



HAL
open science

Étude des déformations locales dans un matériau sandwich sollicité en flexion 3 et 4 points

J. Fajoui, Frédéric Jacquemin, Pascal Casari, Xavier Chapeleau, M. Drissi-Habti

► **To cite this version:**

J. Fajoui, Frédéric Jacquemin, Pascal Casari, Xavier Chapeleau, M. Drissi-Habti. Étude des déformations locales dans un matériau sandwich sollicité en flexion 3 et 4 points. 17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC17), Jun 2011, Poitiers-Futuroscope, France. pp.60. hal-00597934

HAL Id: hal-00597934

<https://hal.science/hal-00597934>

Submitted on 2 Jun 2011

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.

Étude des déformations locales dans un matériau sandwich sollicité en flexion 3 et 4 points

Study of the local strains in a sandwich material under 3 and 4-points bending tests

J. Fajoui¹, F. Jacquemin², P. Casari², X. Chapeleau¹, M. Drissi-Habti¹

1 : Jamal.Fajoui@ifsttar.fr, Xavier.Chapeleau@ifsttar.fr, Drissi@ifsttar.fr,

Département MACS, IFSTTAR-Centre de Nantes, Route de Bouaye, 44341 Bouguenais, FRANCE

2 : Pascal.Casari@univ-nantes.fr, Frederic.Jacquemin@univ-nantes.fr,

Laboratoire GeM, Université de Nantes, 37 Bd de l'Université 44600 Saint-Nazaire- France

Résumé

Dans ce travail, nous avons analysé l'évolution de la déformation de cisaillement locale (à l'échelle du micron) dans un matériau sandwich à âme PVC et peaux composites. Ce matériau est soumis à un chargement de flexion trois et quatre points. Par rapport aux mesures usuelles en surfaces [1,2], nous avons utilisé des capteurs à fibre optique, basés sur l'effet Rayleigh [3]. Cette technique a permis d'effectuer des mesures *in-situ* de la déformation au cœur de la mousse PVC et également au sein de l'interface mousse-composite. Une approche numérique basée sur la méthode des Éléments Finis est associée aux mesures expérimentales. Les simulations permettent de connaître les états mécaniques dans les zones où sont placées les fibres optiques. Ainsi, le caractère intrusif des fibres optiques est discuté.

Abstract

In this work, the evolution of the local shear strain (at micron level) inside a sandwich material, with PVC core and composite skins, is analyzed. This material was loaded under 3 and 4 points bending tests. Compared to traditionally surface measure [1, 2], optical fiber sensor, based on Rayleigh effect [3], was used. This technique allows realizing *in-situ* measurements of strain within the PVC foam core and in the foam - skin interface. A numerical approach based on Finite Elements is associated to experimental results. The simulations allow knowing the mechanical states in area where optical fibers are located. Thus, the intrusive character of optical fibers is discussed.

Mots Clés : matériau sandwich, fibre optique, déformation de cisaillement, états mécaniques locaux.

Keywords : sandwich material, optical fiber, shear strain, local mechanical states.

1. Introduction

L'objectif de ce travail est de caractériser par des capteurs à fibre optique la distribution longitudinale des déformations à cœur d'un matériau sandwich soumis à un chargement de type flexion 3 et 4 points. Par rapport aux mesures usuelles en surfaces [1, 2], il s'agit d'appliquer cette nouvelle technique de caractérisation afin d'effectuer une mesure *in situ* dans la mousse constitutive du matériau sandwich.

Une approche expérimentale est menée sur une plaque sandwich instrumentée suivant la direction longitudinale par des fibres optiques distribuées dans l'épaisseur. Des fibres rectilignes sensibles au moment de flexion et une fibre sinusoïdale sensible au cisaillement transverse sont insérées à cœur du matériau.

Les résultats expérimentaux sont confrontés à des simulations numériques basées sur la méthode des Éléments Finis. Nous avons analysé les états mécaniques mesurés par les fibres optiques. Le caractère intrusif des fibres optiques a été discuté.

