

Contribution à la caractérisation ultrasonore en vue de la détection du gondolement des fibres dans un matériau composite plâtre/fibres de *Rhectophyllum Camerunense*

**Emmanuel Georges Lissouck MBEI^{1*}, Ateba ATANGANA^{1,2}, Moussa BAKOURA³
et Robert NZENGWA⁴**

¹ *Laboratoire de Mécanique et Productique (LMP), Université de Douala, Cameroun*

² *Département de Génie Mécanique, Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique (ENSET)
Université de Douala, BP 1872 Douala, Cameroun*

³ *Laboratoires HYDRAC .S.A, 935 Route du Centre Industriel-3w830 Bassa, BP 12806 Douala, Cameroun*

⁴ *Faculty of Industrial Engineering, University of Douala, PO Box 2701, Douala, Cameroon*

* Correspondance, courriel : abouissouck@gmail.com

Résumé

Dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et de l'élaboration des composites biodégradables, un matériau composite a été mis au point à base d'une matrice en plâtre renforcé des fibres végétales issues d'une plante de la forêt du Sud Cameroun. Cette étude, axée sur le contrôle non destructif des matériaux composites, présente une caractérisation ultrasonore du gondolement (sinuosités) des fibres dans ce matériau composite modèle. La détection de ces défauts de gondolement a été menée par un analyseur à ultrasons SONATEST Site-scan-140 doté d'un palpeur de type piézo-électrique KrautKramer de fréquence intrinsèque de 2MHz avec un diamètre de 12mm. La caractérisation des paramètres optimums d'étalonnage par la méthode de contrôle par contact a permis d'obtenir une vitesse de l'onde longitudinale de 6217 m/s correspondant à un gain de 62,6 dB sous une fréquence de 15MHz. Il ressort que les échos obtenus confirment le caractère hétérogène de notre matériau composite. Les résultats obtenus sur ce matériau composite à base de plâtre et renforcé de fibres de *Rhectophyllum Camerunense* (R.C.) pourront être incorporés dans les codes de calcul des structures sous forme d'un paramètre de gondolement ou paramètre de sinuosité.

Mots-clés : *ultrason, détection, sinuosité, plâtre/Rhectophyllum Camerunense, paramètre de gondolement.*

Abstract

Contribution to the study of ultrasonic signal processing parameters for detection of less sketching fibers of gypsum plaster composite reinforced with the " Rhectophyllum Camerunense " plant fiber

As part of the enhancement of local materials and the development of biodegradable composites, a composite material has been developed based on a reinforced plaster matrix of plant fibers derived from a plant of the South Cameroon forest. This paper focuses on non-destructive testing of composite materials, has an ultrasonic characterization of less sketching fibers in the composite model.

This study was conducted through the use of ultrasound's SONATEST Site-scan-140 with a piezoelectric Krautkramer probe with intrinsic frequency of 2MHz and a diameter of 12mm. The characterization of optimal calibration settings by contact control method yielded a speed of the longitudinal wave of 6217 m / s corresponding to a gain of 62.6 dB at a frequency of 15MHz. It appears that the echoes obtained confirm the heterogeneity of our composite. The results obtained on this gypsum -based composite material and fiber reinforced *Rhectophyllum camerunense* (RC) may be included in the codes for structural design in the form of a curl factor or tortuosity factor.

