



**HAL**  
open science

## **Analysis of the acoustic signal backscattered by a multi-layer structure with the spectrogram and the wavelet time-frequency methods**

Mostafa Laaboubi, Elhoucein Aassif, Rachid Latif, Gerard Maze, Ali Moudden, Azzedine Dliou, I. Aboudaoud

### ► To cite this version:

Mostafa Laaboubi, Elhoucein Aassif, Rachid Latif, Gerard Maze, Ali Moudden, et al.. Analysis of the acoustic signal backscattered by a multi-layer structure with the spectrogram and the wavelet time-frequency methods. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00546826

**HAL Id: hal-00546826**

**<https://hal.science/hal-00546826>**

Submitted on 14 Dec 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

## Analysis of the acoustic signal backscattered by a multi-layer structure with the spectrogram and the wavelet time-frequency methods

M. Laaboubi<sup>1</sup>, E. Aassif<sup>1</sup>, R. Latif<sup>2</sup>, G. Maze<sup>3</sup>, A. Moudden<sup>4</sup>, A. Dliou<sup>2</sup>, I. Aboudaoud<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LMTI Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, BP 33/S, 80000 Agadir, Maroc

<sup>2</sup>ESSI ENSA Université Ibn Zohr, BP 1136, 80000 Agadir, Maroc

<sup>3</sup>LOMC Université Le Havre, Université Le Havre, 76600 Le Havre, France

<sup>4</sup>Ecole Supérieure de Technologie, Université Ibn Zohr, 80000 Agadir, Maroc

[mLaaboubi@yahoo.fr](mailto:mLaaboubi@yahoo.fr), [laaboubi@gmail.com](mailto:laaboubi@gmail.com),

This study is to discuss the efficiency of two different methods, time-frequency representations and frequency spectral method, by comparing their ability to analyse experimentally received signals backscattered by two types of multilayer structures. We will present a study of the propagation of acoustic waves backscattered by two multilayer structures with a resonant plate 'aluminum or glass' and a less resonant plate 'plexiglas' separated by a water layer. The backscattering experiments have been performed in a water immersion tank. The time-frequency representations such as spectrogram, Wigner-Ville and wavelet transform are used. The images obtained by these representations are compared to the frequency spectral method. The results obtained by the time-frequency analysis are interesting.

## 1 Introduction

L'analyse des signaux acoustiques rétrodiffusés par des cibles de différentes formes géométriques (plaques, multicouche, cylindres, sphères) est fait traditionnellement, par la transformée de Fourier pour obtenir le spectre de fréquence, ou par l'analyse direct dans le domaine temporel [1-5]. L'analyse spectrale nous permet d'isoler et d'identifier les résonances de fréquence, mais ne peut pas montrer en évidence la structure temporelle du champ diffusé. Réciproquement, l'analyse temporelle nous permet de séparer quelques événements, mais ne peut pas fournir des informations sur leur structure fréquentielle. Ces deux analyses monodimensionnelles se sont avérées insuffisantes, ces limitations des deux structures (temporelle ou fréquentielle) peuvent être dépassé en utilisant les représentations temps-fréquence, qui tiennent compte à la fois du paramètre temps et du paramètre fréquence [6]. Pendant les dernières années, beaucoup de recherche se concentraient sur les différentes méthodes temps-fréquence soit paramétrique et non paramétrique, telle que la représentation de spectrogramme, Wigner-Ville, Pseudo Wigner-Ville lissé et la transformée en ondelettes [6-11]. Dans ce papier nous avons choisi les représentations de spectrogramme et de transformée en ondelettes pour ses propriétés spéciales et intéressantes, ces représentations temps-fréquence et la représentation spectrale sont appliquées sur des signaux acoustiques expérimentaux rétrodiffusés par deux types de structures multicouche telles que Plexiglas/Eau/Aluminium et Plexiglas/Eau/Verre. Pour l'analyse spectrale, nous avons présenté le spectre de résonance de rétrodiffusion pour identifier les deux structures, et pour l'analyse temps-fréquence les images obtenues sont également employées pour déterminer et identifier la nature de deux types de structures multicouche. Les résultats obtenus par les images temps-fréquence sont très intéressants.

