HAL
open science

Identification à l'aide de capteurs optiques à réseaux de Bragg des coefficients de dilatation hygroscopiques d'un composite à matrice organique

H. Ramezani Dana, Pascal Casari, Cyril Lupi, Annick Perronnet, Sylvain Fréour, Frédéric Jacquemin

To cite this version:

H. Ramezani Dana, Pascal Casari, Cyril Lupi, Annick Perronnet, Sylvain Fréour, et al.. Identification à l'aide de capteurs optiques à réseaux de Bragg des coefficients de dilatation hygroscopiques d'un composite à matrice organique. Journées de la section ouest de la SF2M, 2012, Saint-Nazaire, France. hal-01008266

HAL Id: hal-01008266

https://hal.science/hal-01008266v1

Submitted on 1 Jul 2018

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.

IDENTIFICATION A L'AIDE DE CAPTEURS OPTIQUES A RESEAUX DE BRAGG DES COEFFICIENTS DE DILATATION HYGROSCOPIQUE D'UN COMPOSITE A MATRICE ORGANIQUE

Hossein RAMEZANI DANA[(1)], Pascal CASARI[(1)], Cyril LUPI[(1)],

Annick PERRONNET[(1)], Sylvain FREOUR[(1)], Frédéric JACQUEMIN[(1)]

(1) *Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (UMR CNRS 6183),*
LUNAM Université - Université de Nantes - Centrale Nantes
CRTT, 37 Boulevard de l'Université, BP 406, 44602 Saint-Nazaire cedex, France

Résumé

Cette étude porte sur l'identification des coefficients de dilatation hygroscopique de matériaux composites au moyen d'une nouvelle technique de mesure. Celle-ci repose sur l'insertion de capteurs optiques à réseaux de Bragg au cœur de la structure composite. Cette méthode est dédiée à la mesure de la déformation hygroscopique induite par la diffusion d'humidité dans un composite. L'évolution de la déformation, due à l'absorption d'humidité, a été représentée en fonction de la teneur en eau, afin de caractériser le coefficient de dilatation hygroscopique.

Mots clefs : matériau composite, vieillissement humide, capteurs à réseaux de Bragg.

1. Introduction

L'utilisation des matériaux composites à matrice organique est aujourd'hui en forte croissance dans de nombreux domaines, notamment, le domaine du génie civil. Le développement et l'utilisation de ces matériaux composites restent conditionnés par leur durabilité. La prévision de la durée de vie mais aussi des performances en service de ces matériaux nécessite la détermination des contraintes hygroscopiques générées par les conditions environnementales. Dans le composite verre/polyester, qui a été employé dans cette étude, la matrice absorbe une quantité significative d'eau, contrairement à la fibre de renfort. Ceci entraîne une hétérogénéité de déformation locale, entre la matrice et la fibre. Il en résulte des contraintes internes notamment à l'interface fibre/matrice pouvant provoquer un endommagement du composite [1]. La détermination des champs de déformations internes constitue dans ce contexte une information capitale. Il s'avère que les capteurs optiques à réseau de Bragg (FBG) sont adaptés à la mesure des déformations au cœur de structures composites [2]. Récemment, différents auteurs ont employé les capteurs optiques à réseau de Bragg afin de caractériser la diffusion d'humidité au cœur des composites unidirectionnels [3]. Dans cette étude, nous avons caractérisé les coefficients de dilatation hygroscopique de composites organiques à l'aide des capteurs optiques à réseaux de Bragg positionnés parallèlement et perpendiculairement au sens des fibres de renforts.

2. Méthode de mesure

Le principe de fonctionnement des réseaux de Bragg a déjà été présenté dans la littérature [4]. Les capteurs optiques à réseaux de Bragg sont sensibles à la température T, à l'allongement $\varepsilon=\Delta L/L$ dans l'axe du guide et à la pression hydrostatique ΔP, selon :