Keywords : *ultrasound, processing, sinuosity, gypsum/Rhectophyllum Camerunense, tortuosity parameter.*

1. Introduction

Le plâtre dans ses applications courantes, telles que la confection du staff et autres, est souvent renforcé des fibres de sisal [1]. Dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et de la fabrication des matériaux composites biodégradables, pour des raisons économiques et écologiques [2], un matériau à matrice plâtre renforcée des fibres du *Rhectophyllum Camerunense* (R.C.) a été élaboré. Ce matériau est utilisé dans les applications telles que le plafonnage et le cloisonnage des maisons, la confection des monuments, etc. Des études menées par [4], en vue de l'identification des propriétés mécaniques de certaines fibres végétales, leur utilisation comme renfort dans les composites à l'instar des fibres du R.C., partent de l'hypothèse que lesdites fibres sont disposées de manière rectiligne dans la matrice du matériau composite élaboré. Dans la pratique, on se rend compte que la disposition des fibres n'est pas toujours rectiligne. Pour des raisons diverses, les fibres subissent des déformations pendant (ou après) le moulage des composites modifiant les propriétés mécaniques du matériau obtenu. En vue de garantir la qualité du matériau composite confectionné, un contrôle de la configuration des fibres dans le matériau fini s'avère nécessaire [5,6]. C'est dans ce sens qu'un système de contrôle du gondolement (sinuosité) par ultrasons s'avère nécessaire.

L'objectif de cette étude est d'effectuer une caractérisation expérimentale du gondolement des renforts par une méthode non destructive (CND). Cette étude se propose de recourir aux techniques d'ultrasons pour détecter et quantifier les défauts de gondolement des fibres dans des composites à matrice renforcé de fibres unidirectionnelles. Dans le cadre de cette étude, des éprouvettes en plâtre renforcé de fibres unidirectionnelles de R.C. ont été élaborées incorporant quelques défauts artificiels de gondolements. La détection de ces défauts de gondolement a été menée par un analyseur à ultrasons Sonatest Site-scan-140. Le matériau composite exploré est composé d'une matrice en plâtre et d'un renfort en fibres de R.C. Quatre types d'éprouvettes sont envisagés : les éprouvettes en acier au carbone(I), les éprouvettes en plâtre non renforcé (II), les éprouvettes en plâtre renforcé de fibres de RC rectilignes disposées longitudinalement (III) et les éprouvettes en plâtre renforcées des fibres de RC avec des gondolements imposés (IV). La méthode expérimentale déployée est une méthode non destructive utilisant la propagation des ondes ultrasonores dans le matériau composite [7,8].

2. Matériel et méthodes

2-1. Echantillons d'éprouvettes

Les éprouvettes conçues dans le cadre de notre étude sont des matériaux composites unidirectionnels fibres/plâtre de dimensions 130 x 100 x 25 (mm), (*Figure 1*).

Les fibres utilisées sont des fibres végétales du "Rhectophyllum camerunense" de la region du Sud Cameroun. Ces fibres ont une couleur marron et une section droite circulaire avec un diamètre variant entre 0.20 et 0.70 mm [4]. Le plâtre utilisé est un produit du gypse importé disponible dans le commerce.



Figure 1 : Echantillons d'éprouvettes

2-2. Chaîne d'analyse des défauts de gondolement

Tableau 1 : Caractéristiques des équipements utilisés

Item	Désignation	Nature	Marque	Type	Numéro de série	Fréquence	Dimension
1	Pièces de tests	Matériau composite Plâtre + fibre	-	-	-	-	130 x 100 x 25
		Acier au carbone	IIW (Institut international de soudure)	Bloc V2	-	-	Epaisseur 25mm
2	Appareil Ultrasons	Digital A-scan	SONATEST	Site scan 140	1401151C	15MHZ	-
3	Palpeur	Piézo-électrique	KRAUTKRAMER	BS4/Single	57746-08169	Ø24 - 4MHZ	-
4	Couplant	Graisse	ELDON'S	High quality	-	-	-
5	Câble coaxiale	-	KRAUTKRAMER	Gros/singl e	-	-	1m

La chaîne que nous avons adoptée, pour analyser les défauts de gondolement des fibres dans la structure de nos éprouvettes, suppose que nous disposons des caractéristiques ultrasonores du plâtre, notamment de sa fréquence de résonance, de sa vitesse de l'onde longitudinal et de son gain ; à cet effet, elle comprend :

