



**HAL**  
open science

## Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites bois/plastique

Talel Ben Mbarek, Laurent Robert, Françoise Hugot, Bertrand Charrier,  
Habib Sammouda, Alain Graciaa, Jean-José Orteu

### ► To cite this version:

Talel Ben Mbarek, Laurent Robert, Françoise Hugot, Bertrand Charrier, Habib Sammouda, et al..  
Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites  
bois/plastique. CFM 2009 - 19ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2009, Marseille, France. 6 p.  
hal-03391449

**HAL Id: hal-03391449**

**<https://hal.science/hal-03391449>**

Submitted on 21 Oct 2021

**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.

# Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites bois/plastique

T. BEN MBAREK<sup>a,e</sup>, L. ROBERT<sup>b</sup>, F. HUGOT<sup>d</sup>, B. CHARRIER<sup>c</sup>, H. SAMMOUDA<sup>a</sup>, A. GRACIAA<sup>e</sup>, et J-J. ORTEU<sup>b</sup>

a. LETTM, Ecole Supérieure des Sciences et de Technologie de H-Sousse, Rue Lamine ElAbbassi 4011 H-Sousse, Tunisie

b. Université de Toulouse; INSA, UPS, Mines Albi, ISAE; ICA (Institut Clément Ader), CROMeP; Campus Jarlard, F-81013 Albi cedex 09, France

c. Sylvadour, IUT des Pays de l'Adour, 371 rue du Ruisseau BP 201 40004 Mont-de-Marsan, France

d. Université de Limoges, ENSIL, 16 rue Atlantis, Parc ESTER Technopole, BP 6804 87068 Limoges, France

e. IPRA, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Avenue de l'Université 64013 Pau, France  
hugot@ensil.unilim.fr

## Résumé :

*On étudie dans cet article le comportement en traction de composites fibre de bois/polyéthylène (WPC) avec et sans additif en utilisant des mesures de champs par stéréo-corrélation d'images numériques. Les valeurs de déformation macroscopique mesurées sont comparables à celles obtenues par extensométrie mécanique classique. Le module d'Young (MOE) est évalué sur un modèle de Maxwell-Bingham ajusté sur les courbes expérimentales. D'autre part, on analyse le comportement endommageable de WPC à 30% de bois et le degré d'hétérogénéité pour différents pourcentages de bois à l'aide des valeurs de l'écart type spatial du champ de déformation longitudinale.*

## Abstract :

*The tensile behaviour of Wood Plastic Composite (WPC) with or without additives is studied by using full-field strain measurements by 3-D Digital Image Correlation (stereo-correlation). Macroscopic values of the longitudinal strain are closed to those measured by mechanical extensometers. The Modulus of Elasticity (MOE) is provided by a Maxwell-Bingham model fitted to the experimental tensile curves. Moreover, the damage behaviour of 30% fibre wood-based WPC and the degree of heterogeneity for several percentages of fibre wood-based WPC are analysed thanks to the spatial standard deviation of the longitudinal strain field.*

**Mots-clefs :** composites bois / plastiques, traction, stéréo-corrélation d'images, module d'élasticité, endommagement, hétérogénéité.

## 1. Introduction :

Les composites sont des matériaux qui ont permis le développement et le changement rapide des produits, des pratiques technologiques et industrielles. Ces composites peuvent être soit peu coûteux, soit très performants, parfois les deux à la fois. Par exemple, l'utilisation du bois dans la conception des matériaux composites permet d'associer un matériau résistant, léger, non abrasif, structuré et à faible coût, avec de nombreux matériaux tels que les métaux, les plastiques, les fibres synthétiques et les bétons. Parmi eux, les composites bois/plastiques (WPC : Wood Plastic Composite) sont composés de polymères thermoplastiques, souvent recyclés, et de fibres de bois en plus ou moins grande proportion [1,2]. Ce type de matériau tire profit de la densité relativement faible du bois, de son faible coût, de ses propriétés mécaniques ainsi que de sa capacité à être recyclé. La fraction thermoplastique réduit la fragilité tout en procurant une meilleure résistance à la moisissure et aux attaques biologiques. Les polymères thermoplastiques présentent un certain nombre de qualités (faible densité, bas coût) et sont largement disponibles dans l'industrie. Les caractéristiques du bois dans le composite