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = a\Delta T + b\varepsilon + c\Delta P \quad (1)$$

avec a, b et c, des coefficients dépendant des caractéristiques de la fibre optique et des paramètres du procédé d'inscription du réseau. Les éprouvettes composites à matrice organique, instrumentées par capteur optique, soumises aux environnements humides, ont une forte capacité à absorber l'humidité [5]. Cette absorption induit un gonflement qualifié gonflement hygroscopique. Si les éprouvettes ont été instrumentées par capteur optique, le gonflement hygroscopique entraîne un allongement axial du réseau de Bragg. Ceci se traduit par un décalage de la longueur d'onde du réseau de Bragg inscrit sur la fibre optique. $\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = b\varepsilon$

3. Matériau, et procédure expérimentale

3.1. Matériau et instrumentation

Le composite utilisé dans cette étude se compose de fibres de verre de type E et d'une résine polyester ortho-phtalique qui polymérise à température ambiante. Les fibres optiques utilisées sont des fibres monomodes ordinaires. Ce type de fibre optique se compose d'un cœur de 9 µm de diamètre, entouré d'une gaine optique de 125 µm et l'ensemble est protégé par une gaine de protection en acrylate de 250 µm. Les éprouvettes composites ont été fabriquées à l'aide de la technique d'infusion de résine sous vide, sous la forme de plaques de section transversale 90x1,3 mm^2. Le capteur optique à réseau de Bragg est inséré entre deux plaques collées à l'aide de résine polyester. Cette architecture nous permet d'obtenir des échantillons instrumentés de dimension finale 90x90x3 mm^3. Nous avons utilisé l'analyse dimensionnelle afin de déterminer la fraction volumique de fibres des éprouvettes instrumentées. Le principe de cette méthode a déjà été présenté en détail dans l'article [6]. Le taux de fibre obtenu par cette méthode pour les échantillons élaborés est de 17 %, 21 % et 22 %, respectivement.

3.2. Procédure de vieillissement hygroscopique

La plaque composite instrumentée par le capteur optique a été installée entre deux supports plastiques et ensuite immergée. Les signatures des spectres ont été enregistrées avant et après immersion afin de vérifier l'influence de l'absorption d'humidité sur la plaque composite à l'instant de l'immersion. Le suivi gravimétrique a été effectuée sur les éprouvettes non instrumentées afin de suivre les cinétiques d'absorption d'humidité et de déterminer la capacité maximale d'absorption d'humidité qui sera la même pour les échantillons instrumentés.

4. Résultats et discussion

4.1 Analyse expérimentale

Les mesures du déplacement du pic de Bragg après immersion nous permettent de déduire l'évolution de la déformation hygroscopique. La figure 1(a) représente cette évolution en fonction de la racine carrée du temps pour trois éprouvettes composites instrumentées par fibre optique perpendiculairement à la direction des renforts et contenant des taux de fibre compris entre 17 % et 22 %. Nous pouvons définir trois étapes sur les graphes obtenus. La première étape représente la déformation induite pendant le premier jour, celle-ci est très faible pour deux échantillons. Par contre, l'échantillon contenant 21 % de fibre de verre présente un comportement différent. En effet, cet échantillon a été sorti après immersion dans l'eau afin de vérifier les caractéristiques optiques concernant le capteur intégré, puis il a été de nouveau immergé, ce qui conduit à un écart de la durée de vieillissement pour cet échantillon par rapport aux autres. Au cours de la deuxième étape, on constate un comportement linéaire de la déformation sur plusieurs mois. Dans cette étape, l'influence du taux de fibre est perceptible. Enfin, dans une dernière étape, on constate un palier pour les trois échantillons, ce qui correspond~~re~~ à la saturation en eau des éprouvettes instrumentées. Malheureusement, la variation de la température ambiante pendant la durée du vieillissement a perturbé la mesure de déformation. Nous avons transposé cette variation de la température sur la figure 1(a). Nous pouvons constater un écart de température

de presque 6°C sur la courbe, ce qui influe sur le décalage de la longueur d'onde de Bragg. Cette influence est plus visible sur la troisième partie de la courbe de déformation en fonction du temps, où les échantillons sont saturés et la déformation devrait être quasiment constante. A titre d'exemple, la déformation mesurée par le capteur optique pour l'échantillon contenant 17 % de fibres est égale à 4595 µdef à 31°C. Cette valeur diminue à 3802 µdef à 25°C. Sachant que notre échantillon a été vieilli et que nous sommes toujours à pression constante, cette variation de déformation correspond à l'effet de la température (1). Dans le paragraphe 4.2, nous présenterons les déformations d'origine hygroscopique et thermique séparément.