## 2 Etude de la structure multicouche

L'objectif de cette étude est de montrer l'efficacité de deux différentes méthodes d'analyse, la représentation temps-fréquence et la représentation spectrale, en comparant leurs capacités pour analyser les signaux expérimentaux rétrodiffusés par deux types de structures multicouche (Plexiglas/Eau/Aluminium et Plexiglas/Eau/Verre). Dans ce travail nous présenterons une étude de la propagation de l'onde acoustique rétrodiffusé par deux structures multicouche avec une plaque résonnante 'aluminium ou verre' et une plaque moins résonnante 'Plexiglas' séparée par une couche de l'eau. Les expériences sont faites dans une cuve remplie d'eau, l'insonnation se fait par un transducteur plan émetteur/récepteur à la fois de bande passant de 2 à 5 Mhz.

### 2.1 Géométrie de la structure multicouche

La figure 1 montre la description de la géométrie employée pour recevoir expérimentalement les signaux rétrodiffusés par la structure multicouche avec un système de coordonnées cartésien, la direction de l'onde incidente est infiniment long par rapport au milieu de la structure multicouche. L'excitation se fait par une onde plane de fréquence  $\omega$  sur le long de la direction de l'axe positif x. Tenir compte l'épaisseur relativement petit de la structure multicouche, le diamètre du capteur et l'angle de divergence de faisceau de transducteur est petit ( $2^\circ$  à 5 MHz), l'onde incidente acoustique est considéré comme une onde plane [2]. Le fluide 2 est à l'intérieur de la structure de densité  $\rho_2$  et de vitesse de propagation  $C_2$ . En général, l'extérieur de la structure est marqué par l'indice 1

$(\rho_1, c_1)$ . Fig. 1 montre l'étude de la structure qui est composé par trois couches: deux couches solide (plaque 1 et plaque 2), entouré par une couche de l'eau.

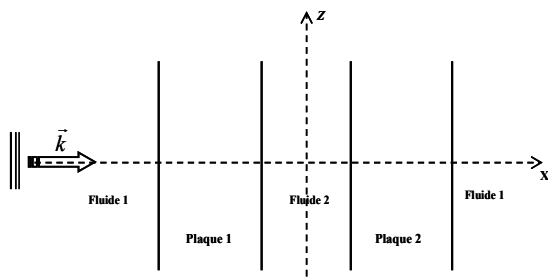


Fig. 1 : Description de la géométrie employée pour recevoir expérimentalement les signaux rétrodiffusés par la structure multicouche.

## 2.2 Structure Plexiglas/Eau/Aluminium

### 2.2.1 Insonnation coté plexiglas

La structure multicouche est positionnée perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde incidente (Fig. 1). La structure multicouche est excitée par une impulsion électrique engendrée par le capteur, ce capteur est de type émetteur récepteur à la fois et une large bande spectrale (2-8 Mhz). Le signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche est amplifié afin d'obtenir un niveau mesurable de la tension électrique, ce dernier est visualisé sur l'oscilloscope numérique.

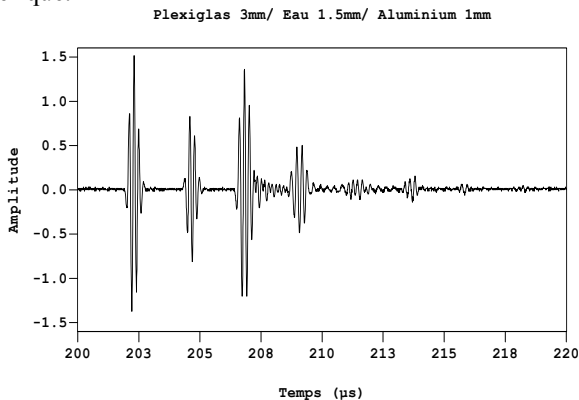


Fig. 2 : Signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche plexiglas(3 mm)/eau(1.5 mm)/aluminium(1 mm).

Fig. 8 montre un exemple du signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche composée de la plaque de plexiglas d'une couche de 3 mm d'épaisseur, et d'une plaque en aluminium d'une couche de 1 mm d'épaisseur, les deux couches sont séparées par une couche de l'eau de 1,5 mm d'épaisseur.

