRIMINATION (classification) DES ECHOS

La technique employée ici est la transformée en ondelettes discrète (TOD) [3]. Le signal à débruiter est décomposé sur une base orthonormée d'ondelettes.

La TOD décompose le signal à débruiter S en une approximation (composantes basses fréquences A_1) et un détail D_1 qui contient les composantes hautes fréquences du signal. L'approximation A_1 est elle-même décomposée en un niveau d'approximation A_2 et un niveau de détail D_2 , et ainsi de suite.

Chaque niveau de la décomposition représente une certaine bande fréquentielle. La somme directe de ces « niveaux de décomposition » permet la reconstruction du signal d'origine.

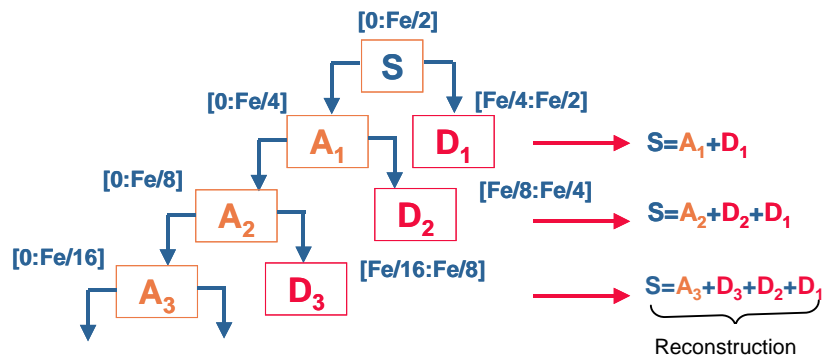


Figure 7 : Décomposition d'un signal S sur 3 niveaux avec les intervalles de fréquences correspondants (Fe est la fréquence d'échantillonnage du signal)

En ajoutant au dernier niveau d'approximation un certain nombre de niveaux de détails permet de débruiter le signal d'origine.

Le type de seuillage employé ici est un seuillage dur (coefficient de la TOD retenu s'il dépasse un certain seuil). L'estimateur du seuil utilisé est l'estimateur « **MAD** » (**M**edian **A**bsolute **D**eviation) [5]. Cet estimateur est adaptatif, le seuil est calculé à partir de la variance des coefficients de chaque niveau de décomposition.

L'ondelette mère utilisée est une ondelette de Daubechies (ordre 4) [6].

RESULTATS DES TRAITEMENTS

Les données présentées dans ce document proviennent du contrôle d'un bloc en acier austénoferritique comportant deux entailles électro-érodées de hauteurs 10 mm et 15 mm. Les données sont obtenues par balayage de la surface du bloc par un capteur multi éléments ce qui a permis d'utiliser 7 angles différents pour l'onde incidente (variant de 30° à 60° par pas de 5°).

A titre de comparaison, les résultats après ACI et après utilisation de la TOD sont comparés à la somme de tous les B-scans disponibles (21 lignes de balayage soit 21 B-scans). En effet, cette somme est équivalente à un filtre améliorant le rapport signal sur bruit.

Les figures 8, 9 et 10 correspondent respectivement à des acquisitions faites avec un angle de 45°, 55° et 60°. Dans chaque cas, le cadre (a) représente la somme des B-scans correspondant à la maquette, le cadre (b) contient la première source obtenue après utilisation de l'ACI. Le cadre (c) présente le résultat de la décomposition en ondelettes de la première source. Enfin, le cadre (d) présente un A-scan issu de B-scan « débruité ».