- L'Appareil à ultrasons SONATEST Site Scan 140 ;
- le palpeur piézo-électrique KRAUTKRAMER encore appelé le Transducteur : c'est une tête vibrante destinée à transmettre les vibrations du Générateur au matériau à contrôler et à recueillir les échos ;

- le câble coaxial KRAUTKRAMER ;
- le couplant ELDON'S : c'est de la graisse que l'on repend sur la surface du matériau à palper en vue de garantir la qualité de la transmission des ondes ultrasonores du palpeur au matériau ;
- les pièces à tester : l'acier au carbone destiné à étalonner l'appareil, le composite en plâtre renforcé de fibres végétales (ou non).

Les équipements de la chaîne d'analyse, leurs références et leurs caractéristiques détaillées se trouvent consignés dans le **Tableau** ci-dessus (**Tableau 1**).

2-3. Mode opératoire

Un appareil à ultrasons comprenant un émetteur, un récepteur et un écran graphique connecté à un transducteur est positionné sur un planché, tandis que l'éprouvette à explorer est positionnée sur le marbre. L'émetteur est un générateur à ultrasons destiné à redresser le courant alternatif en courant continu, lequel est découpé et transmis au transducteur pour être transformé en vibrations ultrasonores, étant entendu que le transducteur est un palpeur piézo-électrique. Le récepteur incorporé dans l'appareil à ultrasons est destiné à recueillir et à mettre en forme le signal retour du transducteur afin de l'afficher à l'écran graphique dudit appareil [7-10], (**Figure 2**).



Figure 2 : Chaîne de mesure

L'exploration est manuelle et les principes de base sont contenus dans les différentes opérations qu'elle implique [6,7]. Ces essais se composent de deux phases :

- 1^{ère} phase : exploration du volume de l'éprouvette contrôlée en vue de la détection de l'anomalie (gondolement),
- 2^{ème} phase : caractérisation de l'anomalie décelée, par la détermination des paramètres de détection.

3. Résultats et discussion

Le contrôle par ultrasons est un contrôle de comparaison, pour détecter d'éventuels défauts dans une pièce.

3-1. Etalonnage de l'appareil en utilisant un bloc étalon en acier au carbone

Cette étape essentielle dans la préparation du contrôle consiste à établir une correspondance entre la position d'un écho mesurée et le parcours ultrasonore qui correspond au chemin parcouru par l'impulsion ultrasonore entre le point d'entrée de l'onde ultrasonore dans la pièce et le réflecteur qui est à l'origine de l'écho (aller simple) [8]. Pour cela, nous avons fait deux réglages successifs pour étalonner la base de temps de cet appareil en prenant en compte les caractéristiques propres au matériau (acier, plâtre) et au transducteur. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous (**Tableau 2 : Ligne 1**).

Tableau 2 : Résultats de l'étalonnage sur un bloc étalon normalisé (acier au carbone)

Item	Désignation	Résultats					
		Vitesse de l'onde longitudinale (m/s)	Zéro du palpeur	Echelle (mm)	Gain (dB)	Amplitude du 1 ^{er} écho par rapport à l'origine 0	Amplitude du 2 ^{ème} écho par rapport à l'origine 0
1	Bloc étalon, type A	5895	2.081	50	47.0	87%	66%
2	Plâtre sain	5895	2.081	50	47.0	0%	0%

L'écran affiché ci-dessous nous permet de détecter l'écho initial à l'origine (écho de surface), qui correspond à l'introduction de l'onde ultrasonore dans l'étalon au niveau de la surface de contact palpeur/bloc d'acier. Le premier écho situé à 25mm de l'origine 0 (ou 1^{er} écho de fond) traduit la réflexion de l'onde ultrasonore au contact du marbre. Le deuxième écho situé à 50mm de l'origine (ou 2^e écho de fond). (**Figure 3**)