vont imposer un choix adéquat du composant plastique du WPC. De nos jours, les WPC sont utilisés dans plusieurs domaines tels que les mobiliers de jardin, le bâtiment (infrastructure et finition). Pourtant, assez peu d'études sont consacrées à évaluer et comprendre leur comportement mécanique. La plupart des études sur le comportement mécanique de composite fibre de bois/PEHD sont effectuées à l'aide d'essais mécaniques (traction) et par extensométrie mécanique [3-5]. Les méthodes optiques de mesure de champ cinématiques sans contact connaissent depuis une quinzaine d'années une véritable révolution, liée à l'évolution des technologies d'acquisition et de traitement d'images [6]. Par exemple, les techniques de corrélation d'images numérique et de stéréo-corrélation ont potentiellement un très grand intérêt en mécanique expérimentale pour de nombreuses applications [7-8]. On se propose dans cette étude d'analyser le comportement mécanique de WPC à l'aide de mesures par stéréo-corrélation d'images. Ces mesures vont permettre d'accéder à l'ensemble du champ de déformations surfaciques en s'affranchissant de la dépendance à la position du capteur extensométrique. D'autre part, l'utilisation de la stéréovision permet de s'affranchir des défauts classiquement liés à la corrélation 2D ne mettant en œuvre qu'une seule caméra (par exemple, hypothèse que les déformations sont planes, parallèles au plan image de la caméra, et le restant au cours du temps).

En premier lieu, afin de déterminer les propriétés mécaniques macroscopiques des WPC avec 10% et 30% de bois, le module d'Young (MOE) est évalué sur un modèle de Maxwell-Bingham ajusté sur les courbes expérimentales de traction, ainsi que le module à la rupture (MOR). Ensuite, nous avons déterminé l'écart type spatial du champ de déformation longitudinale lors de l'endommagement de bois en traction, ainsi que selon le degré d'hétérogénéité lié à différents pourcentage de bois (0%, 10% et 30%). Ces résultats permettront de mieux comprendre le comportement à l'endommagement de ces composites.

## 2. Matériel :

Dans notre étude, la matrice polymère du WPC est un polymère polyéthylène haute densité (PEHD). Les caractéristiques des fibres de bois (*pinus pinaster*) sont données dans le tableau 1.

Fibres	Taille	Fraction massique
Longueur moyenne (sans fibres fines)	220 $\mu\text{m}$	
Epaisseur moyenne (sans fibres fines)	30 $\mu\text{m}$	
Courbure (sans fibres fines)	4.5 %	
Distribution par taille	Fines < 30 $\mu\text{m}$	76 %
	30 – 150 $\mu\text{m}$	9.7 %
	150 -250 $\mu\text{m}$	6.5 %
	250 - 300 $\mu\text{m}$	1.5 %
	300-450 $\mu\text{m}$	2.5 %
	450- 680 $\mu\text{m}$	1.3 %
	680-1030 $\mu\text{m}$	1.2 %
	> 1550 $\mu\text{m}$	1.3 %

Tableau 1 : Caractéristiques morphologiques des fibres de bois.

La fabrication des éprouvettes de traction est réalisée par injection sous presse des granulés bois/PEHD extrudés. Les paramètres d'injection sont les suivants : température en sortie de buse 200°C, pression d'injection 100 bars, de maintien 50 bars, vitesse d'injection 47 mm/s, temps de maintien 6 s, temps de refroidissement 25 s, température moule 50°-70°C et pression moule 50 Bars. Les fibres de bois sont mélangées au PEHD avec l'aide ou non d'un additif permettant une meilleure adhésion des chaînes polymères sur le bois (voir Tableau 2). L'additif est du polyéthylène anhydride maléique (MAPE).

