LA TECHNOLOGIE SWIFTS DONNE UNE NOUVELLE DIMENSION AUX CAPTEURS PAR FIBRE DE BRAGG

Mikhaël de Mengin[1], Olivier Coutant[2], Fabrice Thomas[1,3], Guillermo Martin[1], Etienne le Coarer[1]

[1] *Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble, Université Joseph Fourier - CNRS, Domaine Universitaire, Grenoble, F-38041, France*

[2] *Institut des Sciences de la Terre, Université Joseph Fourier - CNRS, Domaine Universitaire, Grenoble, F-38041, France*

[3] *Resolution Spectra Systems, 13 chemin du Vieux Chêne, Meylan, F-38240, France*

mikhael.demenginpoirier@obs.ujf-grenoble.fr

RÉSUMÉ

SWIFTS pour Stationary Wave Integrated Fourier Transform Spectrometer, est un concept de spectromètre s'appuyant sur l'optique intégrée pour proposer un système de mesure compact et très haute résolution. Il combine une technique d'interférométrie développée par Gabriel Lippmann avec des technologies de microélectroniques actuelles. La technologie SWIFTS sera ici utilisée en lieu et place d'un interrogateur de fibre de Bragg. En combinant ce spectromètre avec des fibres de Bragg très sensibles, tel qu'une cavité Fabry-Perot à réseaux de Bragg d'une longueur de 15 mm, permettra de mesurer des variations de température et de déformation très précises. Nous présentons la première utilisation d'un tel spectromètre de Fourier associé à des capteurs de Bragg pour mesurer les déformations liées au phénomène de la marrée terrestre. Les mesures effectuées donnent des précisions de l'ordre de la dizaine de nanostrain ($10.e^{-9}\varepsilon$).

MOTS-CLEFS : *Capteur par fibre optique ; Fibre de Bragg ; Spectrométrie haute résolution ; Capteur de déformation.*

1. INTRODUCTION

Les fibres de Bragg (FBGs) sont des capteurs de température et de contrainte bien connus. Ils trouvent de nombreuses applications dans des domaines scientifiques variés tels que la surveillance de structure, la sureté des centrales nucléaires ou la géophysique [1]–[3]. Cependant malgré des développements prometteurs, les FBGs n'ont jamais atteint la sensibilité nécessaire pour l'observation en science de la terre. En effet, la capacité à détecter des signaux de l'ordre de quelques nano-déformation serait d'un grand intérêt pour surveiller et modéliser les processus volcaniques.

Par ailleurs, la spectroscopie à haute résolution connaît un renouveau avec la redécouverte du phénomène d'onde stationnaire que l'on obtient à l'intérieur d'un guide d'onde lorsqu'on fait interagir une onde propagative avec son homologue contra-propagative réfléchie sur un miroir en bout de guide. SWIFTS pour Stationary Wave Integrated Fourier Transform Spectrometer [4], est un concept de spectromètre s'appuyant sur l'optique intégrée pour proposer un procédé de mesure très compact et très haute résolution par rapport aux instruments de spectrométrie actuels.

Le spectromètre ZOOM Spectra [5] commercialisé par Resolution Spectra Systems et utilisant la technologie SWIFTS, combine une technique d'interférométrie développée par Gabriel Lippmann [6] avec les technologies microélectroniques actuelles. Le ZOOM est composé d'un guide d'onde rectangulaire dans lequel une onde vient interférer avec elle-même en disposant un miroir en bout de guide, il s'agit alors de l'effet Lippmann (SWIFTS Lippmann). L'interférogramme ainsi obtenu, qui présente des périodes typiques de l'ordre de $\lambda/2n$ où n est l'indice du guide et λ la longueur d'onde, est alors échantillonné par des nano-plots d'or répartis le long de la surface du

guide pour ensuite être traité par transformée de Fourier, afin d'en déduire l'intensité en fonction des longueurs d'onde qui composent le rayonnement incident.

