

Partie 11 :

Les capteurs de type réseaux de Bragg dans les composites

Introduction

Des études récentes ont montré que les réseaux de Bragg fibrés (Fibre Bragg Gratingen anglais ou FBG) sont bien adaptés pour étudier le comportement mécanique des composites [1]. Un réseau de Bragg fibré est un petit segment de fibre optique dont le cœur de silice dopé au germanium présente une modulation périodique et permanente de l'indice de réfraction. Un FBG agit comme un miroir sélectif en longueur d'onde, réfléchissant une longueur d'onde particulière (Fig. 1), appelée longueur d'onde de Bragg (λ_B).

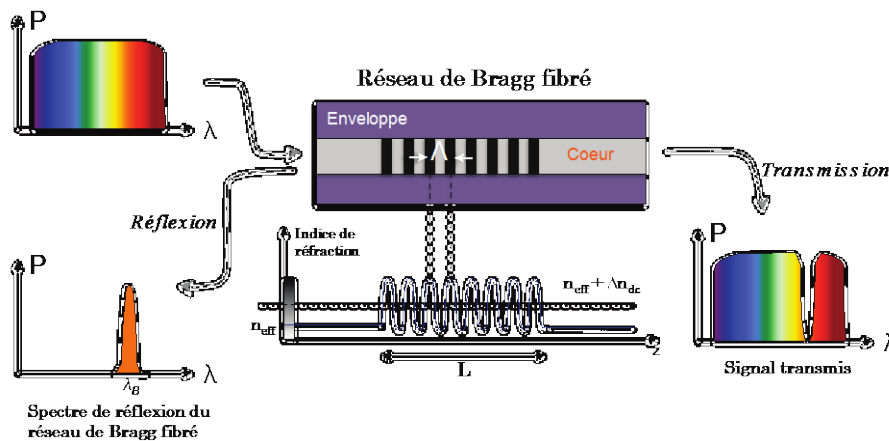


Figure 1 - Réseau de Bragg fibré et les effets spectraux

Cette longueur d'onde de Bragg est proportionnelle au « pas » (Λ) et à l'indice effectif du cœur de la fibre (n_{eff}). Ainsi, toute modification de ces paramètres déplace proportionnellement la longueur d'onde de Bragg.

De facto, le suivi de ses déplacements spectraux permet de remonter aux paramètres inducteurs, comme la température ou les déformations subies localement par la fibre (Fig. 2).

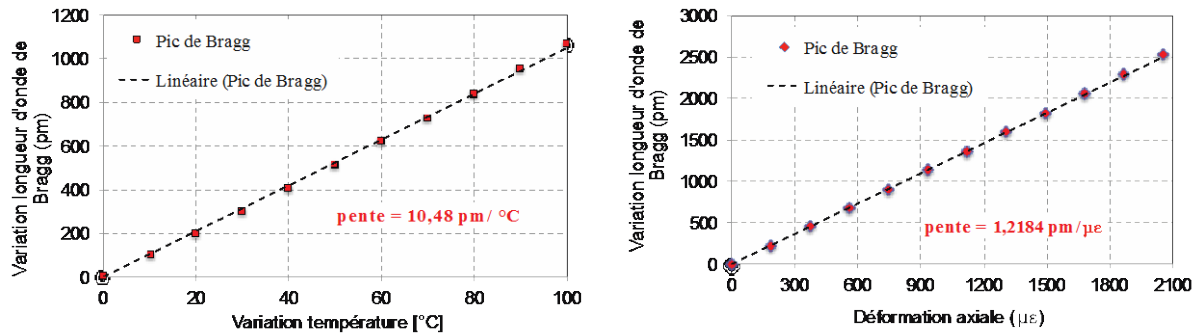


Figure 2 – A gauche : Modification de la longueur d'onde de Bragg en fonction de la température. A droite : Modification de la longueur d'onde de Bragg en fonction de la déformation [2]

Naturellement, l'utilisation des capteurs à réseaux de Bragg repose sur l'emploi d'une instrumentation de mesure dédiée, portable, intégrée, fondé sur une analyse spectrale fine.

Servant à la fois de renforts et de jauges encastrées soumises à un champ de déformation non uniforme, ils conduisent, par exemple, à une mesure directe et non perturbatrice des forces. Leur emploi semble également prometteur pour l'étude systématique de l'interface fibre/matrice et la détection de l'endommagement dans les composites.