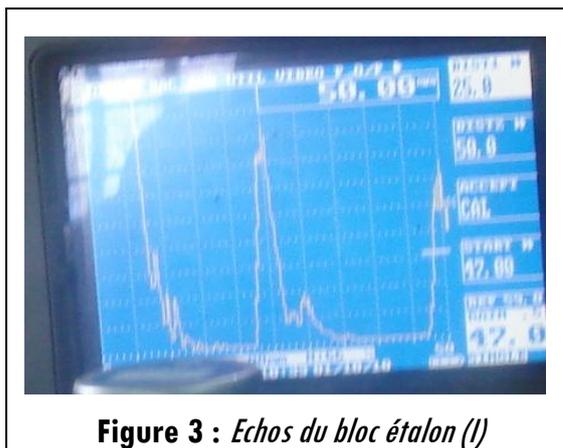


Figure 3 : Echos du bloc étalon (I)

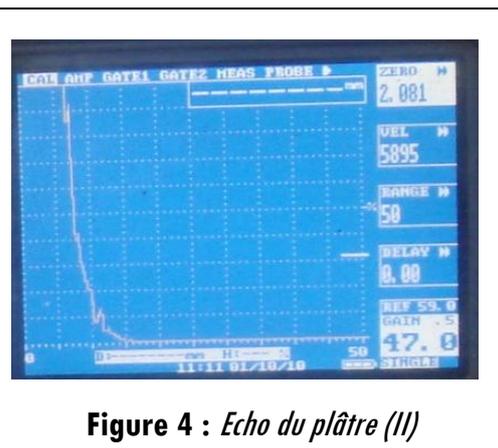


Figure 4 : Echo du plâtre (II)

3-2. Etalonnage de l'appareil en utilisant une éprouvette en plâtre sain

Le but de l'étalonnage est d'établir une correspondance entre la position d'un écho mesurée et le parcours ultrasonore [7;10].L'étalonnage se fait avec le même capteur piézo-électrique que le bloc d'acier et nous adoptons a priori la vitesse de l'onde dans l'acier étalon, qui est de 5895m/s. les résultats de ce second étalonnage se trouve dans le tableau ci-dessus (**Tableau 2 : Ligne 2**).

A travers l'écran ci-dessus (**Figure 4**), la courbe affichée traduit uniquement la détection de l'écho initial à l'origine des espaces, qui correspond à l'introduction du signal émis par le capteur dans l'éprouvette (écho de surface du plâtre) ; aucun autre écho n'est observé. On remarque l'absence d'écho de fond lorsqu'on passe de l'acier au plâtre en conservant la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore dans l'acier. Ceci est dû à la forte atténuation du matériau, les vitesses de propagation des ondes n'étant pas les mêmes dans ces matériaux [9]. Il faudra donc trouver la vitesse des ondes ultrasonores dans le plâtre.

3-3. Recherche des caractéristiques de l'onde ultrasonore dans le plâtre

Nous admettons que la vitesse de l'onde ultrasonore est plus élevée dans le plâtre du fait que celui-ci est moins dense que l'acier ; pour cela, nous maintenons le même capteur piézo-électrique, mais nous faisons varier progressivement la vitesse de l'onde dans le plâtre. Nous constatons, en ce qui concerne l'acier étalon, que l'amplitude du 1^{er} écho de fond par rapport à l'origine est de plus de 100%, ainsi que celui du 2^e écho de fond. Par ailleurs, nous observons l'apparition d'un premier écho de fond d'amplitude 76% pour le plâtre, ainsi qu'un second écho de fond d'amplitude non appréciable (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Résultats de l'étalonnage sur un échantillon de plâtre sain

Item	Désignation	Résultats					
		Vitesse de l'onde (m/s)	Zéro du palpeur	Echelle (mm)	Gain (dB)	Amplitude du 1 ^{er} écho de fond par rapport à l'origine	Amplitude du 2 ^{ème} écho de fond par rapport à l'origine
1	Acier au carbone	6631	3.004	0 – 50	85.5	Plus de 100%	Plus de 100%
2	Plâtre sain	6631	3.004	0 – 50	85.5	76%	Le % n'est pas appréciable