Référence	Description
iWPCfxx	Injection de bois sans additif (xx = % bois)
iaWPCfxx	Injection de bois avec 3% d'additif (MAPE) (xx = % bois)

Tableau 2: Formulations du composite fibre de bois/PEHD

## 3. Méthode :

### Essai de traction

Les essais de traction ont été effectués sur une machine électromécanique Instron 5800R avec une vitesse de déplacement de la traverse de 2 mm/min. Trois éprouvettes (norme ISO 527-2 / éprouvette de forme de type 1A) ont été testées pour chaque formulation. La dimension des éprouvettes est 20x4x150 mm<sup>3</sup>.

### Stéréo-corrélation d'images

Les éprouvettes sont texturées par projection de peinture (mouchetis blanc sur fond noir) car le contraste d'image dû aux fibres de bois dans la matrice PEHD n'est pas suffisant. Les images sont prises à l'aide d'un banc stéréoscopique constitué de deux caméras CCD QICAM (Qimaging) de résolution 1360x1036, 8 bits, munies d'objectifs Nikon 50 mm ouverture 11, à une fréquence d'acquisition de 1 image/2s. Le calibrage et le traitement d'images est fait avec le logiciel Vic-3D™ (Correlated Solutions Inc., 2007) à l'aide d'une mire d'étalonnage (méthode d'optimisation globale, erreur de calibrage de l'ordre de 0,05 pixels). Pour la corrélation et le calcul des déformations et pour tous les essais, les paramètres choisis sont : fenêtre de corrélation de 19x19 pixels, facteur d'échelle de 16,1 pixels/mm d'où résolution spatiale en déplacement de 1,18 mm et résolution spatiale en déformation (taille de jauge) de 1,5 mm.

## 4. Résultats et discussion :

### Propriétés mécanique (iWPCf et iaWPCf)

La méthode de stéréo-corrélation est utilisée lors d'essais de traction à température ambiante sur des éprouvettes de composite fibre de bois/polyéthylène pour les formulations avec ou sans additif et à 10% ou 30% de bois. La valeur de la déformation considérée est la valeur moyenne du champ mesurée. Les courbes de traction illustrées figure 1 indiquent un comportement global non linéaire.

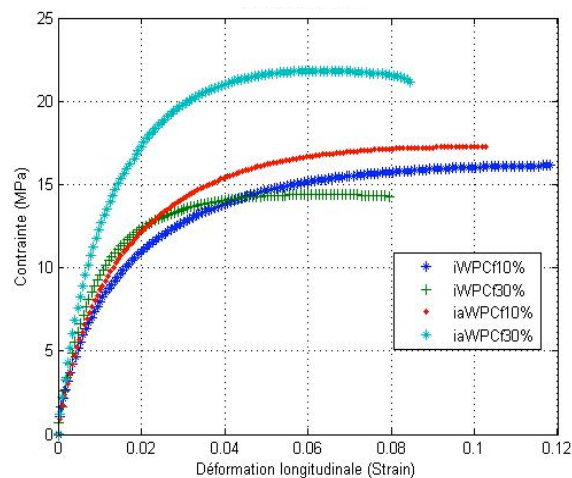


Figure 1 : Courbes de traction de iWPCf et iaWPCf

Le tableau 3 donne les propriétés physiques des iWPCf et iaWPCf déterminées à partir des courbes de traction obtenues par stéréo-corrélation.

% fibre de bois	iWPCf		iaWPCf	
	10%	30%	10%	30%
MOE (MPa)	980 (14)	1709 (100)	1137 (26)	1762 (27)
MOR (MPa)	15,6 (0,4)	13,6 (0,7)	16,4 (0,6)	21 (0,3)

Tableau 3 : MOE évalué par la tangente à l'origine d'un modèle de Maxwell-Binhgam  $\sigma = a(1 - \exp(-b\epsilon))$  ajusté par optimisation sur les courbes expérimentales. (les valeurs entre parenthèses représentent l'écart type)