L'avantage majeur du capteur à réseau de Bragg fibré réside dans le fait que l'information détectée est codée directement dans une longueur d'onde, qui est un paramètre absolu. La sortie ne dépend pas du niveau de lumière totale; les pertes dans les fibres de liaison ou des coupleurs optiques ou des fluctuations de puissance de la source optique n'ont pas d'influence. C'est un aspect important quand on envisage des mesures de terrain sur le long terme. En outre, le codage de l'information en longueur d'onde facilite également le multiplexage des capteurs [3]. Cela permet la distribution de plusieurs sections de capteurs sur une seule fibre optique, en attribuant à chaque capteur à une portion différente du spectre de la source de lumière disponible (Fig. 3).

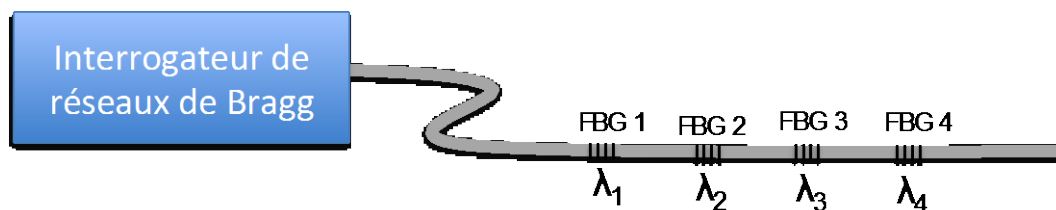


Figure 3 - Multiplexage en longueur d'onde de capteurs à réseaux de Bragg fibrés

Intégration des FBGs dans les matériaux composites

Dans le cadre des structures utilisant des matériaux composites, il est souvent nécessaire de mesurer les propriétés mécaniques à différents endroits de la structure. Placer un capteur à chaque point d'intérêt pose rapidement un problème d'encombrement et de câblage (Fig. 4).

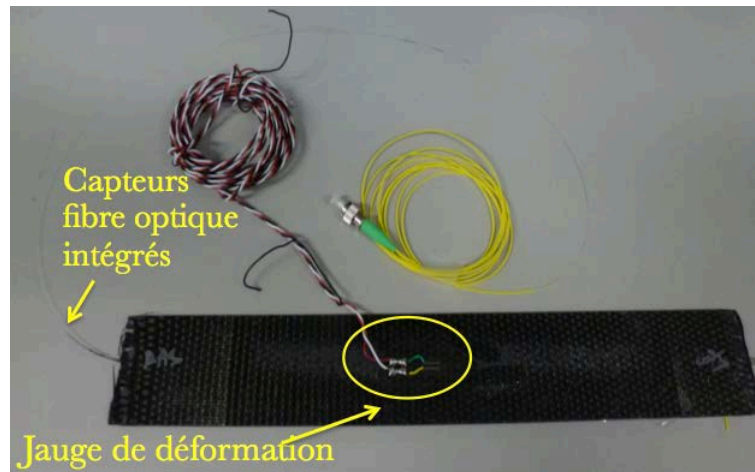


Figure 4– Comparaison entre une jauge de déformation et une fibre optique contenant plusieurs réseaux de Bragg [2]

Dès lors, il convient de s'orienter vers des systèmes de mesure distribués ou quasi-distribués. Ceux-ci consistent à faire passer une seule fibre optique par l'ensemble des points de mesure et à utiliser un seul élément interrogateur à son extrémité. Lorsque nous mesurons un paramètre extérieur continûment le long de la fibre, nous parlons de mesure distribuée tandis que le terme « quasi-distribué » est utilisé lorsque les points de mesure sont discrètement répartis le long de la fibre. L'intégration de capteurs à réseaux de Bragg fibrés dans les matériaux composites, bien que cela s'applique également à d'autres matériaux, a pour objectif d'obtenir un moyen de surveillance de l'état des structures (Structural Health Monitoring ou SHM en anglais). Cela permet de prévoir les défaillances et de réduire les coûts de maintenance tout en garantissant le même niveau de sécurité.

La fibre optique est de très petite taille (diamètre extérieure de 125 à 250 μm), très légère et à géométrie variable. En raison de sa nature, c'est une fibre de verre continue et minuscule, elle est, en principe, parfaitement adaptée pour être incorporée dans des matériaux composites renforcés de fibres sans influence négative importante sur les propriétés mécaniques de ces derniers. La figure 5 présente quelques étapes du processus de fabrication d'échantillons composites en fibres de carbone, par la méthode de stratification avec imprégnation manuelle avec, durant la stratification, le placement d'un capteur à fibre optique entre deux couches de tissus.

