

Utilisation des fibres optiques en tant que capteurs : principe et applications.

Les fibres optiques permettent une analyse précise et fiable des milieux dans lesquels elles sont placées. Elles se révèlent être d'excellents capteurs lorsqu'une évolution de l'homogénéité survient dans le milieu. Ainsi, l'étude des interactions entre la fibre et le milieu est cohérente avec le thème de l'année.

Les fibres optiques sont très répandues dans les télécommunications. Cependant, de nombreuses techniques ont été développées afin d'utiliser les fibres comme capteurs. J'ai donc trouvé intéressant d'étudier cette facette plus originale des fibres optiques, moins connue pour l'instant mais qui risque de connaître un essor conséquent dans les prochaines années.

Professeur encadrant du candidat :

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

Positionnement thématique (phase 2)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Fibres optiques</i>	<i>Optical Fibers</i>
<i>Capteurs</i>	<i>Sensors</i>
<i>Rétrodiffusion</i>	<i>Backscatter</i>
<i>NeubroscopeTM</i>	<i>NeubroscopeTM</i>
<i>Réseaux de Bragg</i>	<i>Fiber Bragg Grating</i>

Bibliographie commentée

Les fibres optiques ont été créées pour transmettre des informations sous forme d'ondes électromagnétiques. En effet, leurs nombreux avantages, tels la faible atténuation des signaux, le faible encombrement et la résistance aux hautes températures permettent une transmission sur plusieurs milliers de kilomètres. Cependant, depuis quelques années, les fibres connaissent un nouvel essor : elles sont utilisées en tant que capteurs pour mesurer des déformations dues à des variations de contrainte et/ou de température. Ceci est exploité dans l'aéronautique, l'énergie, les transports, les télécommunications [1], [2].

En effet, l'étude des informations portées par les ondes réfléchies, transmises, diffusées dans la fibre

permet de récupérer des renseignements sur le milieu extérieur : les perturbations thermiques et mécaniques modifient les chemins optiques parcourus par les ondes lumineuses. On peut alors détecter ces modifications par observation d'interférences. Par ailleurs, des rétrodiffusions provenant de réflexions dues aux inhomogénéités de l'indice du cœur de la fibre permettent aussi de remonter à des variations de température ou d'élongation.

Les fibres optiques qui fonctionnent en tant que capteurs peuvent être munies de réseaux de Bragg ou être utilisées telles quelles.

Un réseau de Bragg correspond à une alternance des indices de réfraction au sein de la fibre, sur une portion de cette dernière [3], [4], [5].

Le principe des réseaux de Bragg s'appuie sur l'étude de la longueur d'onde de Bragg, une longueur d'onde sélectionnée par interférences constructives en réflexion. Elle est intrinsèque au réseau. Quand la fibre est déformée, sa longueur d'onde de Bragg varie en conséquence, variation qui peut être mesurée [6].

Une fois les fibres collées sur un matériau, l'étude des signaux réfléchis par les réseaux de Bragg permet l'analyse des déformations que la fibre subit, les déformations étant aussi celles exercées sur le matériau. Une application des réseaux de Bragg est la surveillance de canalisations de gaz. Celles-ci sont calorifugées et enterrées, de telle sorte que dans des conditions normales, le réseau de Bragg d'une fibre optique collée sur la canalisation mesure la température ambiante, c'est-à-dire celle du sol. En cas de fuite de gaz, la fibre détectera une anomalie dans les variations de la température du sol, consécutive à la température plus élevée du gaz qui s'échappe. On obtient alors une alerte indiquant l'existence de la fuite [1].

Cependant, un réseau de Bragg n'est pas nécessaire pour effectuer des mesures de température grâce à la fibre optique. Par exemple, dans des barrages ou dans des digues, l'étude est effectuée sur des distances de l'ordre du kilomètre et il est plus pratique d'utiliser une fibre optique simple plutôt qu'une fibre munie de réseaux de Bragg, principalement pour une question de coût. Les mesures de température et de déformation sont alors basées sur l'analyse des rétrodiffusions (Brillouin, Rayleigh ou Raman) variant dans la fibre à la suite d'une interaction entre l'onde et le cœur de la fibre. Ainsi, si les caractéristiques du milieu dans lequel est plongée la fibre varient, ces variations se répercuteront sur les matériaux qui la constituent et on sera à même de détecter ces modifications en étudiant les décalages de fréquence des ondes rétrodiffusées [5], [7].

Toutefois, quelle que soit la méthode employée, température et déformation sont deux paramètres extrêmement liés qu'il faut savoir décorrélérer lors de l'élaboration du protocole de mesure ou de l'exploitation des résultats. Par exemple, les rétrodiffusions induites dans la fibre ne sont pas toutes sensibles aux deux paramètres. Ainsi, la rétrodiffusion de Raman est sensible à la température seulement tandis que la rétrodiffusion de Brillouin est sensible à la fois à la température et à la contrainte mécanique.