On observe que le module élastique (MOE) croît avec l'augmentation du pourcentage de bois pour les deux cas (iWPCf et iaWPCf), ainsi qu'avec l'additif (MAPE), qui confère au composite le plus fort module. D'autre part, Le module à la rupture (MOR) de l'iWPCf (sans additif) décroît avec l'augmentation du pourcentage de bois, par contre il croît de 16.4 MPa pour iaWPCf10% et jusqu'à 21 MPa pour iaWPCf30%. Cette augmentation peut être due à une certaine modification des paramètres au cours du processus d'injection, mais ceci ne contredit pas la tendance générale. En fait, les résultats d'injection sont en accord avec la littérature [9]. Les résultats des mesures de déformation par stéréocorrélation d'images sont comparables à ceux obtenus par extensomètre mécanique sur les mêmes matériaux et publiés dans [4].

### Comportement à l'endommagement du WPC à 30% de bois en traction

Un certain nombre d'essais sur les éprouvettes iWPCf30% ont été menés afin d'observer par stéréocorrélation d'images numériques les évolutions des champs de déformation longitudinale ainsi que leurs variations spatiales au cours de l'essai, et par conséquent le développement des différents sites de localisation au cours du temps. Les cartographies fausses couleurs présentées sur la figure 2 montrent bien que le champ de déformation est très rapidement hétérogène ( $t = 100$  s) et que la zone localisée où la déformation devient maximale là où il y aura rupture n'apparaît qu'à  $t = 180$  s.