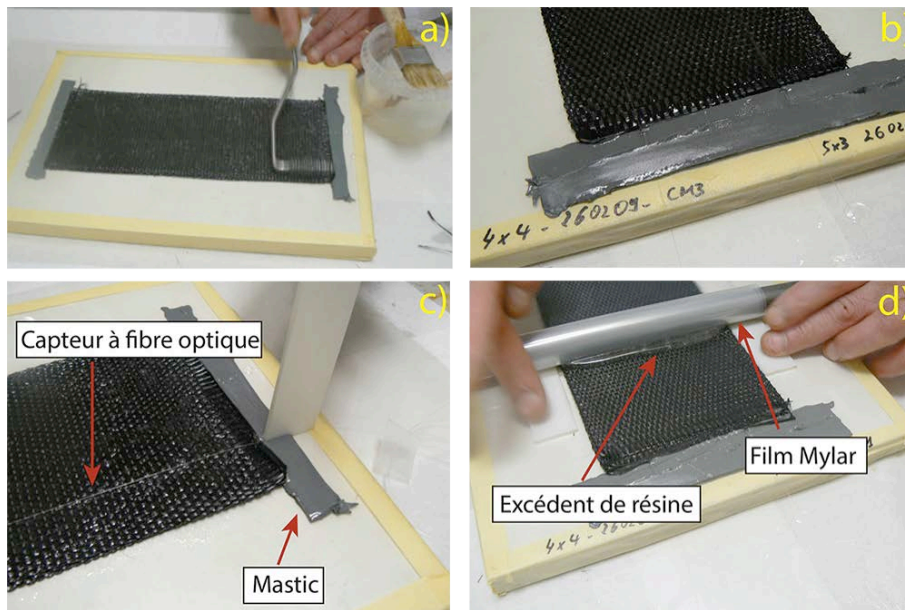


Figure 5 - Les différentes étapes de préparation de l'échantillon composite. a) Passage du rouleau ébulleur ; b) Vue entre deux couches de tissus ; c) Placement du capteur à fibre optique ; d) Placement du film de Mylar [2]

Cependant, un certain nombre de conditions doivent être remplies lors que l'on évoque l'utilisation de la fibre optique en tant que capteur avec les matériaux de construction [4].

La fibre optique, de part sa nature, est extrêmement fragile (principalement à la courbure), ce qui la rend difficile à manipuler. L'intégration et la connexion nécessitent la plus grande prudence.

Par contre, la fibre optique peut résister à des températures et des pressions élevées; deux caractéristiques importantes de plusieurs procédés de fabrication des matériaux composites. En outre, elle est (ou peut être à l'aide d'un conditionnement adéquat) relativement insensible à la corrosion et à la fatigue.

La fibre optique étant un composant diélectrique passif, elle peut être utilisée de manière sûre sans risque d'étincelles de plus, elle ne réalise pas un conducteur électrique sur ou dans la structure. Ce peut être important pour les applications aéronautiques et spatiales où les risques de décharge électrique comme la foudre exigent l'élimination des chemins conducteurs. Son signal est fortement immunisé contre les interférences électromagnétiques, il n'est pas nécessaire d'ajouter un blindage coûteux et encombrant dans les endroits où il existe un rayonnement électromagnétique (par exemple les centrales électriques). La fibre optique peut avoir la fonction de capteur et être porteuse de signaux. En outre, le développement d'applications de capteurs bénéficie des progrès dans les télécommunications et l'optoélectronique, ce qui conduit à l'amélioration continue des composants et à la diminution des coûts.

L'application d'une fibre optique comme capteur peut couvrir une très large gamme de paramètres à mesurer allant de la déformation mécanique à la pression, la température, l'humidité, la corrosion, la concentration de gaz...