### 2.2.2 Insonnation coté aluminium

Aluminium 1mm/ Eau 1.5mm/ Plexiglas 3mm

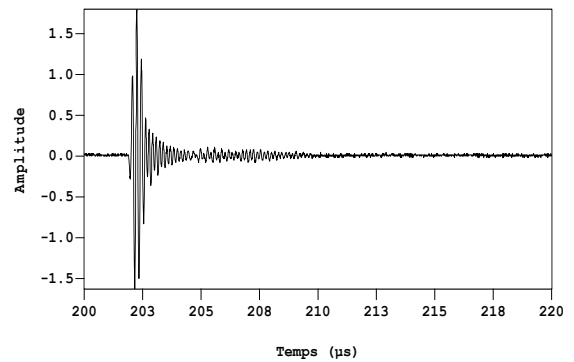


Fig. 3 : Signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche aluminium(1 mm) /eau(1.5 mm)/ plexiglas(3 mm).

## 2.3 Structure Plexiglas/Eau/Verre

### 2.3.1 Insonnation coté plexiglas

La figure 4 présente aussi un signal expérimental rétrodiffusé par une structure multicouche composée d'une plaque de plexiglas d'une couche de 2 mm d'épaisseur, et d'un verre d'une couche de 2 mm d'épaisseur, les deux couches sont séparées par une couche d'eau de 1,5 mm. Le signal expérimental de la fig. 11 est obtenu de la même structure mais cette fois est insonnée de l'autre côté de la face de verre.

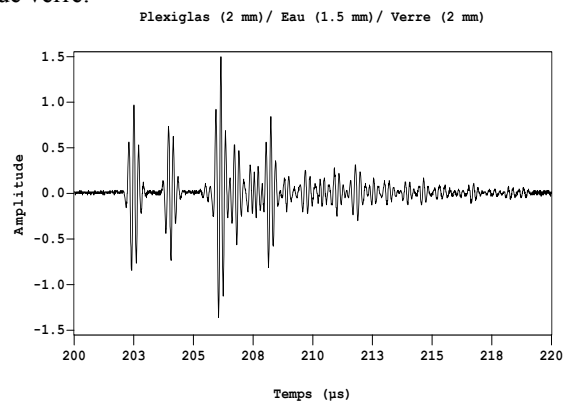


Fig. 4 : Signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche plexiglas(2 mm) /eau(1.5 mm)/verre (2 mm).

### 2.3.2 Insonnation coté verre

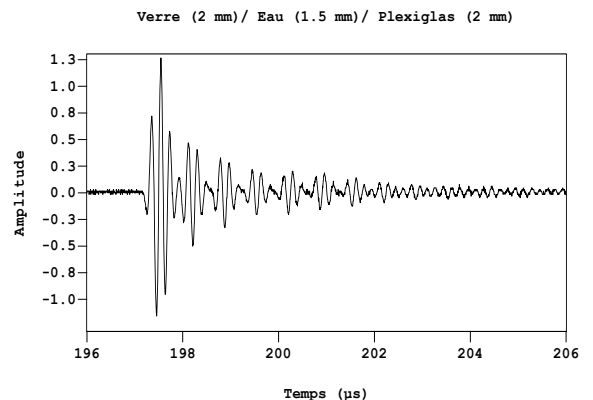


Fig. 5 : Signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche verre (2 mm) /eau(1.5 mm)/plexiglas(2 mm)

### 3 Analyse spectral

L'excitation de la structure multicouche est faite avec une incidence normale et insonné une petite zone par rapport à la surface totale de la plaque. Dans cette expérience, le capteur est utilisé comme émetteur et le récepteur. Il détecte le signal rétrodiffusé par la zone excitée. G. Maze montre que ce signal rétrodiffusé est loin différent de l'émission pour les fréquences qui sont appelées «résonances» [3]. Nous pouvons réaliser deux types d'enregistrements de l'amplitude du signal rétrodiffusé en fonction de la fréquence: le premier est le «spectre de rétrodiffusion» et le second est le «spectre de résonance». Le signal expérimental illustré dans les figures 8-11 montrent une séquence d'échos liés aux propriétés élastiques de la structure multicouche excitée. Durant de l'expérience le calcul du spectre des points acquis de

l'ensemble du signal donne le spectre du signal rétrodiffusé. Si on enlève le premier écho (écho spéculaire) du signal expérimental, le calcul de spectre de reste signal donne le spectre de résonance.