En combinant ces deux technologies, nous proposons d'utiliser le SWIFTS comme un interrogateur de fibre de Bragg très sensible. Nous avons installé ce système sur le terrain au Laboratoire Souterrain à Bas Bruits (LSBB) pour détecter une déformation cyclique permanente : la marrée terrestre. Nous présentons ici les premiers résultats obtenus.

2. L'ETUDE DES FIBRE DE BRAGG PAR LA HAUTE RESOLUTION

Un réseau de Bragg agit comme un miroir à une longueur d'onde particulière qui dépend du pas de ce réseau. Ainsi, il peut être utilisé comme un capteur de déformation lorsqu'on l'éclaire avec une source large bande telle qu'une, et que l'on mesure le décalage précis de la longueur d'onde réfléchie avec un ZOOM Spectra. Lorsque le pas du réseau est modifié par une dilatation ou une compression de la fibre, la longueur d'onde se décale en conséquence. De plus, la résolution de l'interrogateur est très utile pour améliorer la précision de la déformation mesurée.

Pour améliorer encore la précision de la mesure, une cavité Fabry-Perot à réseaux de Bragg (GFPC) a été utilisée. Cette cavité Fabry-Perot est créée par deux réseaux de Bragg à la même longueur d'onde inscrit à 2 cm l'un de l'autre dans la fibre. Le ZOOM Spectra possède la résolution suffisante pour résoudre la modulation interne avec une période de 0.012 nm (cf. Fig. 1).

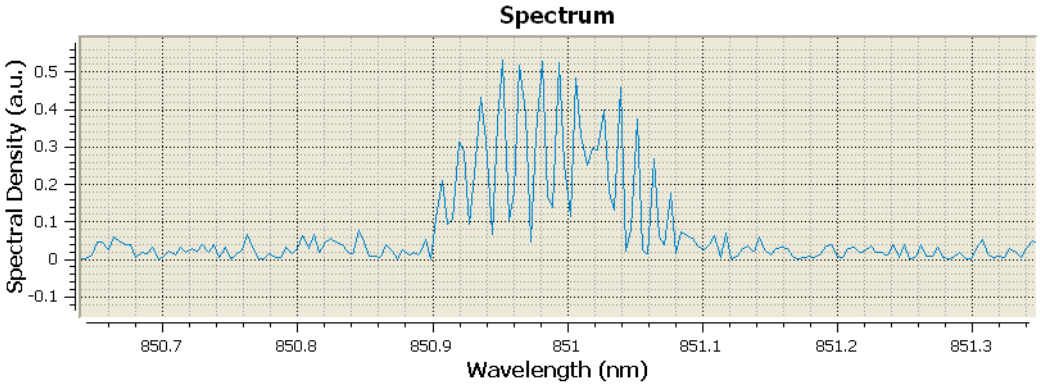

Fig. 1 : Spectre mesuré d'un GFPC par un ZOOM Spectra présentant la technologie SWIFTS

La présence de cette petite modulation nous permet de déterminer précisément la position de l'enveloppe et d'en déduire la déformation appliquée avec une précision 10 fois plus importante que lorsqu'on utilise un réseau de Bragg standard.

3. RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE A RUSTREL : UNE ESTIMATION DE LA MARREE TERRESTRE

Pour valider notre précision de mesure, nous avons choisis d'installer notre système de mesure dans une galerie du LSBB pour détecter les déformations engendrées par la marrée terrestre. Nous avons installé un GFPC tendu entre deux tiges de silice espacées de 17 cm et couplées à la paroi rocheuse (cf. Fig. 3). Pour décorreler les variations de température des variations de déformation, nous avons utilisé une fibre de référence contenant un deuxième GFPC qui suit le même chemin que la première mais qui ne sera pas tendue.

Sur une durée de 50 jours de mesure, nous avons obtenus d'excellents résultats après correction de la température. La comparaison avec les marrées théoriques simulées par le logiciel Gotic2 donne un coefficient de corrélation verticale de 0,84.