Le système de détection complet doit être robuste et doit avoir une conception tout-fibre afin de minimiser les perturbations de la matière hôte et de donner un signal stable. Il est également préférable de privilégier l'utilisation d'une seule fibre optique avec un seul accès afin de faciliter le raccordement et l'installation. Le capteur doit réaliser des mesures absolues, de sorte que le contrôle soit insensible à des interruptions temporaires de connexions ou de mesures. Le capteur doit, de préférence, mesurer en un point ou dans une petite zone, et le signal doit être directement et linéairement lié à la déformation. La possibilité de multiplexer les capteurs est souhaitable de manière à surveiller plusieurs zones critiques de la structure en même temps. Le capteur doit également être suffisamment sensible et doit fournir des mesures reproductibles, avec une plage dynamique suffisante. Enfin, le capteur doit être adapté pour une production de masse et cela pour un coût réduit.

Une solution d'avenir

La surveillance de l'état des structures (Structural Health Monitoring ou SHM en anglais) permet de prévoir les défaillances et de réduire les coûts de maintenance tout en garantissant le même niveau de sécurité. L'intégration de capteurs à réseaux de Bragg fibrés dans les matériaux composites semble être une solution d'avenir ou tout du moins complémentaire à ce qui existe déjà sur le marché.

La figure 6 schématise le cycle de vie d'une structure composite (de la fabrication à la mise en charge) dans laquelle des capteurs à fibres optiques sont intégrés afin de suivre l'évolution des déformations et des contraintes au sein même de la pièce

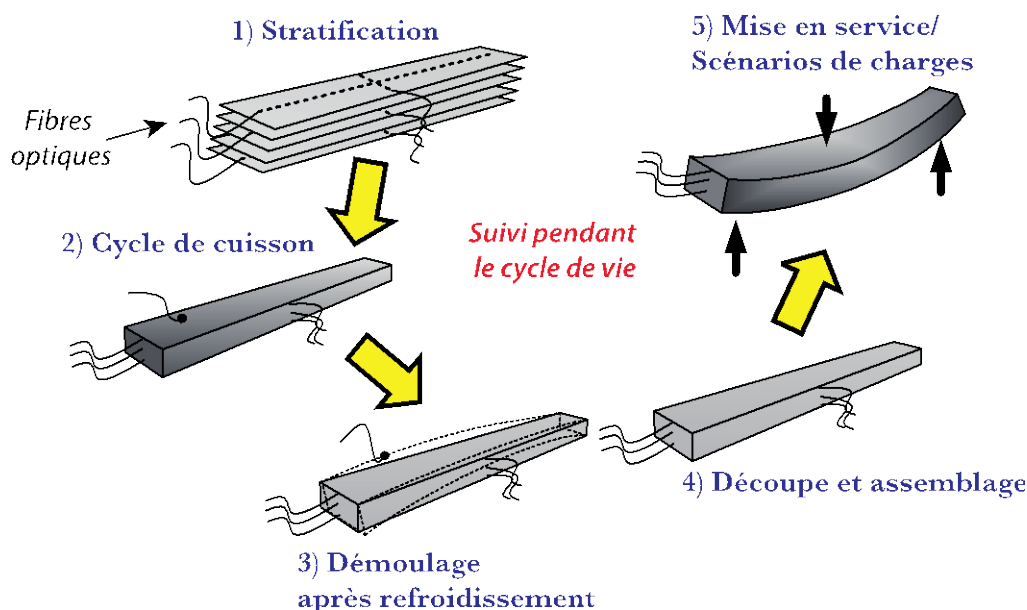


Figure 6 - Représentation schématique de la surveillance du cycle de vie d'une structure composite à l'aide de capteurs à fibres optiques intégrés où les déformations internes sont suivies de la fabrication à la mise en service des pièces [5].

La figure 7 met en avant la partie 2 (Cycle de cuisson) de la figure 24. Elle montre l'évolution d'une caractéristique du réseau de Bragg (la perte dépendant de la polarisation [6]). A partir de celle-ci, il est possible de suivre l'évolution des différentes étapes de la fabrication du composite, de constater que la polymérisation est complète et d'essayer d'autres cycles de cuisson afin de réduire les contraintes résiduelles.