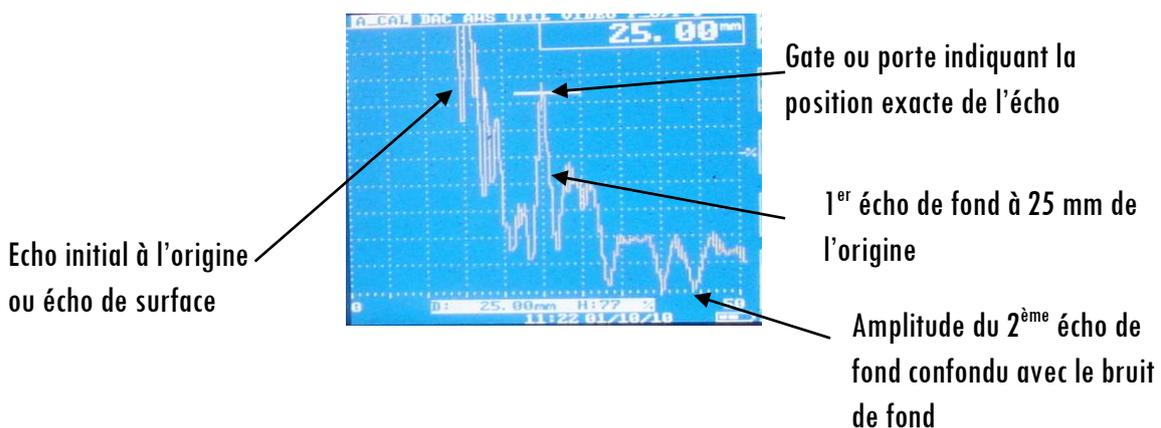


Figure 5 : Représentation A-scan des échos sur échantillon II

L'étalonnage a été fait sur le matériau (plâtre) en utilisant une vitesse de propagation obtenue par approximation. Ceci a permis d'obtenir au moins un premier écho de fond dont l'amplitude est à 76% de l'écho initial. Le second n'est pas clairement visible car confondu avec le bruit de fond. Ceci peut s'expliquer par la composition du matériau qui comporte une structure à gros grain [11].

Cette structure non seulement atténue les ondes mais aussi les disperse. On remarque également que si on applique la même vitesse à l'acier au carbone, on obtient des échos dont l'amplitude dépasse largement la hauteur de l'écran, la vitesse de propagation de l'onde longitudinale dans le plâtre étant supérieure à celle de l'onde dans l'acier étalon. Afin d'améliorer la qualité du second écho de fond au regard des hypothèses ci-dessus, il semble opportun d'utiliser un capteur de fréquence plus faible que le capteur KRAUTKRAMER de série 57746-08169. Pour cela nous adoptons le capteur KRAUTKRAMER de série 73433 de diamètre Ø12 et de fréquence 2MHZ. On constate une légère modification de la vitesse de l'onde dans le composite fibres/plâtre et on observe un second écho de fond d'amplitude 12% ; les résultats de l'essai sont consignés dans le **Tableau** ci-dessous (**Tableau 4**).

Tableau 4 : Résultats de l'étalonnage de l'échantillon (III)

Item	Désignation	Résultats					
		Vitesse de l'onde (m/s)	Zéro du palpeur	Echelle (mm)	Gain (dB)	Amplitude du 1 ^{er} écho par rapport à l'origine 0 (Fsh*)	Amplitude du 2 ^{ème} écho par rapport à l'origine 0 (Fsh*)
1	Acier au carbone	6217	1.583	0 – 50	62.6	Plus de 100%	Plus de 100%
2	Composite (fibres/plâtre)	6217	1.583	0 – 50	62.6	72%	12%