2. Partie expérimentale

2.1 Présentation des fibres optiques

Les fibres optiques, utilisées dans ce travail, sont de type SMF-28, couramment utilisées dans les réseaux de télécommunication (Figure 1). Elles ont un diamètre total de 245 μm . Le diamètre du cœur optique est de 8 μm et il est entouré d'une gaine de 125 μm de diamètre. Cette gaine est revêtue d'une couche en polymère afin de garantir une tenue mécanique à la fibre optique. Les fibres ont été interrogées à l'aide d'un OBR (*Optical Backscatter Reflectometer*). Cet appareil permet d'obtenir des mesures continues des déformations dans l'axe de la fibre optique. En fait, toute la longueur de la fibre optique qui est connectée à l'OBR constitue le capteur. Ceci permet d'obtenir des mesures continues de déformation. La précision de mesure de cet instrument est de $\pm 1\mu\text{e}$ en déformation avec une résolution spatiale supérieure à 2 cm (données fabricant). La portée de mesure est d'environ 70m, pour un temps de mesure inférieur à 10s.

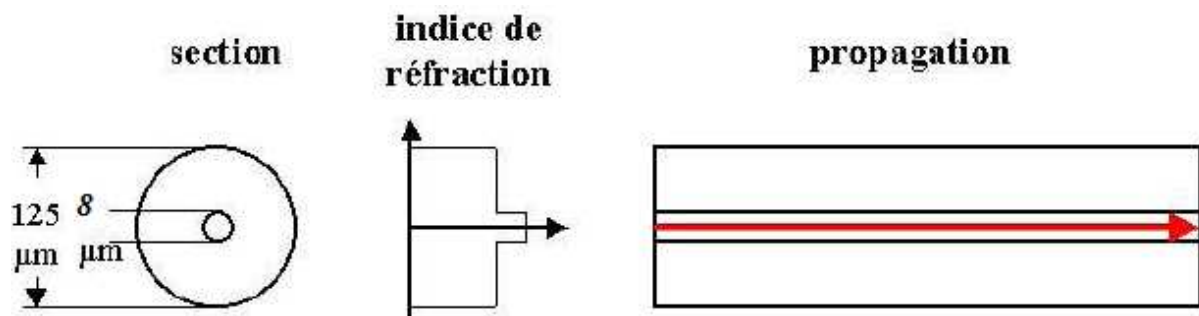


Fig.1. Fibre optique monomode

2.2 Insertion des fibres optiques

Nous avons constitué un échantillon test à partir de deux morceaux de mousse PVC AIREX C70 200kg/m³ de dimensions 800x125x48mm³. Les propriétés mécaniques de cette mousse sont données dans le Tableau 1. Dans un premier temps, nous avons collé trois fibres optiques avec une colle époxy bi-composants au cœur de la partie centrale de la mousse PVC (Figure 2.a et 2.b). Deux d'entre elles sont disposées rectilignement, à 3mm du bord de la mousse tandis que la troisième parcourt un trajet sinusoïdal de part et d'autre de la fibre neutre. Ce trajet comporte 6 périodes d'environ 126 mm de longueur et la fibre optique croise la fibre neutre avec une pente de 45°. La fibre optique sinusoïdale suit le trajet suivant (Figure 3) :

$$y(x) = 20 \sin\left(\frac{x}{20}\right) \quad (1)$$

Dans un deuxième temps, nous avons collé le deuxième morceau de la mousse PVC sur le premier (Figure 2.c). Enfin, les peaux composites (carbone/époxy), de 1 mm d'épaisseur, ont été collées (Figure 2.d).

