

32

LA QUALITE DU CONTROLE PAR ULTRA-SONS DES MATERIAUX COMPOSITES UTILISES EN CONSTRUCTION NAVALE

J.C. LE HIRE,* F. CANCRE **

Résumé - Les ultra-sons constituent un procédé privilégié de contrôle non destructif des matériaux composites. Dans le cas des matériaux utilisés en construction navale, l'observation des échogrammes met en évidence un bruit acoustique élevé et une atténuation importante rendant la détection des défauts très improbable. L'analyse individuelle des échogrammes pratiquée actuellement est insuffisante. Une méthode basée sur l'intercorrélacion a été développée et testée. Les résultats doivent permettre d'établir un classement de ces matériaux, le critère principal étant la qualité de contrôle que chaque matériau autorise.

mots clés : matériau composite naval, contrôle non destructif,
ultra-sons

INTRODUCTION

Les techniques de contrôle non destructif sont nombreuses, ayant chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

Les ultra-sons présentent l'avantage essentiel de pouvoir être mis en oeuvre sans mobiliser un laboratoire tout entier, ce qui est déterminant quand il s'agit d'effectuer des contrôles sur une installation en service.

Le Centre de Recherche et Développement du Bureau Veritas et la Société Contrôle US, spécialisée dans l'étude et la construction d'appareils à ultra-sons, ont entrepris une étude expérimentale de la propagation des ondes acoustiques dans des matériaux composites. Dans une première phase, les matériaux, sans défauts volontairement introduits, étaient considérés comme sains. La phase suivante portera sur la détection de délaminages.

* BUREAU VERITAS, Paris, Centre de Recherche et Développement,
Ingénieur de Recherche

** US CONTROLE, Orsay Université, Directeur.

DESCRIPTION DES ESSAIS

Les essais ont été effectués en immersion, en mode réflexion. L'onde créée, se réfléchit et se diffracte à chaque rencontre d'une interface ou d'un diffuseur (fig.1). Les porosités, fibres inhomogènes, vides ou amas de résine constituent autant de singularités qui altèrent la propagation des ondes de pression acoustique. Dans le flux d'énergie qui revient vers le transducteur, seul celui noté E6 est significatif des caractéristiques de la structure traversée : il importe donc que le transducteur et son électronique associée soient capables de bien extraire E6 du bruit.

Le banc d'essai a été réalisé par la Société Contrôle US. Il utilise un émetteur-récepteur numériseur piloté par un micro-ordinateur ; la conversion est effectuée soit sur 256 niveaux à 96 MHz, soit sur 4096 niveaux à 40 MHz ; trois capteurs focalisés ont été utilisés (voir tab.1).

Un essai comprend 30 tirs ; après chaque tir, le capteur est déplacé de 1mm le long de la pièce.

Les essais ont porté sur une collection de 54 échantillons différents, sans défauts simulés, et provenant de l'aéronautique, de l'industrie et de la construction navale. Il a été jugé plus raisonnable d'effectuer cette première étude sur des échantillons réputés sains et d'en tirer des conclusions préliminaires ; par la suite, il sera réalisé un nombre réduit d'échantillons affectés de défauts connus tels que des délaminages, porosités, amas de résine ou microfissures.

Les échogrammes, recueillis à la sortie du numériseur, fournissent des résultats directement interprétables et sont le point de départ lors de la recherche d'un algorithme de traitement. Cinq échogrammes essentiels sont présentés (fig. 2 à 5), depuis celui de l'aluminium pris comme référence et autorisant la détection certaine de défauts, jusqu'à celui d'un matériau composite couramment utilisé en construction navale, et pour lequel la détection de défaut sera douteuse, voire impossible. Les deux critères essentiels sont la dynamique de l'écho de fond et la similitude spatiale des signaux dans la zone A.

La faiblesse de l'écho de fond est due à une très forte diffraction de l'onde acoustique lors de sa traversée du matériau - très peu d'énergie parvient au fond - ou à une rugosité/ondulation du fond qui renvoie alors l'onde hors du faisceau focal du transducteur.

La zone A correspond au trajet de l'onde dans le matériau : les signaux qui y sont observés proviennent des réflexions/diffractions sur des hétérogénéités - inclusions, vides, porosités, etc.. ; les traces des différents tirs y sont généralement enchevêtrées car les hétérogénéités sont réparties au hasard. Dans le cas de la fig.6 - fond rugueux et matériau très hétérogène -, toute l'énergie provient des diffractions, le fond n'en renvoyant pas.