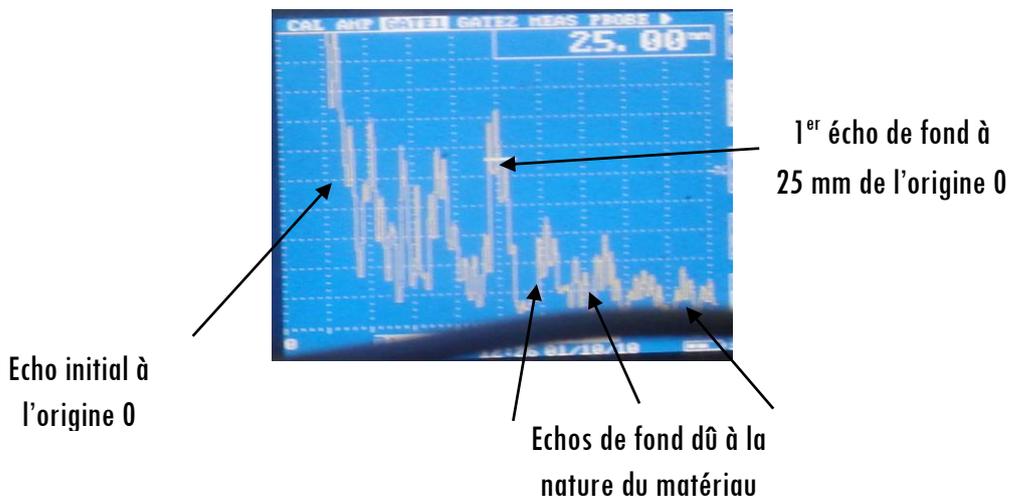


Figure 6 : Représentation A-scan des échos sur échantillon (III)

On constate qu'en utilisant un palpeur de fréquence faible, on obtient au moins le 2^{ème} écho de fond. C'est avec ces paramètres que les contrôles des échantillons comportant des défauts artificiels ont été conduits. Cette expérience a été répétée avec d'autres palpeurs de faible fréquence et le résultat a été le même.

4. Contrôle du matériau composite comportant des défauts artificiels

La caractérisation d'une anomalie implique la détermination des différents paramètres parmi lesquels la réflectivité (amplitude de l'écho) est primordiale [7]. Les résultats sont consignés dans le **Tableau 5**.

Tableau 5 : Résultats du Contrôle de notre matériau composite avec défauts (IV)

Désignation	Nature	Marque	Type	Numéro de série	Fréquence
Palpeur	Piézo-électrique	Krautkramer	Single	73433	Ø12-2MHZ

Item	Désignation	Résultats					
		Vitesse de l'onde (m/s)	Zéro du palpeur	Echelle (mm)	Gain (dB)	Amplitude du 1 ^{er} écho par rapport à l'origine 0	Amplitude du 2 ^{ème} écho par rapport à l'origine 0
1	Matériau composite (plâtre + fibre)	6217	1.583	0 – 50	62.6	37%	20%

Les échos obtenus nous ont permis de constater la nature hétérogène de notre matériau composite. Nous observons que le second écho de fond a pu être obtenu.

5. Conclusion

Devant l'utilisation croissante des matériaux composites, la connaissance précise des propriétés mécaniques des constituants, ainsi que la mesure précise des propriétés effectives des matériaux composites, ont été pour nous, des conditions nécessaires à la résolution d'un grand nombre de problèmes reliant son comportement global à la microstructure. Les approches expérimentales que nous avons développées dans cette étude, rentrent dans le cadre général précité. Au cours de cette étude, nous avons d'une part procédé à l'étalonnage de l'appareil ultrasonore à l'aide d'un bloc étalon normalisé en acier au carbone, d'autre part nous sommes passés à l'étalonnage d'un échantillon sain à base des fibres /plâtre afin d'obtenir des signaux (échos) de références. La caractérisation des paramètres optimums d'étalonnage par la méthode de contrôle par contact nous a permis d'obtenir les résultats ci-après :

- Vitesse de l'onde longitudinale : 6217 m/s
- Gain : 62,6 dB ;
- Fréquence : 15 MHz
- Palpeur piézo-électrique KrautKramer de fréquence 2MHz et Ø 12mm.