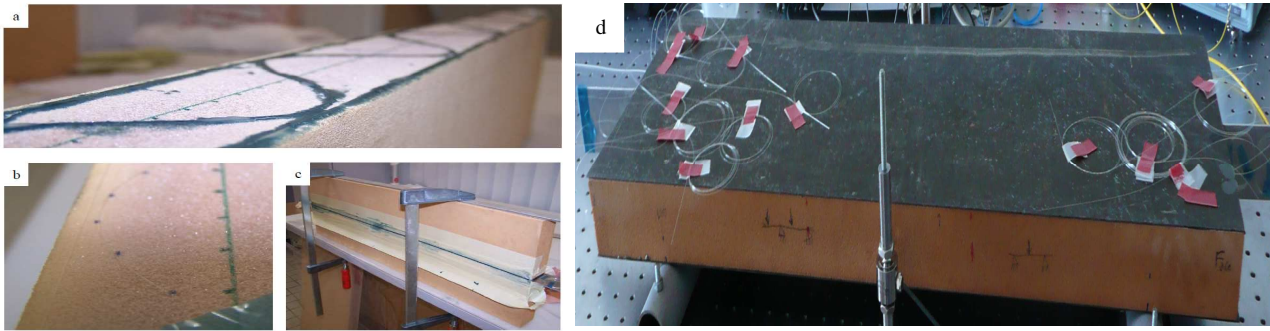


Fig. 2. Insertion des fibres optiques dans le cœur en PVC (a, b et c) et entre les âmes et le cœur (d et e)

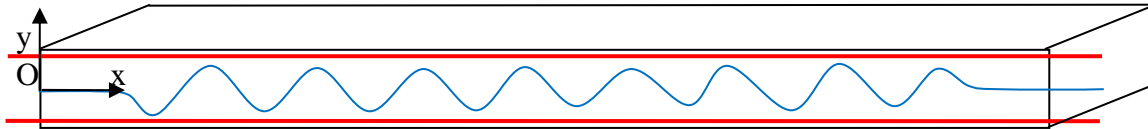


Fig. 3. Trajets des fibres optiques dans le PVC

E (MPa)	ν	G (MPa)	α (K ⁻¹)
175	0,4	70	4387 10 ⁻⁸

Tab. 1. Propriétés mécaniques du PVC [1]

3. Essais mécaniques

L'éprouvette a ensuite été soumise à un chargement statique en flexion 3 et 4 points (Figure 4). La distance entre les points d'appui est de 600 mm. La force a été contrôlée par des capteurs mécaniques extensométriques. Pour les deux types de flexion, la force appliquée est de -200 N pour le PVC seul et de -600 N pour le sandwich.



Fig. 4. Essai de flexion statique à trois et quatre points

4. Modélisation

Dans cette partie, nous présentons le modèle numérique permettant de simuler la déformation longitudinale et de cisaillement d'une plaque de mousse PVC (de dimensions 800x125x48mm³) et d'une plaque sandwich (de dimensions 800x125x50mm³) soumis à plusieurs essais de flexion. Dans nos simulations, nous n'avons pas tenu compte des perturbations générées par les fibres optiques sur le champ de déformation dans le matériau.

Nous avons construit un modèle, à l'aide du logiciel Comsol®, en deux dimensions (déformation plane), avec un maillage, d'éléments triangulaires, suffisamment petit pour assurer des résultats corrects. Comsol® permet de suivre l'évolution de la déformation longitudinale (ϵ_{xx}) de notre structure. Ainsi, nous pouvons comparer ϵ_{xx} avec les déformations fournies par les fibres optiques rectilignes (Figure 3). Par contre, la fibre optique de forme sinusoïdale ne mesure pas en permanence la déformation longitudinale ϵ_{xx} . Donc, pour exploiter la déformation de la fibre optique, nous avons analysé la déformation dans la direction tangente à la courbe sinusoïdale (déformation de cisaillement : ϵ_t). Cette déformation est définie par :

$$\epsilon_t = n^T \cdot \epsilon \cdot n \tag{2}$$

avec :

$$\mathbf{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{yx} & 0 \\ \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ tenseur de déformation,} \quad (3)$$

$$\mathbf{n} = \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \\ 0 \end{pmatrix}, \text{ vecteur tangent à la courbe sinusoïdale (Figure 5).}$$

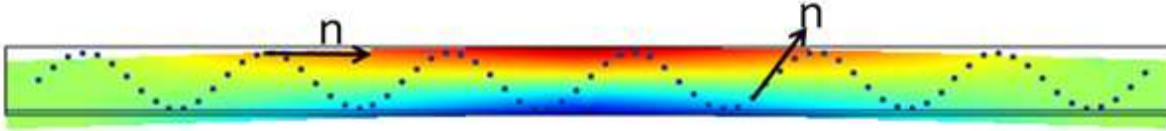


Fig. 5. Schématisation du vecteur tangent le long de la courbe sinusoïdale

Les valeurs n_x et n_y sont calculées à partir de l'équation (1) qui donne le trajet de la courbe.