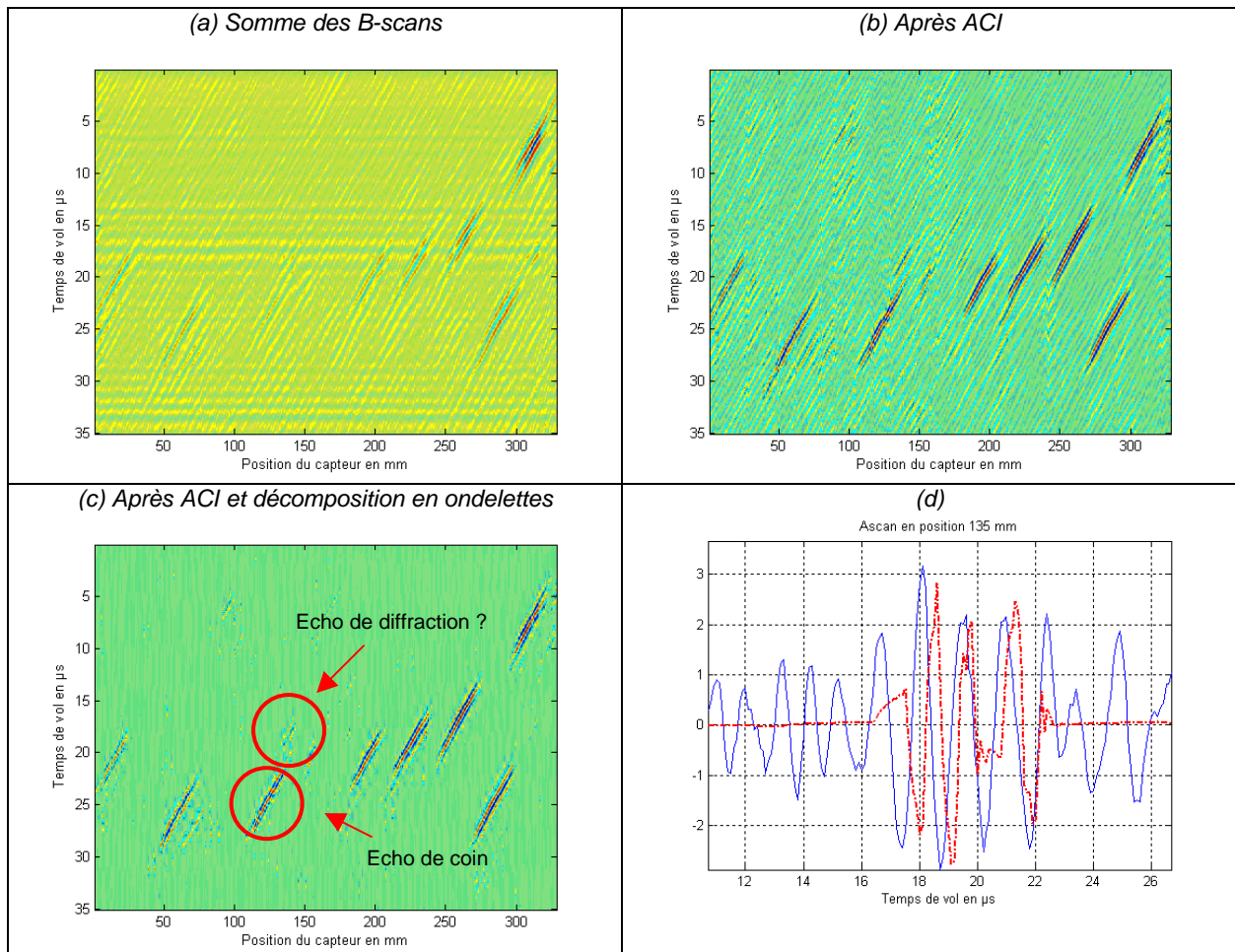


Figure 8 : Résultats pour un angle d'incidence de 45°

Cette figure illustre l'intérêt du rehaussement de contraste. Plusieurs échos, difficilement discernables sur le B-scan original, apparaissent clairement sur la première source. L'efficacité de la décomposition en ondelettes pour la sélection des échos d'intérêt est également mise en évidence sur cette figure.