La figure 1(b) représente la déformation en fonction de la teneur en eau pour les éprouvettes composites instrumentées par capteur optique perpendiculairement à la direction de renforts. Nous pouvons constater que la déformation est quasiment nulle au début. Ensuite, nous voyons une évolution linéaire de la déformation jusqu'à ce qu'un palier vertical indiquant la saturation de l'échantillon soit atteint. La teneur en eau mesurée est une valeur moyenne sur le volume total de l'échantillon alors que la déformation est estimée au cœur de l'éprouvette composite où le capteur optique a été positionné. Ceci explique que la déformation continue d'augmenter alors que la teneur en eau a quasiment atteint sa valeur de saturation. D'autre part, nous avons vu que la température influe sur les mesures de déformation, il est donc nécessaire d'estimer cette influence avant d'analyser plus précisément la figure 1(b).

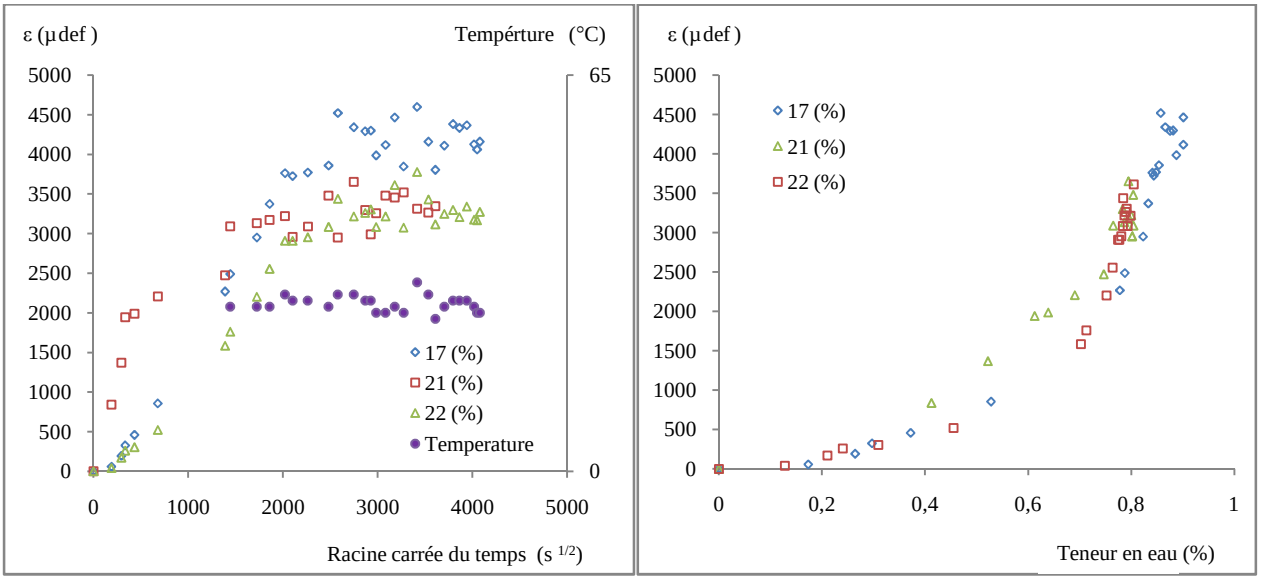

Figure 1 : Evolution de la déformation en fonction de la racine carrée du temps(a) et de la teneur en eau (b) pour les éprouvettes instrumentées dans la direction perpendiculaire au renfort.

4.2. Analyse expérimentale découplée

Nous avons montré que la fluctuation de température a une influence significative sur les mesures effectuées. Il est donc nécessaire de découpler les grandeurs qui peuvent provoquer des variations dans l'information délivrée. L'étape décrite ci-dessous concerne un essai qui concerne uniquement la variation de température. Cet essai nous permettra de déduire la déformation purement hygroscopique par la suite.

4.2.1 Effet des variations thermiques

Le déplacement du pic de Bragg avec la température est représenté sur la figure 2. Pour effectuer ces mesures, nous avons augmenté la température de l'eau dans le récipient contenant les échantillons instrumentés.