Le spectre de rétrodiffusion et le spectre de résonance sont obtenus par le calcul de la transformée de Fourier du signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche. Les résultats d'analyse spectrale sont rapportés dans les figures 6 et 7 pour la structure multicouche plexiglas/eau/aluminium et aluminium/eau/plexiglas respectivement. Dans ces figures, les courbes 6a et 7a représente le spectre de rétrodiffusion et les courbes 6b et 7b sont présentées le spectre de résonance des signaux rétrodiffusés par ces deux structures respectivement. Les courbes 6a et 7a montrent typiquement des minima qui correspondent aux maxima typique dans les courbes 6b et 7b.

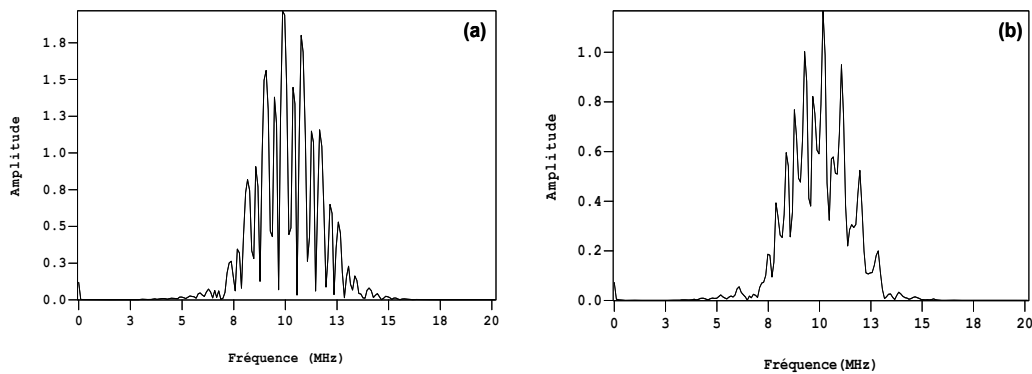


Fig. 6 : Spectre de puissance (a) et spectre de résonance (b) du signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche plexiglas(3 mm)/eau(1.5 mm)/aluminium(1 mm).

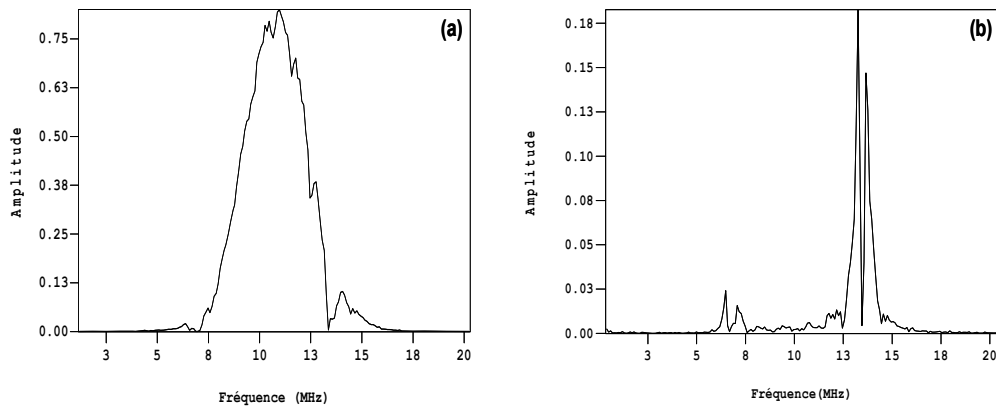


Fig. 7 : Spectre de puissance (a) et spectre de résonance (b) du signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche aluminium(1 mm) /eau(1.5 mm)/ plexiglas(3 mm).

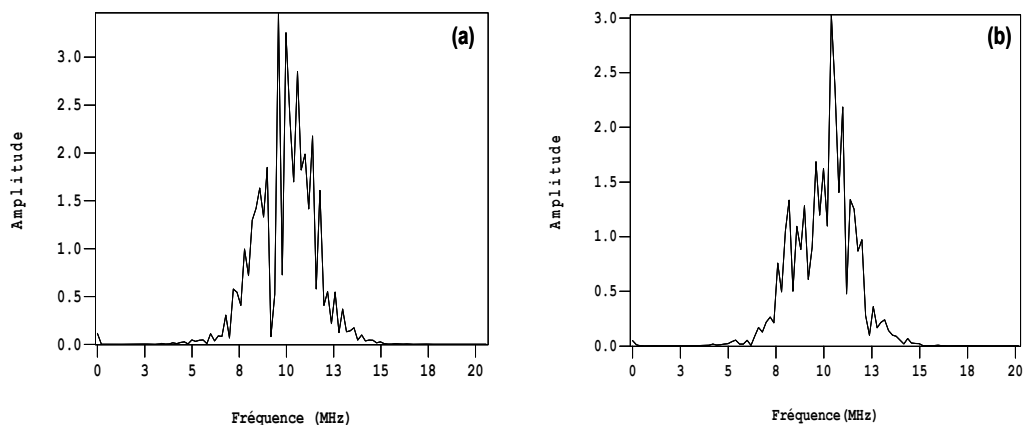


Fig. 8 : Spectre de puissance (a) et spectre de résonance (b) du signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche plexiglas(2 mm) /eau(1.5 mm)/verre (2 mm).