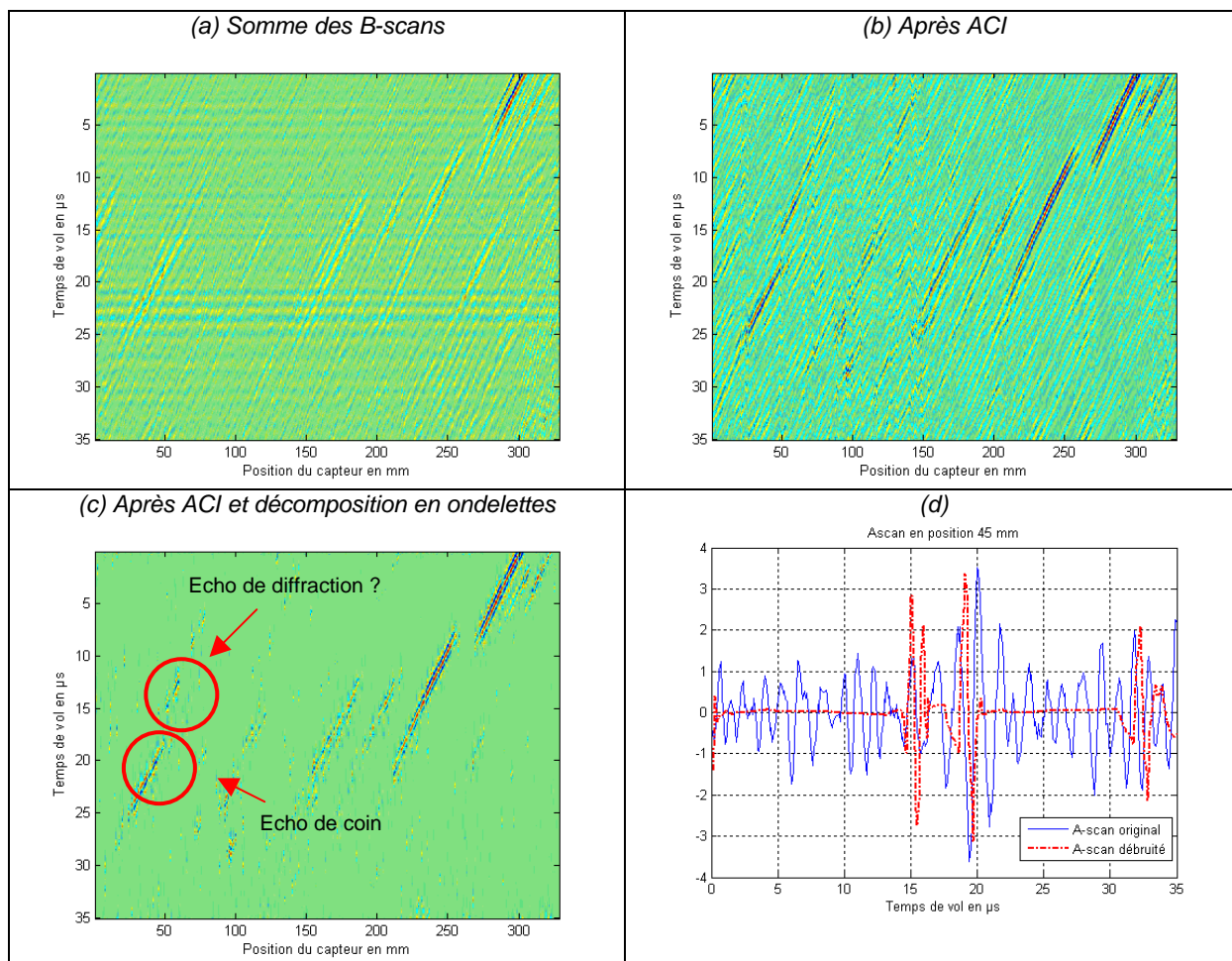


Figure 9 : Résultats pour un angle d'incidence de 55°

La figure 8 (d) (respectivement 9 (d)) présente un A-scan sur lequel sont présents simultanément l'écho de coin et l'écho supposé être, en première analyse, l'écho de diffraction sur le sommet de l'entaille de hauteur 10 mm (respectivement de hauteur 15 mm).