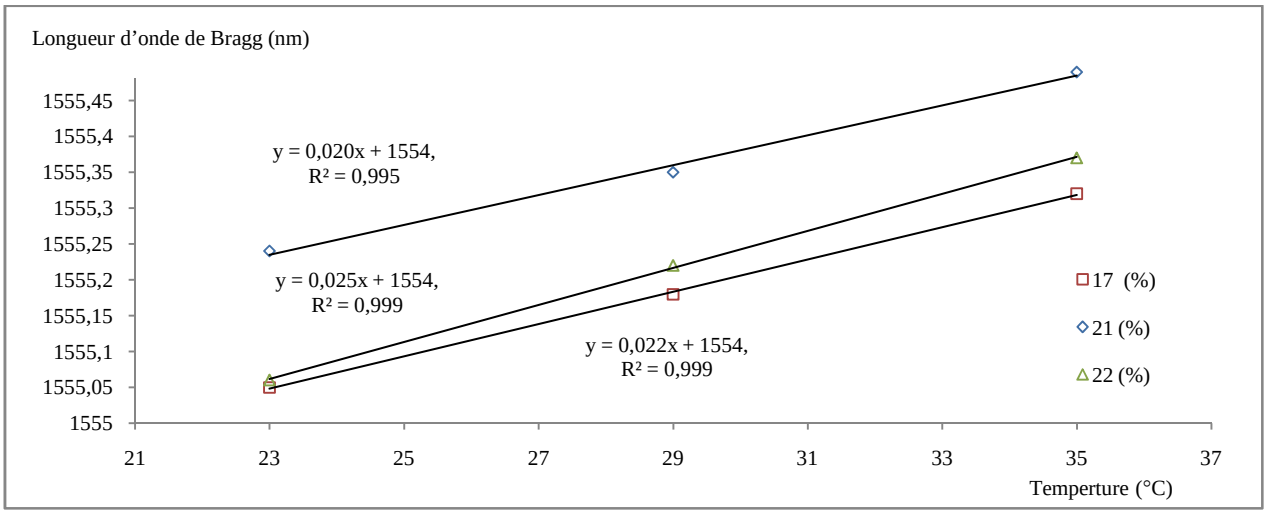

Figure 2 : Déplacement du pic de Bragg avec la température.

Ceci a été fait à l'aide d'un thermostat et la température a été enregistrée à l'aide d'un thermocouple. Afin de mesurer la variation de la température au cœur des éprouvettes immergées, nous avons introduit le thermocouple entre deux plaques composites du même profilé que les échantillons instrumentés. Sur la figure 2, nous pouvons constater que la réponse du capteur en fonction de la température est linéaire sur une gamme allant de 23 à 35°C. Nous pouvons constater, sur la figure 2, une pente similaire pour les trois composites dans cette direction.

4.2.2 Découplage des effets thermique et hygroscopique

A partir de cette pente, nous pouvons corriger l'effet de la température sur les déformations déduites des mesures de $\Delta\lambda$. La figure 3(a) représente la déformation avant et après correction en fonction de la racine carrée du temps de l'éprouvette contenant 22 % de fibres de verre. Globalement, la déformation mesurée diminue en éliminant cet effet. Les déformations corrigées des trois types de composites ont été tracées en fonction de la teneur en eau (figure 3(b)).

Nous pouvons constater une linéarité plus importante pour les trois courbes notamment sur le palier vertical de saturation par rapport à l'état initial (avant correction). Par contre, la déformation de l'éprouvette à 17 % de renforts reste perturbée après correction de l'effet de température. Sachant que cette perturbation apparaît à l'état saturé, évolution consécutive de la déformation est probablement associée à un défaut de la microstructure, nous pensons à une fissuration. Une étude micrographique a été prévue sur cet échantillon après l'essai de vieillissement afin de lever ce doute.