Il ressort que les échos obtenus confirment le caractère hétérogène de notre matériau composite. Les résultats obtenus sur un matériau composite à base de plâtre et renforcé de fibres de "*Rhctophyllum Camerunense*" sont intéressants et constituent une étape majeure pour la suite des travaux. Les résultats pourront être incorporés dans les codes de calcul des structures sous forme d'un facteur de gondolement ou facteur de sinuosité.

Références

- [1] - M. KHENFER and P. MORLIER, " *Plâtres renforcés de fibres cellulosiques*", *Matériaux et Constructions*(32) (1999) 52–58.
- [2] - DJOUDI 1 AMINA, KHENFER 2 MOHAMMED MOULDI, et BALLI, Etude d'un nouveau composite en plâtre renforcé avec des fibres végétales du palmier dattier, in SBEIDCO 1st International Conference on sustainable Built Environment Infra-structures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria), (2009).
- [3] - F. BETENE EBANDA, *Etude des propriétés mécaniques et thermiques du plâtre renforcé de fibres végétales tropicales, PhD Thesis, Université de Douala (Cameroun), (2012).*
- [4] - A. BEAKOU, A. ATANGANA, R. NTENGA, L. O. AYINA, J. LEPETIT, *Physicochemical and micro structural characterization of "Rhectophyllum Camerunense" plant fiber. Composites. Part A, Applied science and manufacturing. vol.39, (1) (2008) 67-74.*
- [5] - E. G. MBEI LISSOUCK, A. ATANGANA et M.BAKOURA " *Contribution à la détermination des paramètres ultrasonores du plâtre en vue de la détection du gondolement des fibres dans un matériau composite à matrice plâtre renforcé de fibres du Rhectophyllum Camerunense*", in Actes du Séminaire National sur les Matériaux, Procédés et Environnement, 5^{ème} SNMPE'2014, Boumerdès (Algeria), (2014) 305-306.
- [6] - Ali KALOU, " *Etude du comportement des interfaces et des interphases dans les composites à fibres et à matrices céramiques*", PhD thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, (2006).
- [7] - J. KRAUTKRAMER and H. KRAUTKRAMER, " *Ultrasonic Testing of Materials*", 3rd Edition, Springer-Verlag, Berlin, (1983).
- [8] - P. D. EDMONS, " *Ultrasonic's Methods of Experimental Physics*". Academic Press, Vol 19 (1981).
- [9] - B. A. AULD, " *Acoustic fields and waves in solids. "Vol.1.New-York: Wiley Interscience, (1973).*
- [10] - B. HOSTEN, " *Anisotropic materials characterization by simple or double transmission ultrasonic method*". Ultrasonic International proceedings. Madrid, (1989) 31-36.
- [11] - J. SANAHUJA. " *Impact de la morphologie structurale sur les performances mécaniques des matériaux de construction : application au plâtre et à la pâte de ciment*", PhD thesis, Ecole nationale des ponts et chaussées, France, (2008).
- [12] - D. PANAITESCU, MIHAELA, " *L'effet de l'interface dans les composites de fibres naturelles et de matières plastiques*", *Revue Roumaine de Chimie, 52(4), (2007) 409–414.*
- [13] - J. M. BERTHELOT, " *Matériaux composites : comportement mécanique et analyse des structures.* ", Ed. MASSON, (1996).
- [14] - SS. GUIMARAES, " *Vegetable fiber-cement composites*", in *International Symposium on vegetable plants and their fibers as building materials*, Salvador. London; CHAPMAN and HALL, (1990)98-107.