Par définition, la pente de la tangente d'une courbe quelconque est donnée par :

$$\frac{\partial y(x)}{\partial x} = \cos\left(\frac{x}{20}\right) \quad (4)$$

Alors :

$$\mathbf{n}_x = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial y(x)}{\partial x}\right)^2}} \text{ et } \mathbf{n}_y = \frac{\frac{\partial y(x)}{\partial x}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial y(x)}{\partial x}\right)^2}} \quad (5)$$

En développant les équations (2)-(3), nous trouvons l'expression de la déformation tangentielle (donnée par la fibre optique sinusoïdale) suivante :

$$\varepsilon_t = n_x^2 \varepsilon_{xx} + 2n_x n_y \varepsilon_{xy} + n_y^2 \varepsilon_{yy} \quad (6)$$

5. Comparaison simulations - expériences

La Figure 6 présente une comparaison entre les résultats expérimentaux et les simulations pour les fibres optiques droites, insérées dans le PVC, dans le cas de la flexion 3 points. Nous constatons un bon accord entre les deux résultats. Nous remarquons également, dans le cas du PVC seul (Figure 6.a), que les déformations longitudinales (ε_{xx}) évoluent linéairement et atteignent 2000 μdef (traction pour la fibre du bas) et -2000 μdef (compression pour la fibre du haut). Lorsque nous avons chargé le sandwich avec une force trois fois plus importante que celle appliquée sur le PVC seul, les déformations longitudinales (ε_{xx}) atteignent alors $\pm 600 \mu\text{def}$ (Figure 6.b). Sur la Figure 6.b, il y a un saut de déformations au point d'appui qui est dû à l'effet Hertz (mécanique du contact).

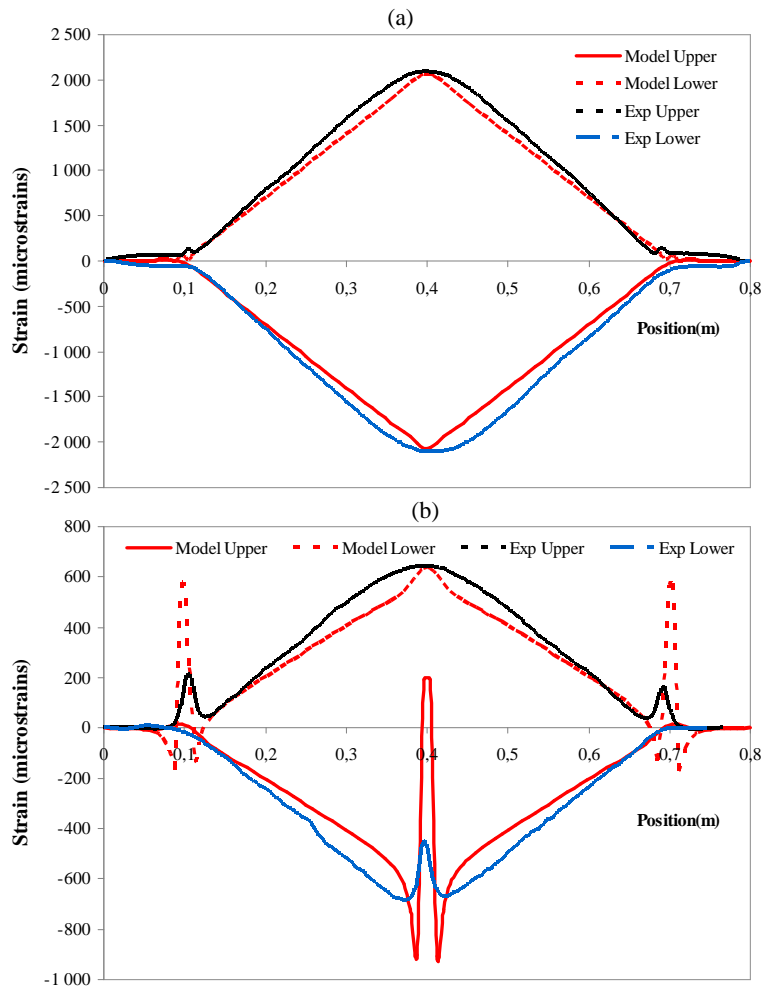


Fig. 6. Flexion trois points : comparaison des déformations mesurées et calculées pour les fibres optiques droites dans le PVC seul (a) et dans le sandwich (b)