Afin de chiffrer la similitude des signaux dans les zones A, les coefficients d'intercorrélation des 30 tirs pris deux à deux ont été calculés (voir fig.7) et, pour comparer les matériaux entre eux, un coefficient moyen a été extrait de la plage 4 mm/10 mm. Le coefficient vaut 1 quand le matériau est totalement homogène, 0 s'il est hétérogène ; dans ce dernier cas, le niveau de pression acoustique peut être élevé en un point du matériau et faible ailleurs - source possible de défauts imaginaires.

Enfin, les éprouvettes ont été classées selon ce coefficient moyen (fig.8) : un matériau est caractérisé par 6 paramètres représentant chacun : type de fibre, type de matrice, mode d'obtention, rugosité du fond, visibilité du fond ; les paramètres d'un matériau s'échelonnent sur une verticale ; le coefficient moyen d'intercorrélation ('qualité') détermine la position de la verticale.

L'exploitation des résultats selon cette méthode est en cours ; elle devrait faire apparaître les influences des composants structuraux et des modes d'obtention sur la reproductibilité des tirs ultra-sonores, élément majeur de la qualité du contrôle. Ces tableaux feraient ressortir les facteurs qui rendent impossible un contrôle correct par ultra-sons ; l'un d'eux pourrait être la rugosité du fond.

La conclusion immédiate est que l'intercorrélation fournit une grandeur directement utilisable, caractérisant l'hétérogénéité du matériau, résultat qu'il est impossible d'obtenir par une observation directe des échogrammes.

Il sera étudié dans un programme de travail futur, l'influence d'un défaut continu - délaminage entre autres - sur ce coefficient de corrélation.

CONCLUSION

L'examen de la propagation des ultra-sons dans une large gamme de matériaux amène à deux constatations essentielles :

- au contraire des matériaux métalliques, les composites se prêtent mal à l'auscultation par ultra-sons parce qu'ils diffractent très fortement les ondes acoustiques. Les méthodes et les procédures en vigueur dans le domaine des métalliques ne doivent pas être systématiquement transposées.
- les matériaux composites de grande qualité, tels ceux utilisés en aéronautique, peuvent être contrôlés dans des conditions satisfaisantes, mais après un étalonnage propre à chaque type de matériau et à chaque réalisation.

La construction navale en composite n'a pas, aujourd'hui, les exigences de qualité et de performances de l'aéronautique et ne souffre

pas de l'absence d'un procédé reconnu de contrôle. Mais dans un avenir proche, il faudra savoir inspecter, par des moyens autres que visuels, les structures des navires conventionnels ayant plusieurs années de service ou ayant été accidentés, et surtout les structures des navires rapides à passagers ; dans ce dernier cas, la structure est plus légère, plus sollicitée et devra être inspectée ; il semble bien que la technologie de ce type de navires se rapproche de celle de l'aéronautique.

L'association d'un appareillage électronique de qualité - pour la création et la détection d'ultra-sons - et d'une méthode numérique de traitement du signal fournissant un résultat statistique est prometteuse. Ces travaux seront menés dans une phase ultérieure.

F. CANCRE, Speckle Acoustique : Etude et Méthodes de Réduction. Thèse de Doctorat en Physique, Université Paris VII, Mai 1989
 G. TOBER, R. HENRICH, In-service Inspection Concept for Impact Damage on CFRP Structures. Colloque sur le contrôle non destructif AAAF, Paris, 1991.

fréquence du capteur	2,55 MHz	3,5 MHz	5 MHz
Diamètre de la tache focale	-	2,48 mm	1,74 mm
Longueur de la tache focale	-	57,06 mm	39,94 mm
amortissement à -6 dB	-	2 périodes	2 périodes

TABLE 1
 CARACTERISTIQUES DES CAPTEURS

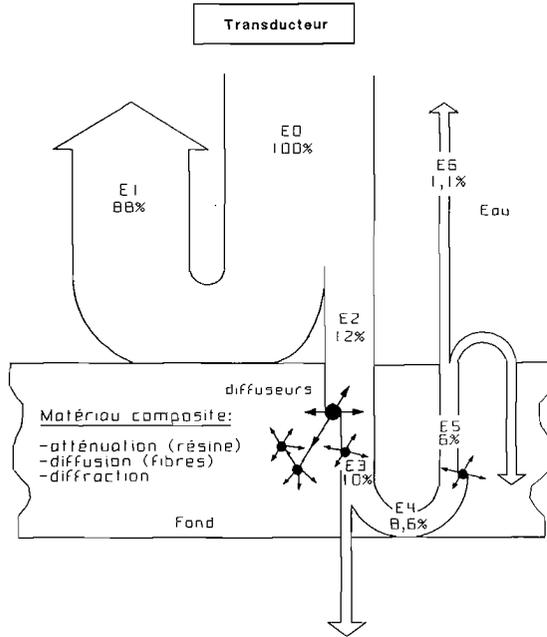


Figure 1. Répartition de l'énergie acoustique
Distribution of acoustic energy.