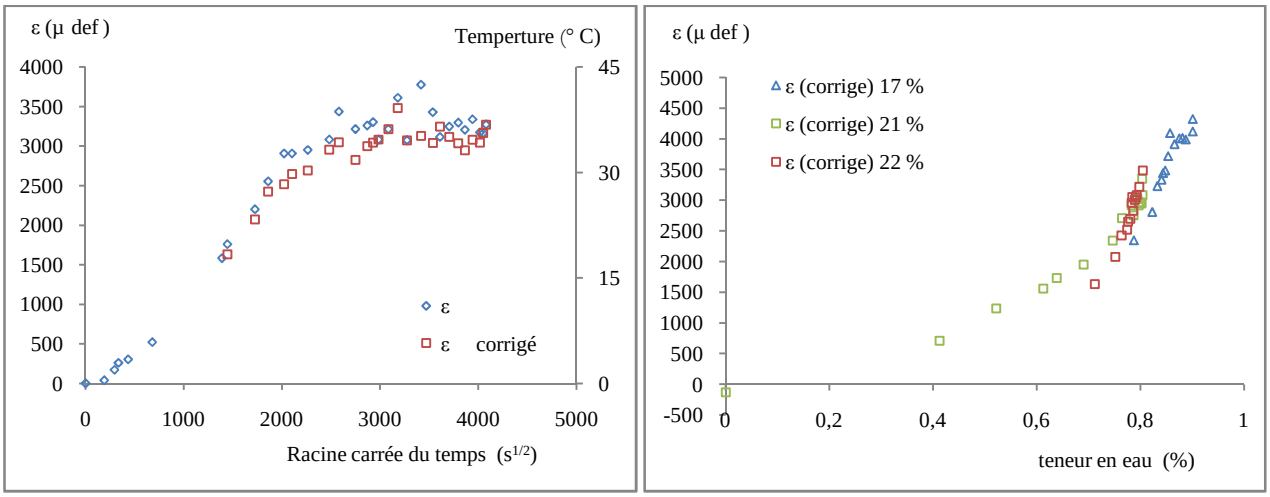

Figure 3 : Evolution de la déformation en eau en fonction du temps (a) et de la teneur en eau (b).

La courbe de la déformation hygroscopique en fonction de la teneur en eau nous permet de déterminer également le coefficient de dilatation hygroscopique de ces échantillons. Les valeurs précises de ces coefficients sont regroupées dans le Tableau 1.

Vf(%)	ΔM(%)	$\Delta\varepsilon_{11}$ (µ def)	$\Delta\ \varepsilon_{22}$ (µ def)	β_{11}	β_{22}
17 %	**0,85**	**0,00018**	**0,0040**	**0,022**	**0,472**
21 %	**0,79**	**0,00033**	**0,0031**	**0,042**	**0,397**
22 %	**0,78**	**0,00020**	**0,0031**	**0,026**	**0,397**

Tableau 1 : coefficients de dilatation hygroscopique des éprouvettes élaborées.

5. Conclusion

Dans ce travail, nous avons caractérisé les coefficients de dilatation hygroscopique de composites verre-polyester. Dans ce but, nous avons employé la technique de mesure basée sur l'utilisation de capteur optique. Cette technique nous permet de déterminer des caractéristiques à cœur des échantillons élaborés notamment la déformation hygroscopique et le coefficient d'expansion associé. Nous avons découplé, à l'aide d'une technique de mesure, la déformation hygroscopique et la déformation thermique, ce qui nous permet également de déterminer le coefficient de dilatation hygroscopiques des éprouvettes élaborées.

Références

[1] Weitsman Y.J., Fatigue of composite materials, New York: Elsevier ; 1991.
[2] Botsis J., Humbert L., Giaccari P., Embedded fiber Bragg grating sensor for internal strain measurements in polymeric materials, Optics and lasers in engineering, 43, 491–510, 2005.
[3] Karalekas D., Cugnoni J., Botsis J., Monitoring of hygrothermal ageing effects in an epoxy resin using FBG sensor: A methodological study, Composites science and technology, 69, 507–514, 2009.
[4] Ferdinand P., Capteurs à fibres optiques à réseaux de Bragg, Techniques de l'Ingénieur, R 6 735-1, 1999.
[5] Shen C.H., Springer G.S., Moisture absorption and desoption of composite materials, J.Composite Materials, 10, 2-20, 1976.
[6] Ramezani Dana H, Perronnet A, Fréour S, Casari P, Jacquemin F., Identification des paramètres de diffusion d'humidité des matériaux composites à matrices organiques, Comptes Rendus des JNC 17, Poitiers 2011.