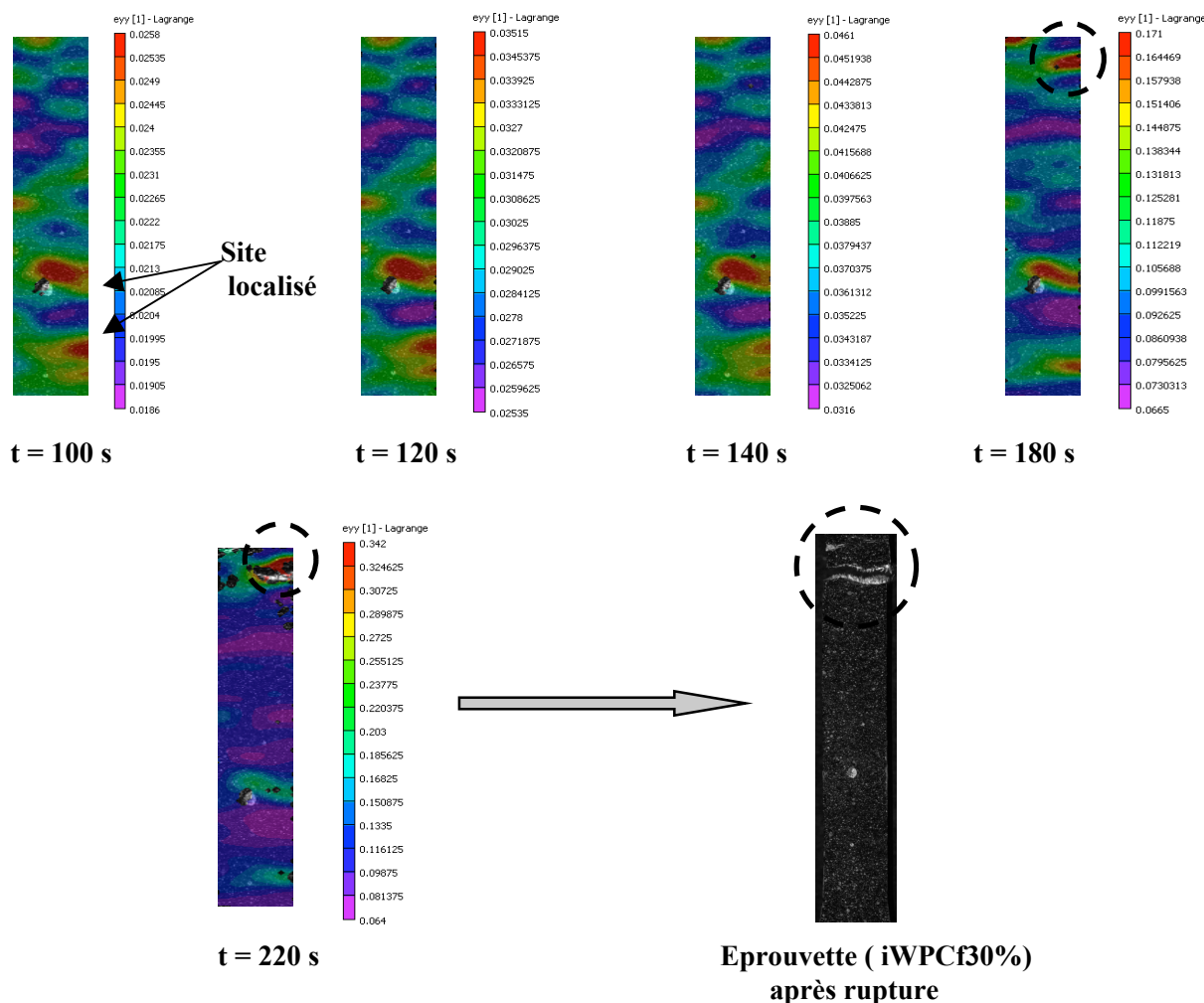


Figure 2 : Cartes des champs de déformation longitudinale.

Par conséquent, la macrofissure ne se propage pas précisément à partir de l'une des zones localisées que l'on observe à  $t = 100$  s,  $t = 120$  s et  $t = 140$  s, mais apparaît juste avant le pic de contrainte. L'endommagement en traction de iWPC30% n'est donc localisé qu'à la fin de l'essai, juste avant la rupture. Ce phénomène peut être dû à la répartition circulaire des fibres de bois dans la matrice PEHD au cours de la mise en œuvre des échantillons par le procédé d'injection.

### Etude de l'hétérogénéité des composites bois/PEHD (00%, 10% et 30%)

On se propose dans cette partie d'étudier le degré d'hétérogénéité en utilisant la méthode de stéréocorrélation d'images sur des éprouvettes d'iWPCf (00%, 10% et 30%). La figure 3 présente les résultats du champ de déformation à  $t = 200$  s et de la valeur moyenne et de l'écart type spatial de la déformation au cours du temps, pour le PEHD pur (iWPCf00%). On montre bien l'homogénéité de la déformation du PEHD (Fig. 3.a) puisque le champ à  $t = 200$  s varie très peu spatialement ( $0,069 < \epsilon_{yy} < 0,0722$ ), et l'écart type mesuré (barres d'erreur figure 3.b) peut-être associé à l'incertitude sur la mesure de déformation de la méthode de stéréocorrélation (moins de 0,1%).

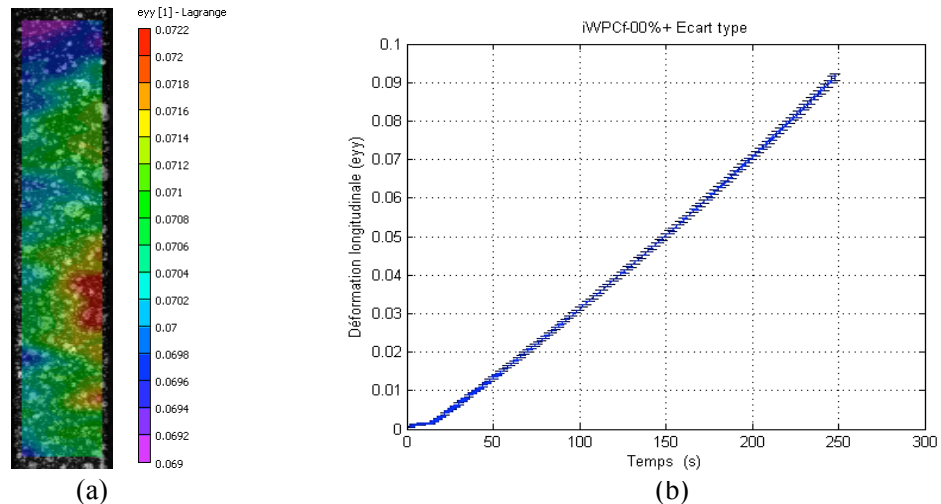


Figure 3 : (a) Champ de déformation longitudinale à  $t = 200$  s (iWPC00% = PEHD pur). (b) Evolution de la déformation longitudinale en fonction du temps.

