

CAPTEUR A FIBRE REPARTI BRILLOUIN A BASE D'UN LASER BI-FREQUENCE

Miyassa Salhi¹, Vincent Kemlin², Salim Faci¹, Ghaya Baili², Aghiad Khadour³, Shermila Mostarshedi⁴, Anne-Laure Billabert¹

¹ESYCOM, Conservatoire National des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, 75141 Paris Cedex 3

²THALES Research & Technology Campus de Polytechnique 1, avenue Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau cedex

³IFSTTAR, Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux, 14-20 Boulevard Newton, 77420 Champs-sur-Marne

⁴ESYCOM, Université Paris-Est Marne-La-Vallée, 5 Boulevard Descartes, 77420 Champs-sur-Marne

miyassa.salhi@univ-paris-est.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons ici les premières mesures de rétrodiffusion Brillouin avec un laser bi-fréquence à état-solide. En exploitant le décalage fréquentiel du laser bi-fréquence, ce système permet la mesure du décalage Brillouin à des fréquences de l'ordre de quelques centaines de MHz. Les premières mesures de spectre Brillouin réparties sont présentées.

MOTS-CLEFS : *Capteur à fibre optique ; Rétrodiffusion Brillouin ; Laser bi-fréquence*

1. INTRODUCTION

La fibre optique est largement utilisée dans les systèmes de surveillance des grands ouvrages du génie civil. Différentes architectures d'instrumentation ont été proposées qui reposent toutes sur la quantification du changement des propriétés de la lumière se propageant dans la fibre (intensité, phase, rétrodiffusion etc...) sous l'effet des modifications de l'environnement extérieur. Ces architectures sont divisées en capteurs ponctuels et répartis. Dans la seconde catégorie de capteurs à fibre optique répartis, la fibre est considérée comme un élément sensible sur toute sa longueur. Ces capteurs peuvent exploiter les non-linéarités du troisième ordre de la fibre telles que les diffusions inélastiques de type Brillouin ou Raman [1]. Dans le cas de la rétrodiffusion Brillouin, ce sont les composantes Stokes et/ou Anti-Stokes (décalées de +/- 10 GHz) qui sont sensibles à la variation de la température et/ou à la déformation de la fibre. Il existe plusieurs solutions industrielles permettant de mesurer ces raies fréquentielles soit dans le domaine temporel soit dans le domaine fréquentiel [2]. Les différents systèmes commerciaux sont constitués soit d'une seule source optique nécessitant une détection hétérodyne aux alentours de 10 GHz, soit de deux sources lasers avec une boucle de verrouillage de phase critique et complexe. Nous présentons ici une simplification importante de ces dispositifs en intégrant une seule source laser bi-fréquence bi-polarisation qui émet deux longueurs d'onde orthogonales en polarisation, et d'écart ajustables entre 9 et 11 GHz.

Nous présentons d'abord la validation de ce système en mesurant le spectre Brillouin d'une fibre monomode de type SMF-28 et ses variations de fréquence centrale avec la température. Ensuite, l'extension de cette technique aux domaines des capteurs répartis est effectuée grâce à la technique de réflectométrie dans le domaine temporel (Optical Time Domain Reflectometer ou OTDR). Nous présentons ici des mesures préliminaires de B-OTDR en observant la transition entre deux fibres SMF-28e+ et SMF-28 soudées l'une à l'autre.

2. B-OTDR AVEC UN LASER BI-FREQUENCE

Le montage utilisé dans ce travail est un montage de B-OTDR modifié pour intégrer la source laser bi-fréquence bi-polarisation. Ce laser est un laser à état solide pompé optiquement et qui dispose dans sa cavité d'une lame biréfringente contrôlée en tension suivie d'un étalon pour la génération de deux oscillations lasers sur deux modes de polarisation croisés et décalés en fréquence [3]. Cet écart en fréquence est contrôlé par la tension appliquée sur le cristal biréfringent intra-cavité et/ou

thermiquement. Pour nos applications, ces fréquences optiques sont décalées et stabilisées l'une sur l'autre à une valeur comprise entre 9 et 11 GHz, à ± 10 Hz, comparable avec le décalage Brillouin $\nu_B = \nu_1 - \nu_s$.