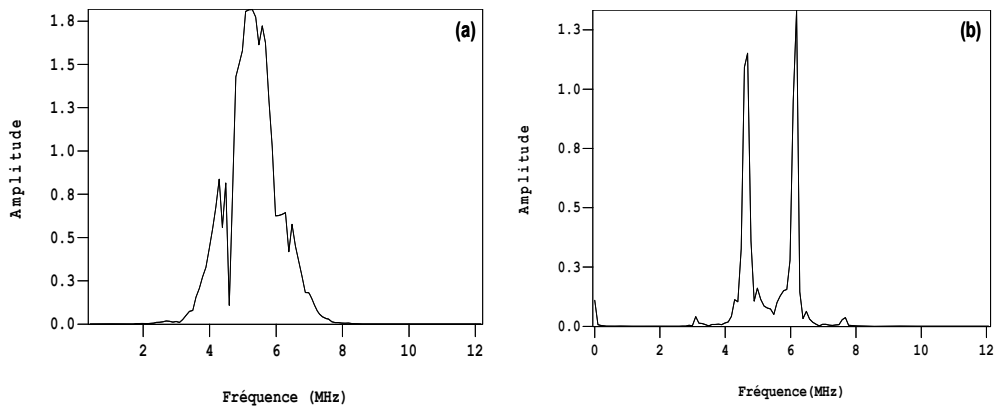


Fig. 9 : Spectre de puissance (a) et spectre de résonance (b) du signal expérimental rétrodiffusé par la structure multicouche verre (2 mm) /eau(1.5 mm)/plexiglas(2 mm).

De la même façon sur la structure multicouche plexiglas/eau/verre, le spectre de rétrodiffusion et le spectre de résonance sont présentés sur les figures 8 et 9, la figure 8 présente les résultats d'analyse spectral d'un signal expérimental rétrodiffusé pas cette structure avec une insonnation coté plexiglas, ainsi la figure 9 résume les résultats d'analyse spectral avec une insonnation coté verre. Les courbes qui sont présentées dans la figure 8a et 9b montrent le spectre de rétrodiffusion et le spectre de résonance respectivement de la structure multicouche plexiglas (2 mm)/eau (1.5 mm)/verre (2 mm), ensuite les courbes qui sont présentées dans la figure 8a et 9b montrent le spectre de rétrodiffusion et le spectre de résonance respectivement de la structure multicouche verre (2 mm)/eau (1.5 mm)/plexiglas (2 mm).

Selon la méthode d'analyse spectral, les signaux expérimentaux rétrodiffusés par les différents cotés et nous avons montrons et vérifions l'influence de chaque coté excitée. Ces illustrations donnent une aidé de quelle coté que la structure multicouche est insonnée.

Dans la suite et pour faciliter et pour mieux comprendre, on va montrer l'efficacité de la représentation temps-fréquence.

## 4 Analyse temps-fréquence

### 4.1 Image temps-fréquence de spectrogramme et de transformée en ondelettes

La représentation temps-fréquence de spectrogramme [6-8] et de la transformée en ondelettes [6-8] sont appliquées sur les signaux rétrodiffusés par les structures multicouches plexiglas/eau/aluminium et plexiglas/eau/verre, les figures suivantes présentent les images temps-fréquence des signaux rétrodiffusés selon l'excitation de la face de la structure multicouche.

### 4.2 Image temps-fréquence du signal rétrodiffusé par la structure plexiglas/eau/aluminium.

La figure 10 présente les images temps-fréquence de spectrogramme et de la transformée en ondelettes du signal rétrodiffusé par la structure multicouche plexiglas/eau/aluminium, et la figure 11 présente les images temps-fréquence pour un signal rétrodiffusé par la structure aluminium/eau/ plexiglas. Les images de la transformée en ondelettes sont obtenues on utilisant l'ondelette analysante de Morlet [12].