En ce qui concerne la fibre optique possédant un parcours sinusoïdal par rapport à la ligne neutre, la Figure 7 montre des écarts significatifs entre les déformations mesurées et calculées. Bien que la forme de l'évolution de la déformation soit correctement restituée par la fibre optique, elle ne fournit pas la bonne amplitude de déformation. Une explication de cette différence peut venir du fait que le modèle numérique ne prend pas en compte la présence de la fibre optique, en particulier la rigidité de la fibre optique (74 GPa) qui est très supérieure à celle de l'âme de l'éprouvette (0,175 GPa). Il apparaît donc que l'hypothèse de faible intrusivité de la fibre optique dans le matériau ne peut pas être employée pour la fibre optique parcourant un trajet pour lequel les gradients de déformations sont assez importants. Nous observons également que les peaux amortissent les déformations longitudinales et augmentent les déformations de cisaillement.

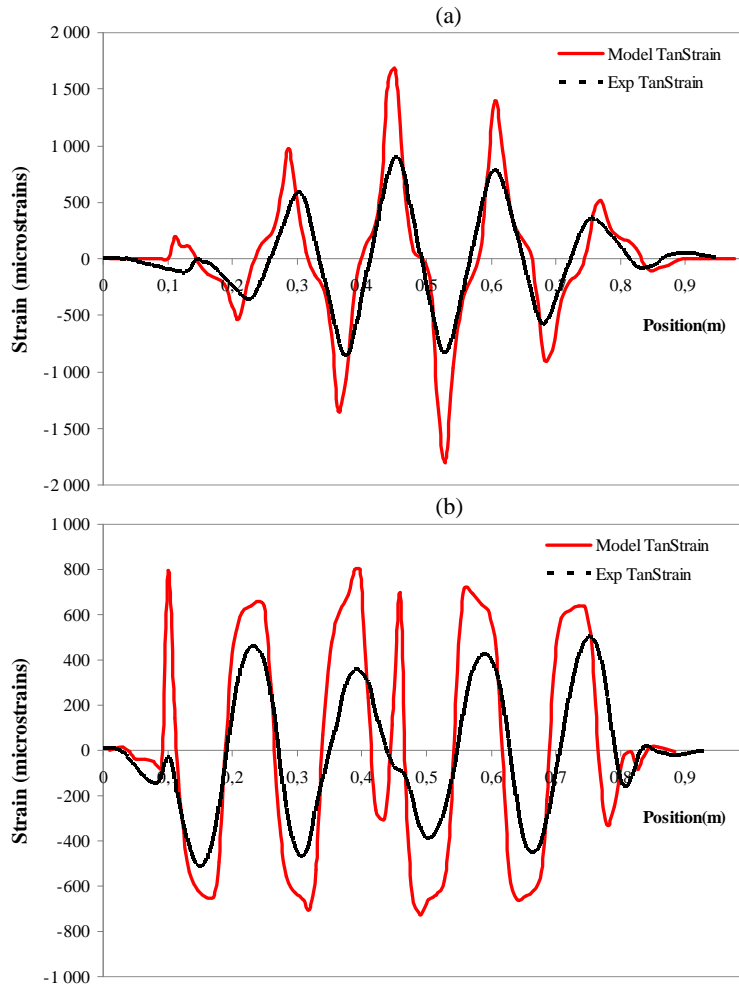


Fig. 7. Flexion trois points : comparaison des déformations mesurées et calculées pour la fibre optique sinusoïdale dans le PVC seul (a) et dans le sandwich (b)

Les Figures 8 et 9 présentent les courbes numériques et expérimentales pour les trois fibres optiques insérées au cœur de la mousse PVC des éprouvettes PVC et sandwich soumises à un chargement de flexion 4 points.