Les deux ondes ν_1 et ν_2 sont orthogonales en polarisation. Un séparateur de polarisation fibré (PBS, 20 dB de réjection) est donc utilisé pour les séparer spatialement. C'est ensuite l'onde ν_1 qui excite l'effet Brillouin dans la fibre capteur. La seconde fréquence ν_2 est utilisée pour la détection hétérodyne de la composante Stokes ν_s rétrodiffusée sous l'effet de la propagation de l'onde ν_1 dans la fibre. La détection du décalage Brillouin est donc réalisée à des fréquences inférieures au GHz, ce qui relâche la contrainte de la bande passante de la photodiode et permet si besoin une détection balancée suivie d'une électronique plus performante.

Pour le dispositif OTDR de capteur réparti, l'onde excitatrice de l'effet Brillouin (onde à la fréquence ν_1) est modulée en intensité par un modulateur acousto-optique avant sa propagation dans la fibre. Le principe de l'OTDR dans les capteurs à fibre consiste ensuite à mesurer la trace temporelle (ou le spectrogramme) de l'onde rétrodiffusée par le passage de l'impulsion. On localise la portion de la fibre sondée en fenêtrant dans le domaine temporel le signal de battement. La résolution spatiale de cette technique est donc donnée par la fenêtre temporelle d'acquisition et la durée de l'impulsion. Concrètement, afin de sonder d'une manière localisée la partie souhaitée de la fibre, le déclenchement de l'acquisition est retardé temporellement par rapport au déclenchement du modulateur AOM.

Le dispositif complet est montré en Figure 1.

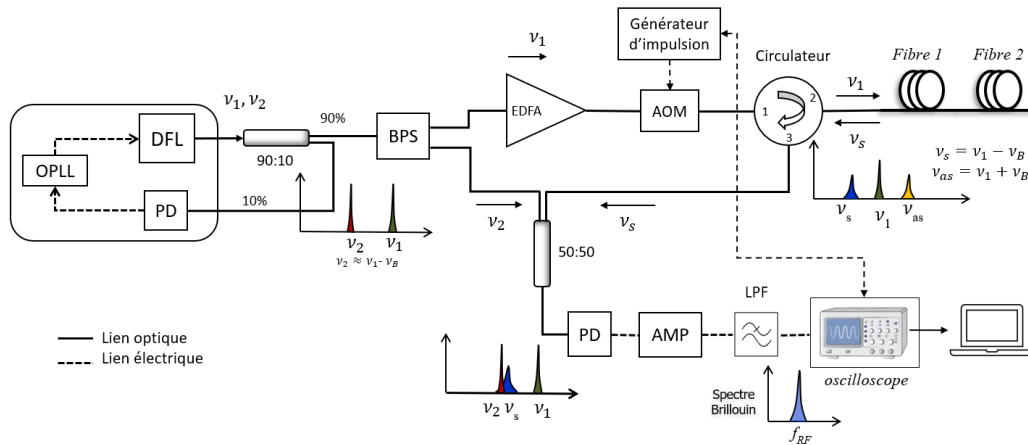


Fig. 1 : Montage expérimental du capteur réparti de type Brillouin-OTDR intégrant un laser bi-fréquence bi-polarisation. DFL : laser bi-fréquence, PD : photodiode, OPLL : boucle de verrouillage de phase, BPS : séparateur de polarisation, EDFA : amplificateur à fibre optique, AOM : modulateur acousto-optique, AMP : amplificateur électrique, LPF : filtre passe bas, 90:10 et 50:50 coupleurs optiques.

3. RESULTATS OBTENUS

Dans un premier temps, l'onde excitatrice n'est pas modulée en intensité. Et on mesure le spectre du battement entre l'onde rétrodiffusée à $\nu_1 - \nu_B$ et ν_2 à l'aide d'une photodiode et d'un analyseur de spectre électrique. Une fibre monomode SMF-28 de longueur 40 km a été utilisée dans cette mesure. La puissance injectée dans la fibre est de 20 mW. Le décalage fréquentiel $\nu_1 - \nu_2$ est de 10,83 GHz. Le spectre de gain Brillouin ainsi que son déplacement en fonction de la température ont été mesurés en mettant complètement la fibre dans une étuve régulée en température. La fréquence centrale est de 120 MHz à température ambiante, ce qui correspond donc à un décalage Brillouin de $10,83 - 0,12 = 10,71$ GHz.

La sensibilité du spectre Brillouin à la température et/ou à la déformation dépend de la variation de l'indice de réfraction de la fibre et de la vitesse des ondes acoustiques. Cela se traduit par un changement de la fréquence de décalage Brillouin qui peut être relié au coefficient de température C_T et/ou au coefficient de déformation C_ϵ [4]. Ces coefficients sont respectivement de 1 MHz/°C et de

0.05 MHz/μ€ pour la SMF-28. Le coefficient de température a été mesuré à 1.16 ± 0.0625 MHz/°C. Ce coefficient est en accord avec la valeur théorique.