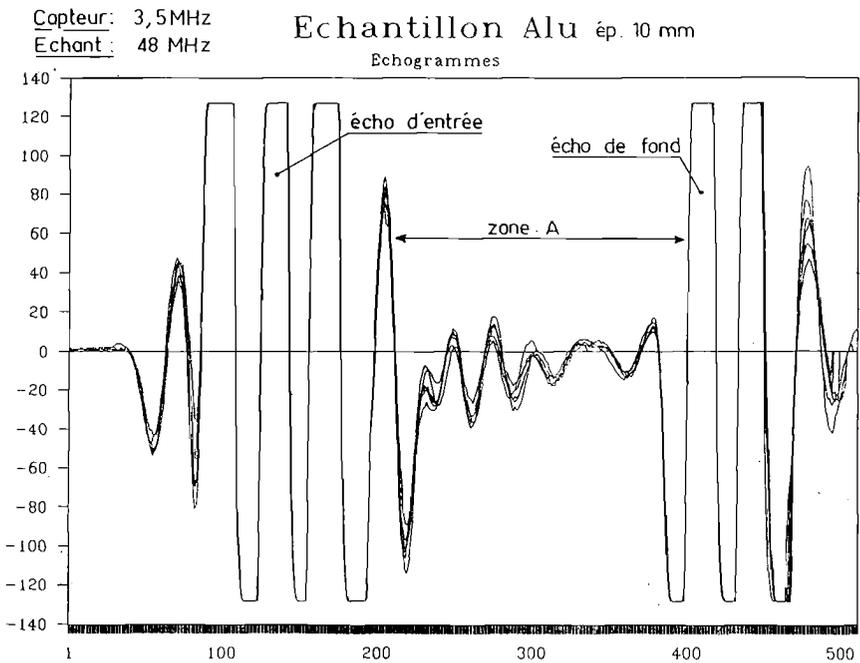


Figure 2. Aluminium

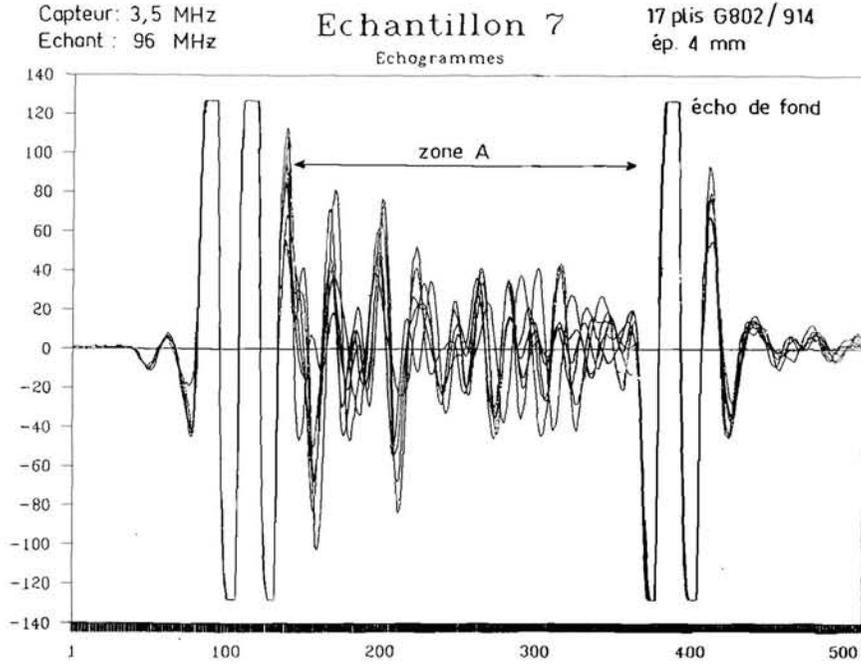