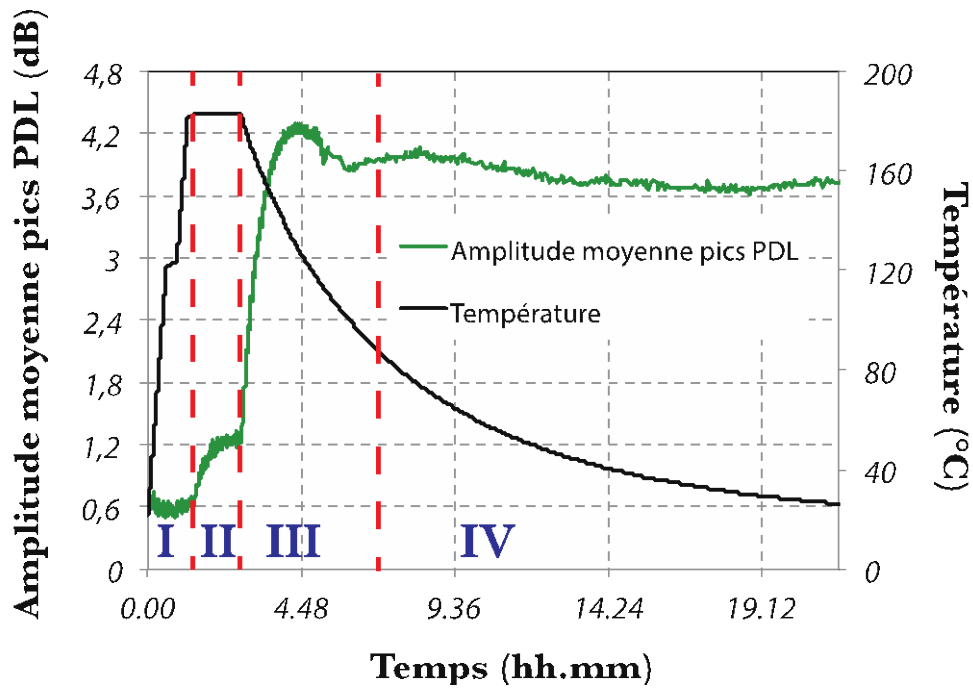


Figure 7 - Zone « I » : l'amplitude moyenne des pics de PDL reste constante, il s'agit de la période avant le « Plateau à 180 °C ». La zone « II » : une légère augmentation de l'amplitude est visible. Cela correspond au début de la phase « Plateau à 180 °C » pendant laquelle la matrice commence à polymériser et à se contracter (retrait chimique dû à la réticulation). Cette première augmentation se stabilise à la fin de la phase « Plateau à 180 °C », ce qui indique que la résine est complètement polymérisée. La zone « III » : l'amplitude moyenne des pics de PDL augmente fortement. Cela correspond au début de la phase de refroidissement. Les coefficients de dilatation thermique (CTE) de la matrice et des renforts carbone étant très différents, ce refroidissement génère des déformations thermiques qui sont à l'origine de la formation des contraintes résiduelles au sein du composite. Ceci se traduit, au niveau de notre capteur de Bragg fibré, par un élargissement suivi d'une scission de son pic de transmission ainsi qu'une augmentation de l'amplitude des pics de sa PDL associée. Enfin, nous avons la zone « IV » : l'amplitude des pics de la PDL se stabilise autour d'une valeur moyenne durant la phase de refroidissement alors que des déformations thermiques sont toujours en cours [2]

La figure 8 schématise la partie 5 (Mise en service) de la figure 24. Elle présente deux exemples de déformation qu'une structure composite pourrait subir. Dix capteurs FBGs inscrits dans une seule fibre optique ont été intégrés dans cette pièce afin d'obtenir une valeur de la déformation à différents endroits.