Dans le cas des fibres rectilignes (Figure 8), nous obtenons un bon accord entre les simulations et les expériences. Les déformations longitudinales atteignent $\pm 600 \mu\text{def}$ (Figure 8.a) pour le PVC seul chargée avec une force de -200 N et $\pm 450 \mu\text{def}$ pour le matériau sandwich sous un chargement de -600 N . Pour la fibre sinusoïdale (Figure 9), nous retrouvons les différences observées sur la Figure 7. Notons que le cisaillement engendré par les peaux est très marquant. Dans le cas du PVC seul (Figure 9.a), la déformation tangentielle est contrôlée par la déformation longitudinale (ϵ_{xx}). Par contre, dans le cas du sandwich (Figure 9.b), la déformation ϵ_t est pilotée par la déformation de cisaillement (ϵ_{xy}).

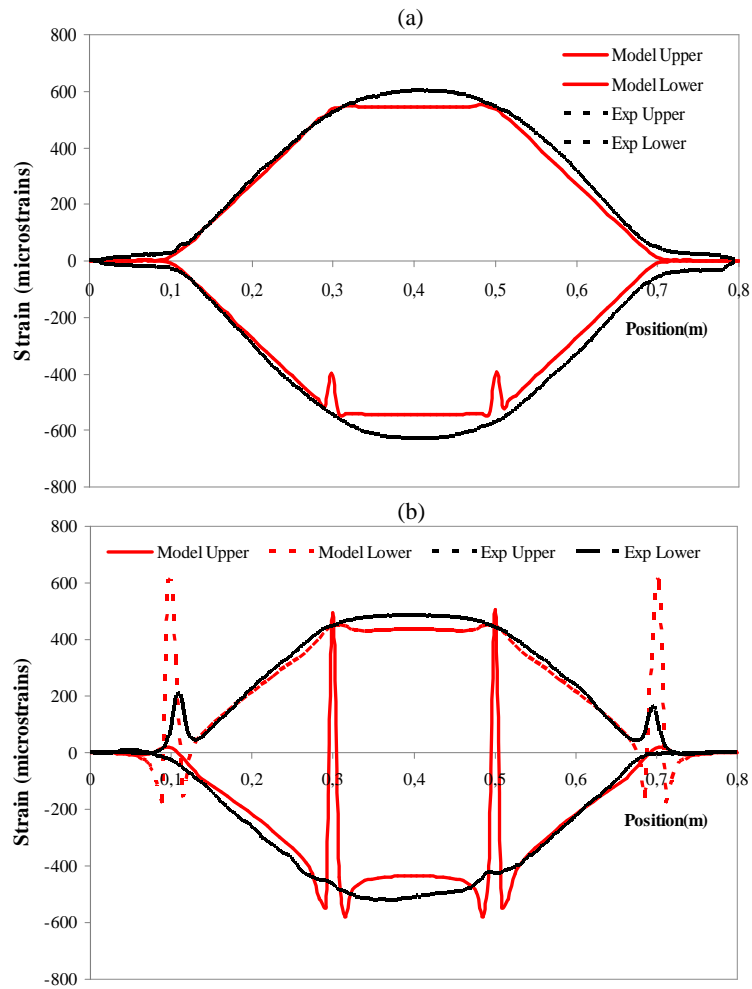


Fig. 9. Flexion quatre points : comparaison des déformations mesurées et calculées pour les fibres optiques droites dans le PVC seul (a) et dans le sandwich (b)