Figure 3. Matériau aéro
Aeronautical material

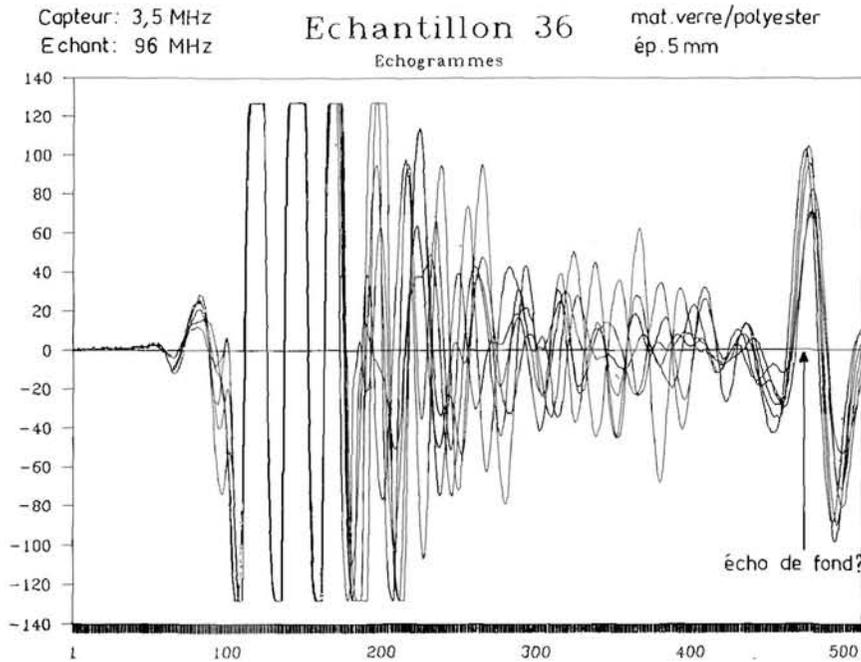
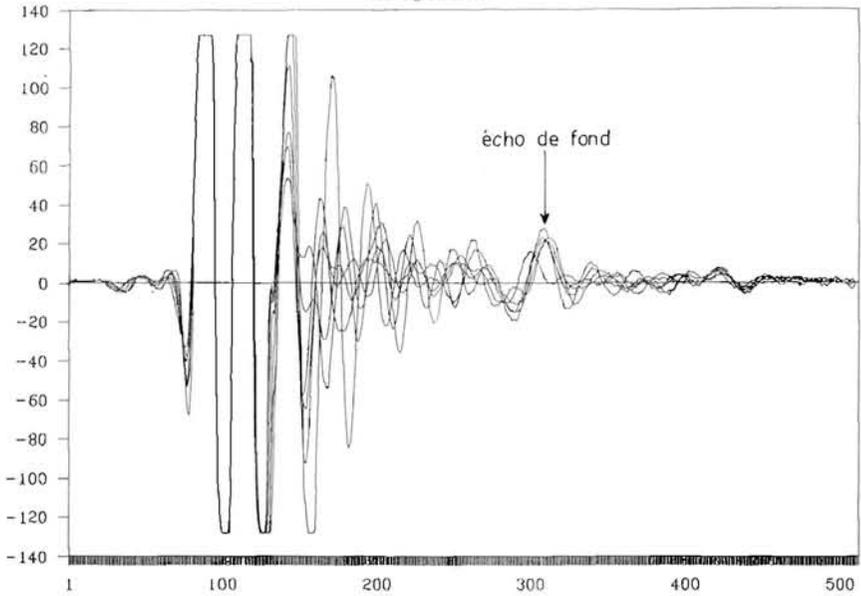