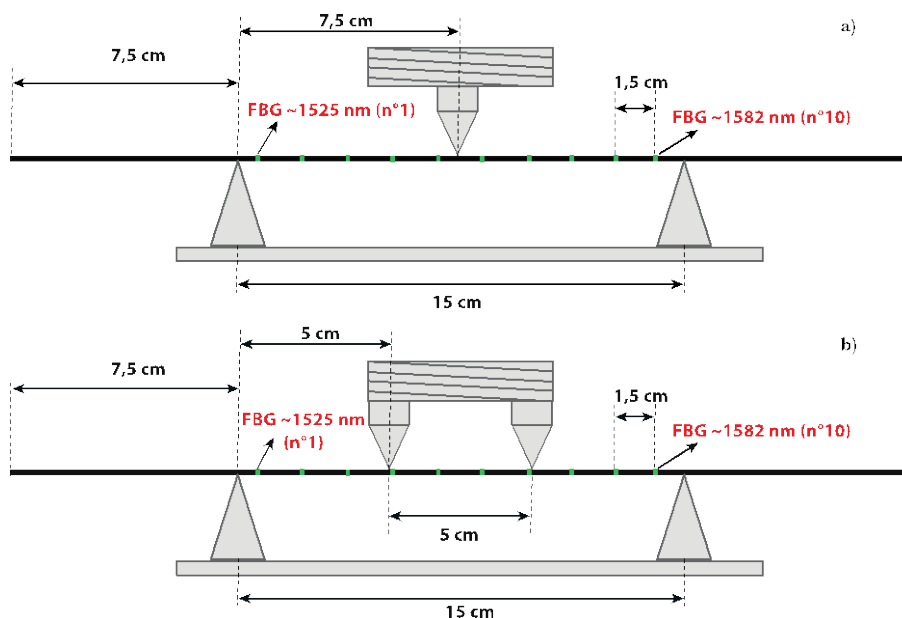


Figure 8– Schématisation du test de flexion a) 3-points et b) 4-points avec le positionnement des capteurs intégrés dans le composite par rapport aux points de support [2]

La figure 9 valide l'utilisation des capteurs à réseaux de Bragg pour la mesure des déformations au sein des structures composites.

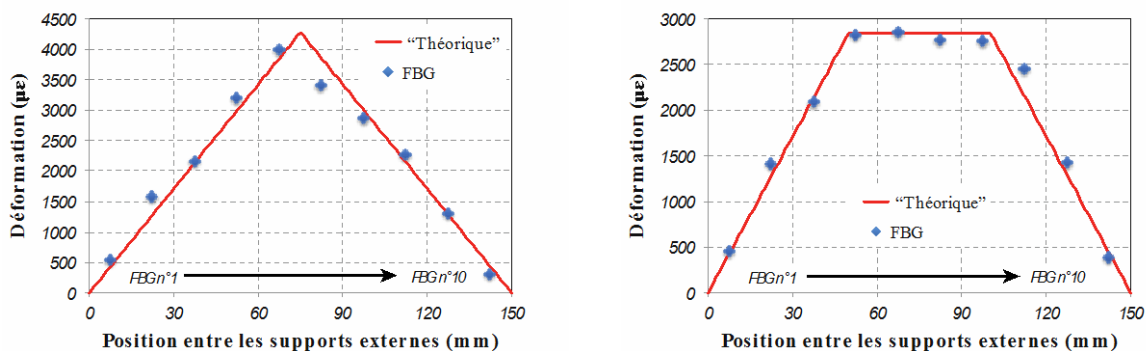


Figure 9 – A gauche : Comparaison entre la déformation mesurée par les FBGs et simulée dans le cas d'une flexion « 3-points » sous une charge de 633 N. A droite : Comparaison entre la déformation mesurée par les FBGs et simulée dans le cas d'une flexion « 4-points » sous une charge de 633 N [2]

Références

- [1] Y. Zhan, L. Li, F. Yang, K. Gu, H. Wu, and M. Yu (2010) : An all-fibre multi-parameter sensor for composite structures based on a chirped fibre Bragg grating. *Opto-Electronics Review*, Vol. 21 n° 3, pp. 283–287.
- [2] D. Kinet (2014) : Utilisation de capteurs à réseaux de Bragg fibrés pour le suivi de matériaux composites pendant et après la fabrication, Thèse de Doctorat 2014
- [3] Kersey, A. (1995): Interrogation and Multiplexing Techniques for fiber Bragg grating strain-sensors. Conference for quality control, inspection and non-destructive techniques in the Benelux, 19 pp..
- [4] Sirkis, JS (1998): Using bragg grating sensor systems in construction materials and bridges : perspectives and challenges. Proceedings of an int. workshop on Fiber Optic Sensors for Construction Materials and Bridges, pp. 44-61.
- [5] M.W. Nielsen, J.W. Schmidt, J.H. Høgh, J.P. Waldbjørn, J.H. Hattel, T.L. Andersen, and C.M. Markussen (2014) : Life cycle strain monitoring in glass fibre reinforced polymer laminates using embedded fibre Bragg grating sensors from manufacturing to failure. *Journal of Composite Materials*, Vol 48(3), pp. 365–381.
- [6] C. Caucheteur, S. Bette, R. Garcia-Olcina, M. Wuilpart, S. Sales, J. Capmany, and P. Mégret (2007) : Transverse strain measurements using the birefringence effect in fiber Bragg gratings. *Photonics Technology Letters, IEEE*, 19(13) :966–968.

Copyright of +Composites consortium partners