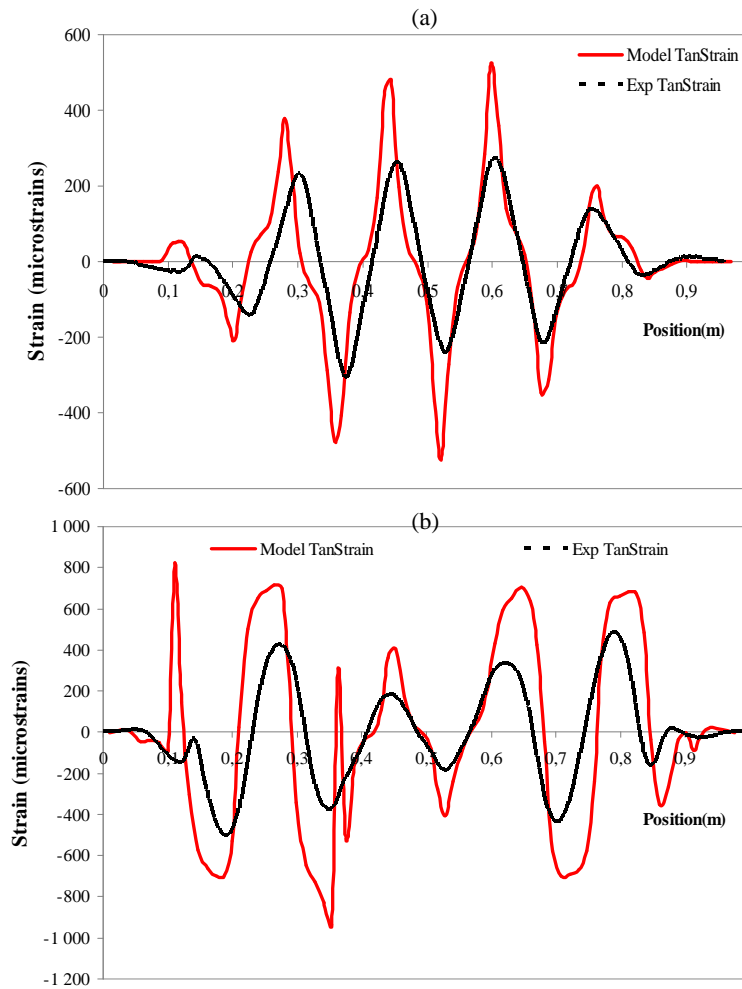


Fig. 10. Flexion quatre points : comparaison des déformations mesurées et calculées pour la fibre optique sinusoïdale dans le PVC seul (a) et dans le sandwich (b)

6. Conclusions

Dans ce travail, nous avons analysé les déformations, de cisaillement et longitudinales, locales dans une mousse PVC et dans un matériau sandwich à âme PVC et peaux composites sous chargement de flexion 3 et 4 points. Nous avons démontré la faisabilité d'insérer des capteurs à fibre optique dans un matériau composite comportant une mousse PVC et la possibilité de réaliser des mesures continues de déformations à l'aide de l'OBR sur des structures de dimension de l'ordre du mètre, avec une bonne précision. Enfin, les résultats mettent en lumière que dans certains cas, l'hypothèse de faible intrusivité de la fibre optique ne peut s'appliquer alors que très souvent, elle est utilisée de façon abusive. Les résultats présentés ici seront complétés par d'autres études, visant à analyser les effets de contacts sur le comportement des sandwichs et les phénomènes de délaminage.

Références

- [1] C. FERREIRA, F. JACQUEMIN, P. CASARI, « Measurement of the Non-uniform Thermal Expansion Coefficient of a PVC Foam Core by Speckle Interferometry - Influence on the Mechanical Behavior of Sandwich Structures ». *Journal of Cellular Plastics*; vol. 42: pp. 393 - 404, 9 2006.
- [2] P. CASARI, F. JACQUEMIN AND A. PERRONNET. « Effect of the forming process of the foam core on the mechanical properties of a Curved sandwich beam ». *ICSS8 - International Conference on Sandwich Structures*, Porto, 2008.
- [3] P. FERDINAND, « Réseaux de capteurs à fibres optiques – Applications », *Techniques de l'Ingénieur*, Référence R461, 2008.
- [4] X. CHAPELEAU, M. DRISSI-HABTI, T. TOMONORI, « Health Monitoring », *Materials Evaluation*, vol. 68, n°4, 2010.
- [5] P. DAVIES, P. CASARI & L.A. CARLSSON, « Mechanical testing of foam cores for sandwich structures », *Proc. ICSS 6 – International Conference on Sandwich Structures*, Lauderdale, Florida (US), 2003.