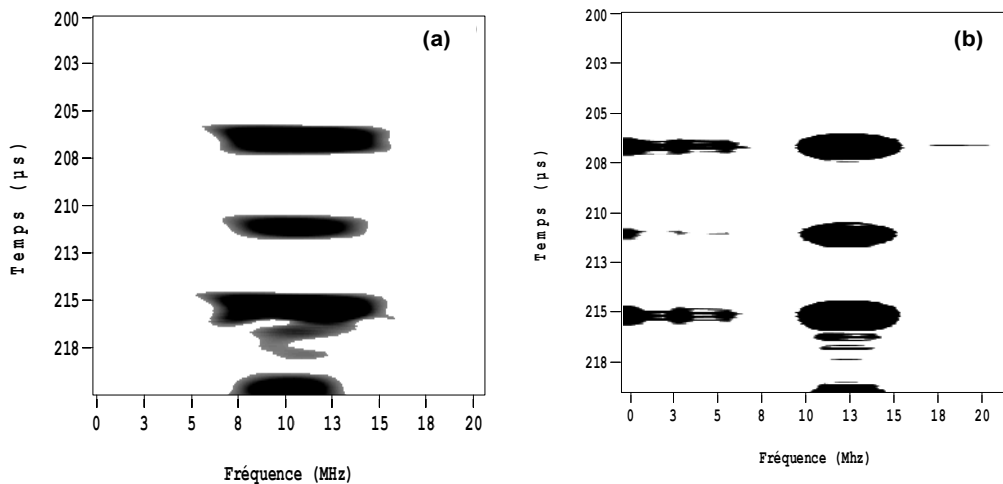


Fig. 10 : Image temps-fréquence de la figure 2, (a) : spectrogramme, (b) : transformée en ondelettes plexiglas(3 mm)/eau(1.5 mm)/aluminium(1 mm)

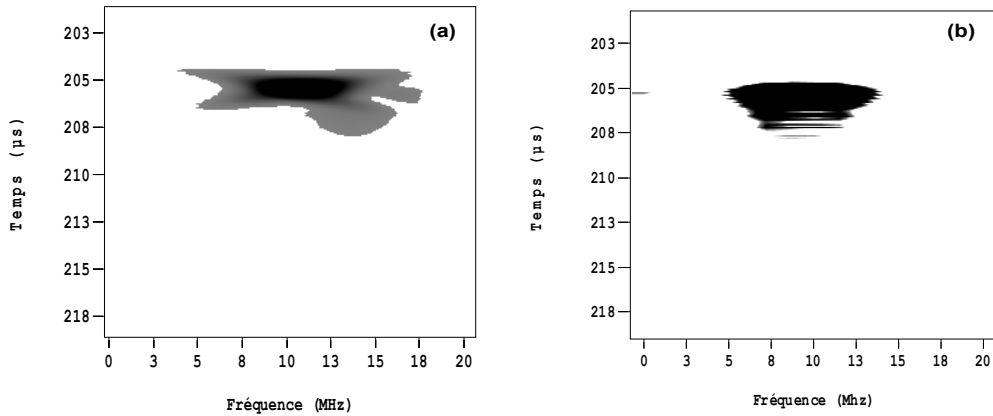


Fig. 11 : Image temps-fréquence de la figure 3, (a) : spectrogramme, (b) : transformée en ondelettes aluminium(1 mm) /eau(1.5 mm)/ plexiglas(3 mm)

L'observation des images temps-fréquence illustré dans la Fig. 10 et 11, il ressort que le signal rétrodiffusé par la structure multicouche composée d'aluminium et de plexiglas dépend sur le côté d'insonnation. Ceci est parfaitement conformé avec l'analyse spectrale qui fait précédemment. L'image temps-fréquence de la Fig. 11 montre la superposition des échos correspondant aux différentes composantes, le premier écho correspond à l'écho réfléchi par la couche de plexiglas, et le deuxième correspond au signal rétrodiffusé par de la couche d'aluminium.

Dans la première partie, et sur les images de spectrogramme et d'ondelettes, nous observons des groupes séparés dans le temps qui comporte deux échos avec à peu près la même composante fréquentielle, tandis que la deuxième partie, les échos qui sont liés a cette partie sont bien isolés dans le cas de l'image de la transformée en ondelettes et même dans le cas spectrogramme (Fig. 10a et 10b). Les images temps-fréquence du signal expérimental de cette structure est obtenue par excitation de la coté plexiglas.