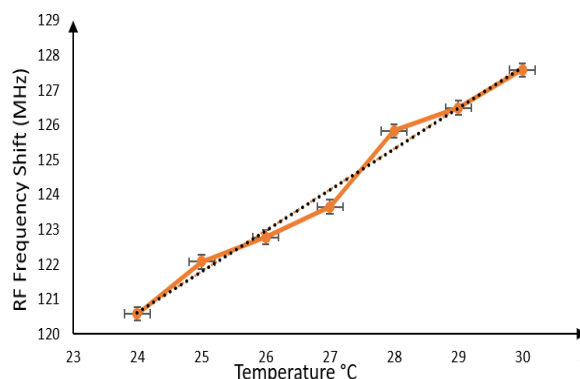


Fig. 2 : Variation de la fréquence centrale du spectre de gain Brillouin en fonction de la température de la fibre SMF-28

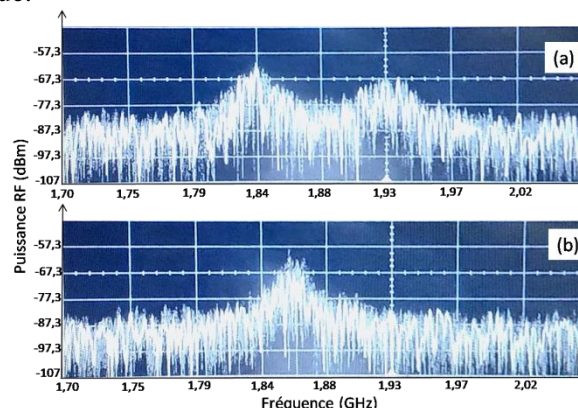


Fig. 3 : Mesures réparties du spectre de gain Brillouin pour (a) la fibre SMF-28e+ et (b) la fibre SMF-28.

Ensuite, pour la réalisation du capteur réparti, le modulateur acousto-optique est activé. Nous avons sondé une fibre de 44 km de long composée d'un premier tronçon de fibre SMF-28e+ de 4 km et d'un deuxième tronçon de fibre SMF-28 de 40 km. Les tests préliminaires ont été réalisés avec une largeur d'impulsion de 4 μs ce qui correspond à une résolution spatiale modeste de 400 m. Ces deux tronçons ont été choisis parce qu'ils présentent des spectres Brillouin différents. Comme montré en Figure 3, le tronçon de la fibre SMF-28e+ (a) est bien caractérisé par deux pics Brillouin séparés d'environ 90 MHz, alors que celui de la fibre SMF-28 ne présente qu'un seul pic Brillouin. La largeur d'impulsion a ensuite été réduite à 100 ns (résolution spatiale de 10 m), ce qui a permis aussi d'observer la transition avec une meilleure résolution. Cependant, ces mesures sont encore en cours, et nécessitent, une optimisation de la puissance optique et une détection balancée pour une meilleure sensibilité.

CONCLUSION

Nous avons présenté les premières mesures d'un capteur à fibre optique intégrant un laser bi-fréquence bi-polarisation. Cette solution permet de simplifier considérablement les systèmes actuels qui utilisent deux sources lasers afin d'analyser la rétrodiffusion Brillouin à des fréquences de l'ordre de la centaine de MHz. Le second avantage réside dans le contrôle de la polarisation et l'accordabilité des fréquences avec une meilleure efficacité ce qui rend cette solution attractive pour les différents systèmes d'interrogation. Les mesures de la dépendance du spectre Brillouin avec la température sont conformes aux prédictions théoriques et aux résultats expérimentaux. La localisation de la transition entre deux fibres optiques ayant deux signatures du spectre Brillouin différente a été observée avec le système proposé.

REFERENCES

- [1] F. T. S. Yu and S. Yin, "Fiber Optic Sensors," New York, Marcel Dekker, Inc., 2002.
- [2] V. Lecoecue et al., "Predicting Fiber Breaks and Weak Points," White paper, online: <https://www.viavisolutions.com/fr-fr/node/61696>.
- [3] G. Pillet et al., "Dual-Frequency Laser at 1.5 μm for Optical Distribution and Generation of High-Purity Microwave Signals," Journal of Lightwave Technology, vol. 26, 2008.
- [4] M. Nikles, P. Robert, and L. Thevenaz "Brillouin Gain Spectrum Characterization in Single Mode Optical Fiber," Journal of Lightwave Technology, vol. 15, 1997.