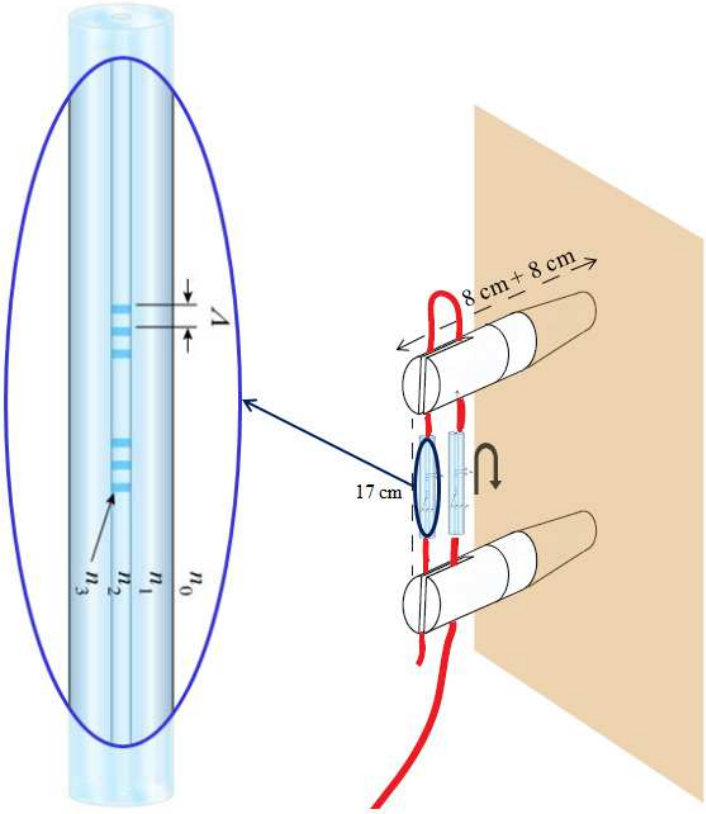

Fig. 3 : Installation d'un GFPC tendu entre deux tiges de silice dans une galerie du LSBB

CONCLUSION

Lors de cette expérience, nous avons détecté avec succès la marrée terrestre avec des amplitudes d'environ 20 nε. L'association du concept de SWIFTS et des fibres de Bragg se révèle très prometteuses permettant aussi la détection de phénomènes géophysiques tel que le séisme du Chili du 1er avril 2014. Ce capteur devrait être installé au Piton de la Fournaise à la Réunion pour le suivi des précurseurs éruptifs.

RÉFÉRENCES

[1] S. Ali-Alvarez, P. Ferdinand, S. Magne, et R. P. Nogueira, « Corrosion detection and evolution monitoring in reinforced concrete structures by the use of fiber Bragg grating sensor », présenté à Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 2013, vol. 8692.

[2] P. Ferdinand, S. Magne, et G. Laffont, « Optical fiber sensors to improve the safety of nuclear power plants », 2013, vol. 8924.

[3] V. Dewynter, S. Rougeault, J. Boussoir, N. Roussel, P. Ferdinand, et Y. Wileveau, « Instrumentation of borehole with fiber Bragg grating thermal probes: study of the geothermic behaviour of rocks », 2005, vol. 5855, p. 1016-1019.

[4] E. Le Coarer, S. Blaize, P. Benech, I. Stefanon, A. Morand, G. Lérondel, G. Leblond, P. Kern, J. M. Fedeli, et P. Royer, « Wavelength-scale stationary-wave integrated Fourier-transform spectrometry », Nature Photonics, vol. 1, no 8, p. 473–478, 2007.

[5] C. Bonneville, F. Thomas, M. de Mengin Poirier, E. Le Coarer, P. Benech, T. Gonthiez, A. Morand, O. Coutant, E. Morino, R. Puget, et B. Martin, « SWIFTS: a groundbreaking integrated technology for high-performance spectroscopy and optical sensors », 2013, vol. 8616.

[6] G. Lippmann, « Sur la théorie de la photographie des couleurs simples et composées par la méthode interférentielle », J. Phys. Theor. Appl., vol. 3, no 1, p. 97107, 1894.