En général, le plexiglas est un matériau absorbant (le coefficient de réflexion de plexiglas égale à 0,65). Sur l'image temps-fréquence de l'interface absorbante, nous visualisons les différents échos illustrés dans le signal

expérimental (Fig. 2) ainsi que les fréquences de résonance du spectre du signal rétrodiffusé (Fig. 6).

La figure 11 indique l'image temps-fréquence de la structure multicouche aluminium/eau/plexiglas. Cette image est obtenue par excitation de la structure de côté de la plaque d'aluminium. Cette plaque est un matériau réfléchissant (le coefficient réflexion de cette plaque égale à 1). L'aluminium est un matériau non absorbant. Sur les images temps-fréquence de spectrogramme et d'ondelettes de la figure 11a et 11b respectivement, on peut constater seulement la partie correspondant aux échos rétrodiffusés par la couche d'aluminium. Ceci peut être expliqué, que l'aluminium est un matériau réfléchissant, ce qui amorti fortement l'énergie du signal avant à travers la couche de plexiglas.

#### 4.3 Image temps-fréquence du signal rétrodiffusé par la structure plexiglas/eau/verre.

Les images temps-fréquence suivantes de la figure 12 et 13 correspondent aux signaux rétrodiffusés par la structure multicouche plexiglas/eau/verre. L'image de la figure 12 correspond au signal rétrodiffusé par la face Plexiglas et l'image de la figure 13 correspond au signal rétrodiffusé par la face verre.

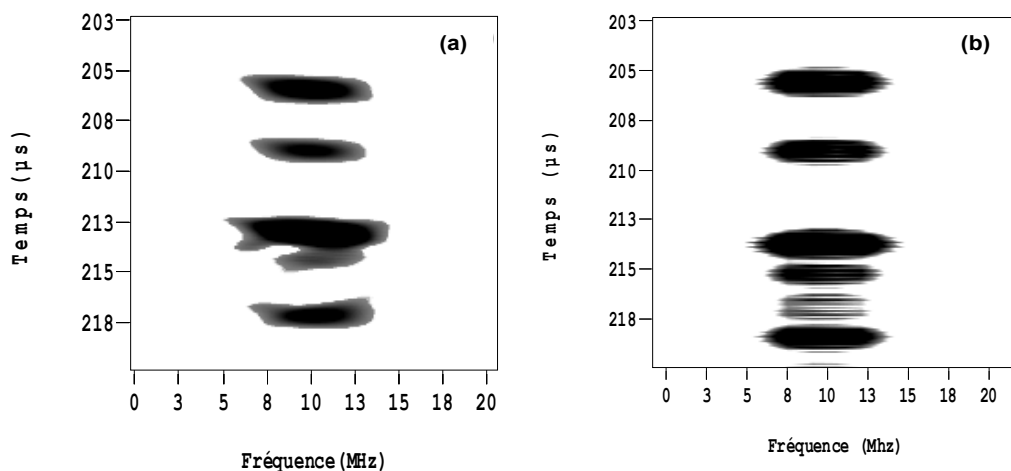


Fig. 12 : Image temps-fréquence de la figure 4, (a) : spectrogramme, (b) : transformée en ondelettes plexiglas(2 mm) /eau(1.5 mm)/verre(2 mm)

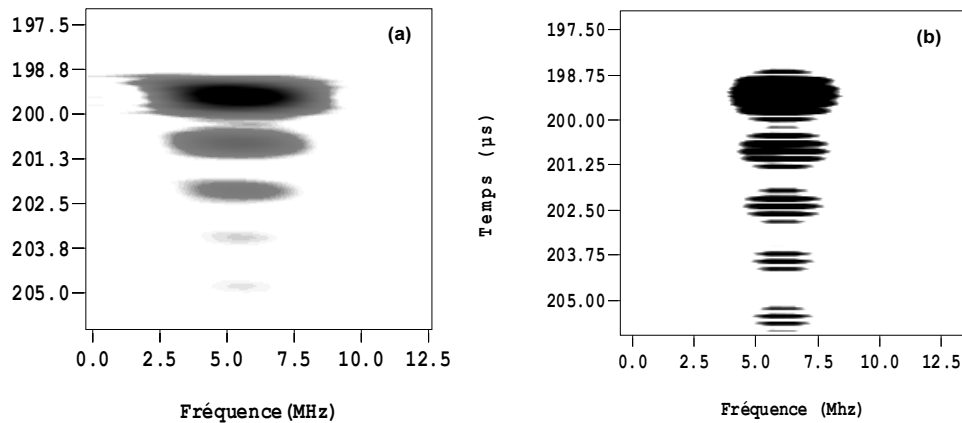


Fig. 13 : Image temps-fréquence de la figure 5, (a) : spectrogramme, (b) : transformée en ondelettes verre (2 mm) /eau(1.5 mm)/ plexiglas (2 mm)