De la même manière, on présente les résultats pour l'iWPCf10% (Fig. 4) et pour l'iWPCf30% (Fig. 5). L'observation des figures 4 et 5 montre que le degré d'hétérogénéité croît avec l'augmentation du pourcentage de bois injecté. Pour 10% de fibre de bois, la valeur de l'écart type spatial sur la déformation longitudinale est relativement importante (environ 9% de la valeur moyenne de la déformation) alors que pour 30% de fibre la valeur de l'écart type devient très importante (jusqu'à plus de 25% de la valeur moyenne de la déformation) et augmente d'autant plus que la déformation (moyenne) augmente. Cela montre que le degré d'hétérogénéité semble proportionnel au % de bois du composite mais l'endommagement est d'autant plus important que le pourcentage de bois est important.

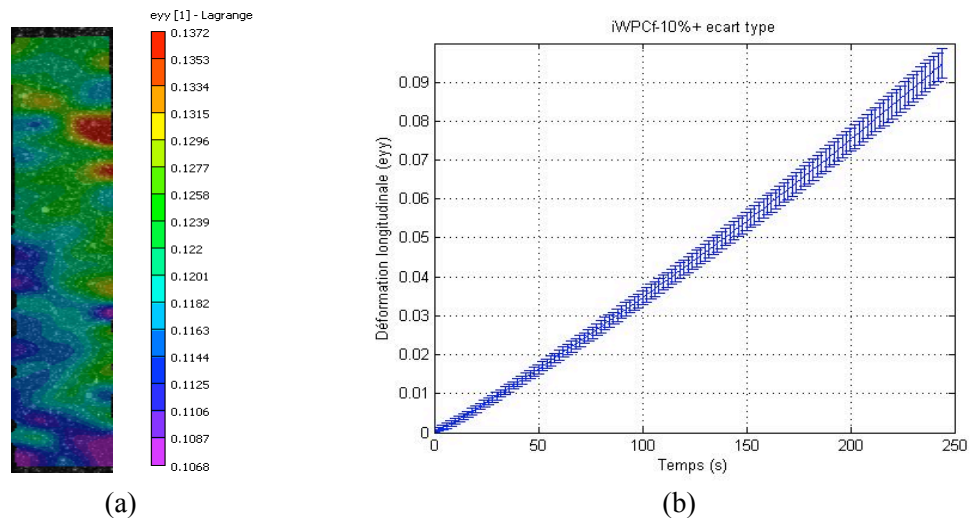


Figure 4 : (a) Champ de déformation longitudinale à  $t = 298$  s (iWPCf10%). (b) Evolution de la déformation longitudinale en fonction du temps.