Pour conclure, la fibre optique est un moyen d'analyser son environnement et de nombreuses

techniques permettent d'effectuer des mesures plus précises de phénomènes physiques.

Problématique retenue

Au regard de l'importance du contrôle dans le bâtiment et les travaux publics, quelle peut être l'efficacité des fibres optiques utilisées en tant que capteurs de température ?

Objectifs du TIPE du candidat

- Étudier théoriquement et expérimentalement les fibres optiques et leurs caractéristiques intrinsèques.
- Comprendre le phénomène de rétrodiffusion.
- Utiliser le neubroscope (appareil de mesure des ondes rétrodiffusées).
- Valider l'utilisation d'une fibre optique en tant que capteur de température par une expérience de laboratoire simulant une digue ou un barrage.

Objectifs du TIPE du second membre du groupe

- Comprendre le principe des réseaux de Bragg.
- Étudier expérimentalement la variation de la longueur d'onde de Bragg en réponse à des variations de température.
- Valider l'utilisation d'une fibre optique munie d'un réseau de Bragg en tant que capteur de température par une expérience de laboratoire simulant une fuite de gaz.

Abstract

Optical Fibres are gaining increasing attention in the field of public works. Indeed, fibres can be used as sensors. The analysis of reflected waves which propagate in the fibre provides information on the environment of the fibre. Thus, a water ingress in a dyke - which implies temperature variations of the ground - can be detected by fibre. A simulation of this phenomenon has enabled me to measure these temperature changes thanks to a Brillouin Optical Time Domain Reflectometer, the Neubroscope Analyser, and to conclude that this method is a real challenge for dyke monitoring and more generally for continuous monitoring.

Références bibliographiques (phase 2)

[1] FERDINAND (P) : Réseaux de capteurs à fibres optiques – Applications : [r461], *Techniques de l'ingénieur*, septembre 2008

[2] FESTINGER (J-C) : Capteurs à fibres optiques : [r412], *Techniques de l'ingénieur*, mars 2007

[3] KREUZER (M) : Strain Measurement with Fiber Bragg Grating Sensors : http://micronoptics.ru/uploads/library/documents/FBGS_StrainMeasurement_mo.pdf – janvier 2018

[4] FERDINAND (P) : Capteurs à fibres optiques à réseaux de Bragg : [r6735], *Techniques de l'ingénieur*, décembre 1999

[5] FERDINAND (P) : Réseaux de capteurs à fibres optiques – Mesures et multiplexage : [r460], *Techniques de l'ingénieur*, mars 2008

[6] OBATON (A-F), PALAVICINI (C), JAOUEN (Y), DOUAY (M), NIAY (P), LIEVRE (M) : Caractérisation

des réseaux de Bragg par réflectométrie optique à faible cohérence :

http://lewebdephilou.free.fr/RESEAUX-TELECOM/Cours-Telecom/Fibre-Optique/Reflectometrie_Fibre_Bragg.pdf – janvier 2018

[7] CAUCHETEUR (C) : Introduction aux capteurs à fibre optique : [r2390], *Techniques de l'ingénieur*, septembre 2012

DOT

[1] Juin 2017 - recherches bibliographiques sur le fonctionnement des fibres optiques en tant que capteurs et mise en évidence de deux types : les capteurs à réseaux fibrés et ceux basés sur les rétrodiffusions.

[2] Fin juin 2017 - rencontre avec un chercheur qui travaille dans ce domaine et qui accepte de m'accueillir dans son laboratoire pour les expériences à venir.

[3] Juillet 2017 - prise en main de la fibre optique et apprentissage de manipulations simples comme des soudures.

[4] Août 2017 - travail sur les fibres optiques munies de réseaux de Bragg : mesures des variations de longueurs d'onde de Bragg avec la température pour tracer la droite étalon $T=f(\lambda)$, détermination du coefficient de dilatation thermique de l'aluminium grâce à des fibres à réseaux de Bragg.

[5] Septembre/octobre 2017 - recherches bibliographiques plus précises sur le phénomène de réflectométrie et décision de me centrer sur l'étude des capteurs de température basés sur la rétrodiffusion.

[6] Novembre 2017 - réalisation d'une série d'expériences simulant une infiltration d'eau dans une digue pour prouver la faisabilité de la surveillance des digues grâce aux fibres optiques utilisées en tant que capteurs de température à l'aide d'un Neubroscope.

[7] Décembre 2017 - mise en place d'une expérience permettant de construire une courbe étalon pour remonter des variations de fréquence mesurées par le Neubroscope aux variations de température du milieu.

[8] Janvier/avril 2018 - construction de graphiques, analyse et interprétation des résultats, réponse à la problématique.