Utilisation de capteurs à réseaux de Bragg fibrés pour le suivi de matériaux composites pendant et après la fabrication

Damien KINET

Service d'Electromagnétisme et de Télécommunications, Boulevard Dolez 31, 7000 Mons, Belgium

Les matériaux composites sont, par définition, un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles avec des propriétés que les composants seuls ne possèdent pas. Sur la base de cette définition, le torchis est un matériau composite au même titre que le bois (fibre de cellulose dans une matrice de lignine). C'est dans les années 60 que l'utilisation industrielle des matériaux composites pour le milieu aéronautique a réellement pris son envol. Aujourd'hui, les gros porteurs sont fabriqués à plus de 50 % de ce type de matériaux. Depuis les années 70, il y a une réelle volonté de réduire notre consommation énergétique et, par conséquent, les émissions de gaz à effet de serre en allégeant la structure des pièces mécaniques. Cela est rendu possible en remplaçant certaines parties métalliques par des matériaux composites, tout en garantissant l'intégrité mécanique du produit final. Cependant, le comportement des matériaux composites sous chargement étant différent de celui des métaux, il est indispensable d'obtenir des informations alertant d'une cassure soudaine. Dans ce contexte, l'utilisation de jauges de déformation à résistance électrique s'avère nécessaire. Malgré une grande sensibilité et un traitement aisé des résultats, l'encombrement du câblage électrique inhérent à ce type de capteur et les difficultés d'intégration pour une utilisation *in situ* font que des solutions alternatives ont été recherchées. Une de celles-ci est le capteur à réseau de Bragg fibré (FBG). En effet, son caractère fibré, comme les renforts du matériau composite, sa robustesse, sa haute résistance mécanique, sa légèreté, ses dimensions réduites, son immunité aux interférences électromagnétiques, sa possibilité d'être multiplexé, etc. font de ce composant un élément de premier choix.

Cette thèse est le fruit d'une collaboration intense entre le Service d'Electromagnétisme et de Télécommunications et les centres de recherche Multitel et Sirris.

Un réseau de Bragg fibré uniforme est une modification périodique et permanente de l'indice de réfraction du cœur de la fibre optique agissant comme un filtre sélectif en longueur d'onde provenant du couplage du mode de cœur propagatif vers le mode de cœur contra-propagatif, à une longueur d'onde bien précise portant le nom de longueur d'onde de Bragg. Durant cette thèse, nous avons voulu suivre le cycle de vie du matériau composite, depuis la fabrication de la pièce jusqu'à son utilisation en nous basant sur l'évolution de la longueur d'onde de Bragg de capteurs intégrés dans ce type de matériau. Cependant, cette dernière étant sensible à la température et aux déformations, différentes architectures seront nécessaires pour découpler ces phénomènes lors de l'utilisation des pièces après fabrication.

La phase de gélification de la matrice est un moment important lors de la fabrication du matériau composite. En effet, c'est à cet instant que la résine passe d'une phase liquide à une phase caoutchouteuse et marque le début des contraintes induites. Une méthode de mesure basée sur les pertes dépendantes de la polarisation dans les réseaux de Bragg a permis de mettre en évidence cette phase de polymérisation alors qu'une méthode classique du suivi des FBGs basée sur l'évolution du spectre d'amplitude ne détectera la présence de contraintes que bien plus tard dans le processus de cuisson, réduisant ainsi la possibilité d'une intervention humaine pour diminuer ces contraintes résiduelles.

Durant la phase de mise en charge des échantillons, en plus des mesures classiques de flexion 3 et 4-points des éprouvettes avec des répartitions des capteurs à réseaux de Bragg fibrés suivant l'épaisseur et suivant la longueur des échantillons composites, différentes techniques de discrimination « Température-déformation » ont été confrontées. Enfin, une technique d'interrogation, développée en interne lors d'une précédente thèse, basée sur la réflectométrie dans le domaine fréquentiel, a été testée. Elle présente le grand avantage de pouvoir utiliser des réseaux inscrits à la même longueur d'onde. Cette technique permet de déplacer la difficulté liée à la fabrication de capteurs à des longueurs d'onde différentes que nécessitent les systèmes d'interrogation dits « classiques », vers le traitement des données de mesure.

Enfin, l'industrialisation des capteurs à fibre optique pour la surveillance de la bonne « santé » structurale des matériaux ne pourra se faire sans résoudre le problème de la connectique. L'assemblage des pièces composites après fabrication passe généralement par une découpe de celles-ci. Le cahier des charges d'un connecteur à fibre optique a été établi. Après fabrication, ce nouveau connecteur a été testé sous différentes sollicitations afin de valider sa robustesse.