Figure 4. Matériau industriel
Industrial material

Capteur: 3,5 MHz
Echant: 96 MHz

Echantillon 72
Echogrammes

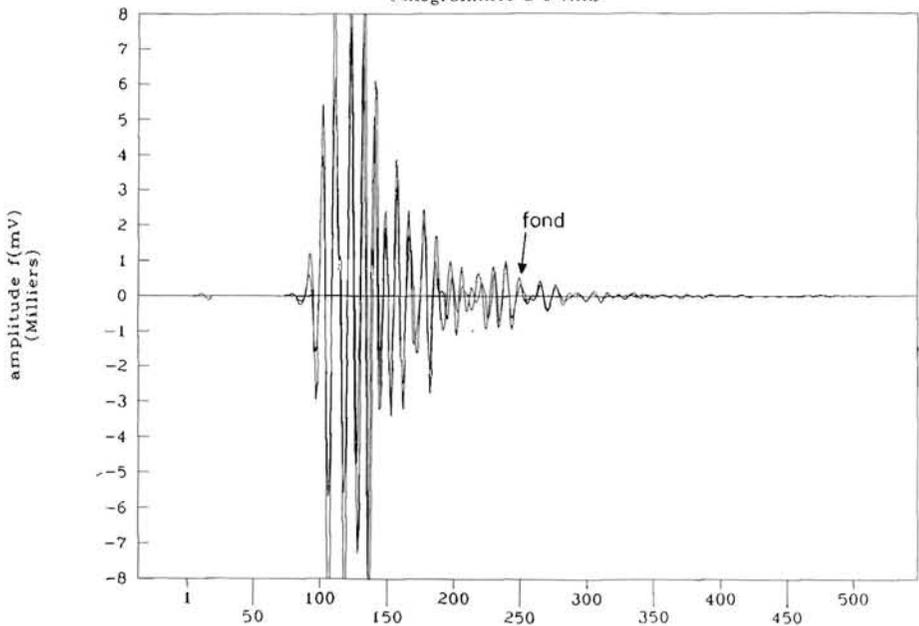
12 plis// T180.9700
ép. 3 mm



Capteur: 5 MHz
Echant: 40 MHz

Echantillon 44
échogrammes à 5 MHz

M1 5RM 500.300
ép. 6 mm



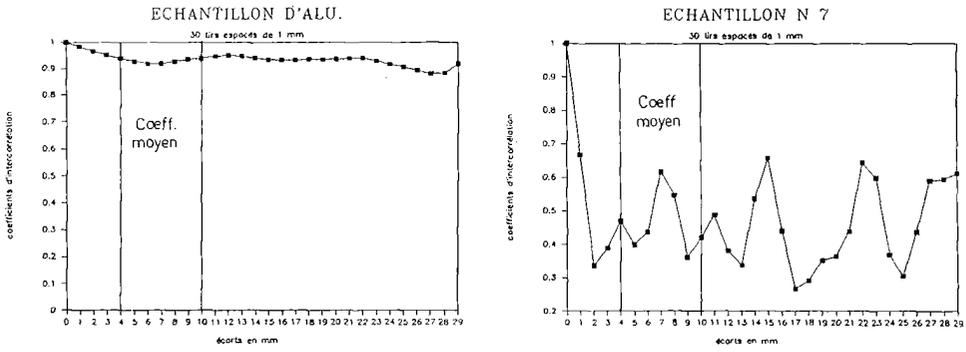


Figure 7. Coefficients de corrélation
Correlation coefficients

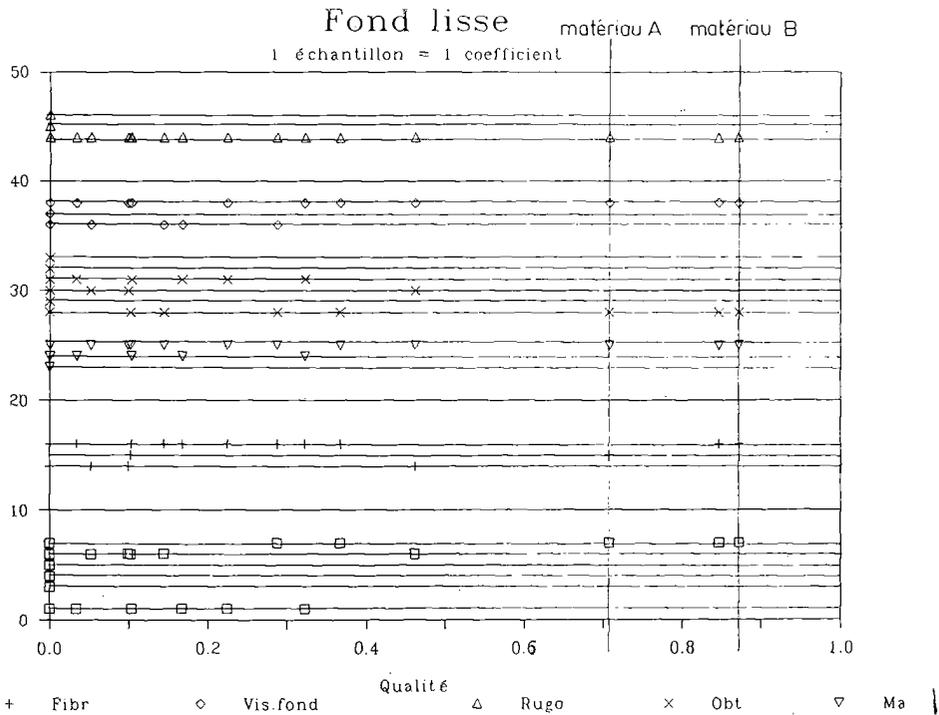


Figure 8. Répartition des matériaux selon leur coefficient de corrélation
Distribution of materials according to their correlation coefficients.