Tout ce que nous avons discuté par avant concernant la structure multicouche composé de plexiglas/eau/aluminium est resté également valable pour la structure multicouche de plexiglas/eau/verre, et de même pour la structure d'aluminium/eau/plexiglas est aussi valable pour la structure de verre/eau/plexiglas, parce que le verre est un matériau non-absorbant (le coefficient de réflexion de ce matériau est égale à 0,95). Dans la Fig. 12 et 13, nous présentons les images time-fréquence de ces structures. Les résultats obtenus par les images temps-fréquence donnent beaucoup d'informations par rapport à ceux obtenus par l'analyse spectrale.

## 5 Conclusion

Dans ce papier, nous avons montré l'efficacité de la représentation temps-fréquence, de spectrogramme, de la transformée d'ondelettes et la méthode spectrale pour analyser la réponse expérimentale du signal rétrodiffusé par les structures multicouche telles que plexiglas/eau/aluminium et plexiglas/eau/verre. Nous avons décrit comment les représentations temps-fréquence peuvent être utilisées avec succès comme des méthodes efficaces à l'analyse des structures multicouche. L'observation des images de temps-fréquence du signal rétrodiffusé par la structure multicouche composée d'aluminium et de plexiglas dépend du côté d'insonnation et de même de la structure multicouche composée de plexiglas et du verre, il est facile de visualiser cette différence dans le cas de la représentation temps-fréquence par rapport à la représentation spectrale, cela permet d'indiquer de quel côté que la structure est insonnée. Enfin, l'application de l'analyse temps-fréquence de spectrogramme et d'ondelettes sur un signal expérimental rétrodiffusé par les deux types de la structure multicouche fournit plus d'information.

## Références

- [1] Veksler ND. "Resonance acoustic spectroscopy". Berlin: Springer; (1993)
- [2] Lenoir "Diffusion acoustique impulsionnelle par des multicouches planes immergés. Problème inverse,

Détection des resonances en presence d'absorbants". Thèse de Doctorat de l'Université du Havre, (1990)

- [3] Maze G, Izbicki JL, Ripoche J. "Resonances of plates and cylinders: guided waves". *J Acoust Soc Am.* 77:1352–7 (1985)
- [4] Fiorito R, Madigosky W, Uberall H. "Theory of ultrasonic resonances in a viscoelastic layer". *J Acoust Soc Am.* 77(2), (1993)
- [5] Flax L, Dragonnette L, Uberall H. "Theory of elastic resonances excitation by sound scattering", *J Acoust Soc Am.* 63, 23–31 (1987)
- [6] Cohen L. "Time-frequency distribution" a review. *Proc IEEE* 77(7): 941–81 (1989)
- [7] P. Flandrin, "Temps-Fréquence" Paris, Hermès, seconde édition (1998)
- [8] P. Flandrin, "Time-Frequency/Time-Scale Analysis", volume 10 of *Wavelet Analysis and its Applications*. Academic Press, San Diego, (1999)
- [9] Leonowicz Z, Lobos T, Sikorski T. "Time-frequency analysis of three signals using Wigner distribution". IV international workshop: computational problems of electrical engineering, Zakopane. p. 81–4 (2002)
- [10] Magand F, Chevret P. "Time-frequency analysis of energy distribution for circumferential waves on cylindrical elastic shells". *Acoust Acta Acoust.* 82:707–16P, (1996)
- [11] Latif R, Aassif E, Moudden A, Faiz B. "High-resolution time-frequency analysis of an acoustic signal backscattered by a cylindrical shell using a modified Wigner-Ville representation". *Meas Sci Technol*; 14: 1063–7 (2003)
- [12] S. Mallat, "A Wavelet Tour of Signal Processing", Academic Press, London, 1998.