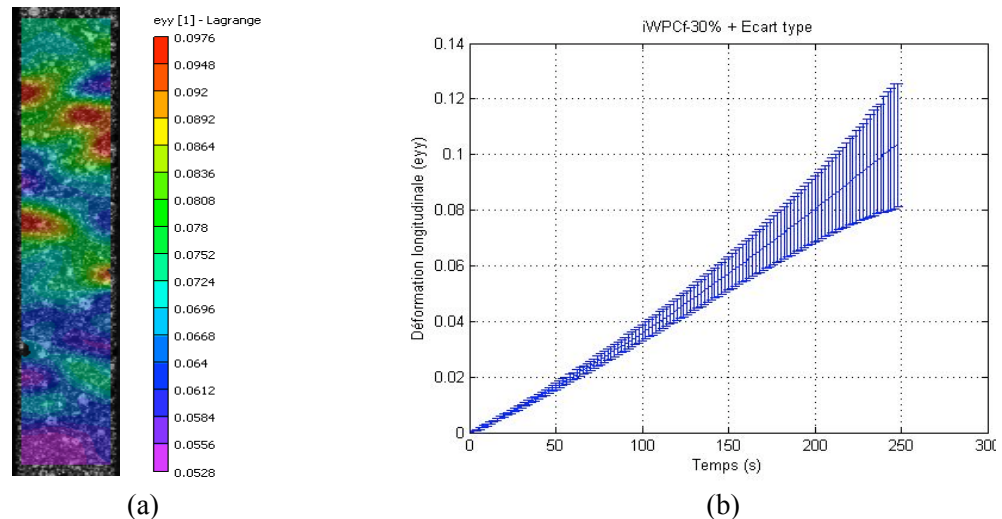


Figure 5 : (a) Champ de déformation longitudinale à  $t = 200$  s (iWPCf30%). (b) Evolution de la déformation longitudinale en fonction du temps.

## 5. Conclusion :

La méthode de mesure de champs par stéréo-corrélation d'images a été utilisée sur des éprouvettes de composite fibre de bois/PEHD avec et sans additif lors d'un essai de traction. Cette méthode nous a permis de mieux comprendre le comportement mécanique à l'endommagement de ces composites bois/PEHD. Les mesures des déformations par cette méthode donnent des résultats similaires à celles obtenues par extensométrie mécanique [4]. De plus, ces mesures de champ permettent d'observer la répartition spatiale des déformations et montrer l'hétérogénéité de la déformation lors des essais. Les perspectives sont d'effectuer des mesures par stéréo-corrélation sur des composites bois/PEHD obtenus par processus d'extrusion bois et sur des essais de flexion 4 points.

## Références :

- [1] S. Th. Georgopoulos, P.A. Tarantili, E. Avgerinos, A.G. Andreopoulos and E.G. Koukios. (2005). Thermoplastic polymers reinforced with fibrous agricultural residues *Polymer Degradation Stability*, **90** 303–312.
- [2] M. Avelle, L. Casale, R. Dell'Erba, B. Focher, E. Maeruscelli and A. Marzetti (1998). Broom fibers as reinforcing materials for polypropylene-based composites *J. Apply Polymer Science*, **68** 1077–1089.
- [3] F. Hugot. and G. Cazaurang (2008) Mechanical Properties of an Extruded Wood Plastic Composite: Analytical Modeling *Journal of Wood Chemistry and Technology* **28** 283 - 295
- [4] F. Hugot, F. Michaud and G. Cazaurang (2007) Interface behaviour of Moulded Natural Fibre Composite in *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Composite Materials (ICRACM)*, p. 361-368, New Delhi, India.
- [5] F. Michaud and F. Hugot (2007) Mechanical behaviour of Wood Plastic Composite product for decking application, *International Conference on Recent Advances in Composite Materials (ICRACM)*, New Delhi, India.
- [6] P. Rastogi (ed.) (1999) Photomechanics. Springer Verlag, iISBN 3-540-65990-0.
- [7] M. Mulle, J.N. Périé, L. Robert, F. Collombet et Y.H. Grunevald (2004) Mesures de champs par stéréocorrélation sur structures composites instrumentées par capteurs à fibre optique à réseaux de Bragg : comparaison et validation des mesures, *Instrumentation, Mesure, Métrologie* **4** 167-192.
- [8] L. Robert, F. Nazaret, T. Cutard and J.J. Orteu (2007) Use of 3-D Digital Image Correlation to characterize the mechanical behavior of a Fiber Reinforced Refractory Castable, *Experimental Mechanics*, **47** 761-773.
- [9] N. Stark and M. Berger (1997) Effect of species and particle size on properties of wood-flour-filled polypropylene composite, in *Proceedings of the Conf. Functionnal fillers for thermoplastics and thermosets*, Madison, USA.