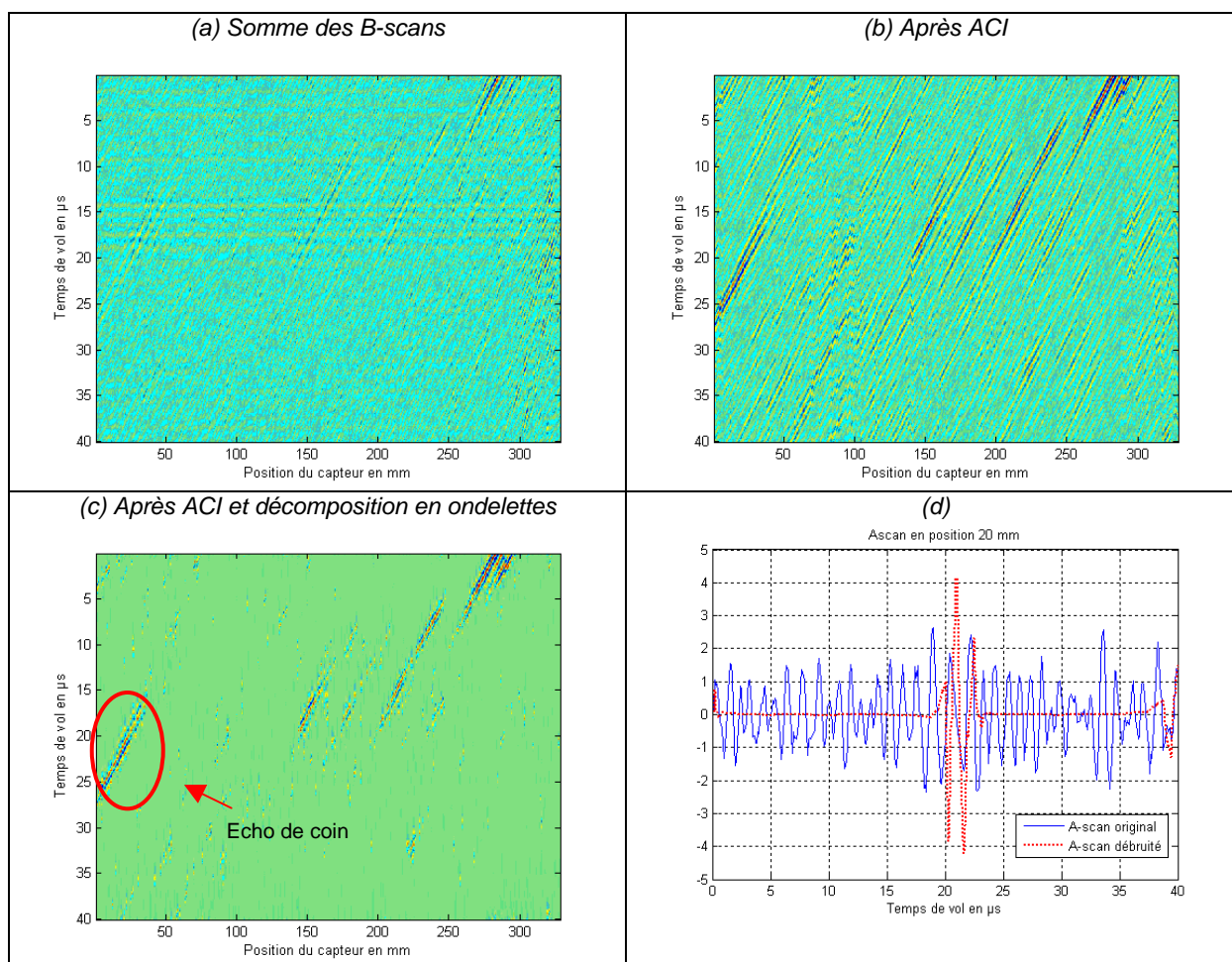


Figure 10 : Résultats pour un angle d'incidence de 60°

L'intérêt d'utiliser un transducteur multi-éléments est bien illustré sur cet exemple. En effet, les différents échos d'intérêt ne figurent pas tous pour un angle d'incidence donné. En conséquence, une méthode de fusion des résultats multi-angles peut être envisagée pour déterminer avec précision la position des échos d'intérêt.

En ce qui concerne le contrôle à 60° (figure 10), seul un écho de coin est mis en évidence. Toutefois, pour cet angle de contrôle, le chemin parcouru dans le matériau augmente sensiblement, ce qui entraîne une forte atténuation du signal. Ceci est d'ailleurs bien illustré sur le B-scan « brut » (figure 10 (a)), sur lequel les génératrices ne sont pas détectées. L'apport du traitement du signal est donc significatif dans ce cas puisque les échos de génératrices et un écho de coin apparaissent.

Le traitement du signal pourrait donc permettre, à l'avenir, d'utiliser les informations fournies par de grands angles de réfraction, ce qu'il était jusqu'à présent difficile d'envisager dans ce type de matériau.

CONCLUSION

Une nouvelle méthode visant à améliorer la détection des échos d'intérêt dans le cas de matériaux à fort bruit de structure a été présentée. Elle est basée sur le rehaussement du contraste par une méthode de séparation de sources (ACI) et sur la décomposition en ondelettes discrète en vue de la discrimination des échos détectés. Les premiers résultats obtenus sur des données de maquette sont très prometteurs. Toutefois, une étape de validation de l'approche proposée sur une large base de données expérimentales est indispensable pour déterminer le domaine d'application pratique. Par ailleurs, l'utilisation des capteurs multi-éléments a permis, dans cette étude, d'apporter l'information supplémentaire nécessaire à la caractérisation complète de défauts.

Une méthode de fusion des résultats obtenus pour des angles d'incidence différents et selon plusieurs directions de contrôle serait très utile pour classifier les échos présents sur les B-scans débruités.

REFERENCES

- [1] L. Doudet, O. Dupond, B. Chassignole et E. Abittan, « Ultrasonic testing of centrifugally cast stainless steels : influence of the structure and the beam characteristics », 5th ICNDE, San Diego, May 10-12, 2006
- [2] A. Hyvärinen and P. Pajunen, «Independent component analysis: Algorithms and Applications», Neural Networks, vol. 13, pp. 411-430, 2000
- [3] S. Mallat, *Une exploration des signaux en ondelettes*, Les Editions de l'Ecole Polytechnique, Novembre 2000.
- [4] A. Belouchrani K. Abed-Meraim, « Séparation aveugle au second ordre de sources corrélées », 14^{ème} Colloque sur le Traitement du Signal et des Images GRETSI, 13 au 16 septembre 1993, Juan-les-Pins, France.
- [5] I.M. Johnstone, B.W. Silverman, "Wavelet threshold estimators for data with correlated noise", Journal of the Royal Statistical Society, vol. 59, p. 319-351, 1997.
- [6] Y. Renou « Traitement du signal appliqué aux données ultrasonores pour le contrôle non destructif des matériaux à fort bruit de structure » Rapport de stage de Master 2 'Matériaux et Acoustique' de l'Université du Maine, Juillet 2007