

LASER FDML ACCORDABLE A HAUTE CADENCE, INTERFACE A UN SYSTEME D'ACQUISITION FPGA, POUR L'INTERROGATION EN CONTINU D'UN ACCELEROMETRE A RESEAUX DE BRAGG

Mourad Alexandre Ben Abdallah, Guillaume Laffont, Nicolas Roussel et Pierre Ferdinand

CEA, LIST, Laboratoire de Mesures Optiques, F-91191 Gif-sur-Yvette, France,

mourad.alexandre.benabdallah@gmail.com

RESUME:

Nous avons développé un laser accordable de type FDML caractérisé par une fréquence de balayage pouvant aller jusqu'à 100 kHz, sur une bande passante de plusieurs dizaines de nm à la longueur d'onde 1,55 μm . Traditionnellement, les systèmes d'interrogation des Capteurs à Fibres Optiques à réseaux de Bragg sont fondés sur une acquisition non continue pour ces fréquences de fonctionnement. Pour surmonter cette limitation, le laser FDML a été interfacé avec un système d'acquisition et de traitement en continu des données *via* un module FPGA. Ce papier présente les principales caractéristiques de ce nouveau système d'interrogation optronique et les résultats obtenus en interrogeant un accéléromètre à réseau de Bragg à 20,3451 kHz et 61,053 kHz.

MOTS-CLEFS : Laser, Capteur à Fibres Optiques, réseau de Bragg, accéléromètre, FPGA.

1. INTRODUCTION

Les Capteurs à Fibres Optiques (CFO) à réseaux de Bragg (rdB) sont largement utilisés dans de nombreux domaines et secteurs industriels, tels les infrastructures civiles, le domaine maritime, les secteurs gaziers et pétrolier, l'énergie éolienne, les domaines d'emploi des composites,... Ceci est dû aux nombreux avantages qu'ils offrent (immunité EM, codage spectral tant de la mesurande que de l'adresse des capteurs, déport du système de mesure à grande distance, robustesse et fiabilité, [1]). Pendant la dernière décennie, plusieurs approches traitant des systèmes d'interrogation de CFO à rdB ont été rapportées. Citons par exemple, les techniques spectrales comme les interféromètres à Fabry-Perot accordables, les lasers accordables, la spectroscopie fondée sur un micro-spectromètre intégré, l'interférométrie ... [2]. Cependant, ces techniques d'interrogation -constituant l'essentiel des méthodes utilisées dans le domaine- offrent une vitesse de balayage relativement limitée qui ne peut pas excéder quelques dizaines de kHz. Par contre, le laser FDML fibré a prouvé sa capacité à surmonter cette limitation [3-4-5]. Notre intérêt dans le développement d'un laser accordable à haute cadence est donc d'assurer l'analyse dynamique à haute cadence de CFO à rdB, tels les capteurs de déformations, d'accélération ou de détection d'impacts, et ce avec une bande passante allant jusqu'à plusieurs dizaines voire centaine de kHz, sur une large bande spectrale permettant le multiplexage d'un grand nombre de ces capteurs.

2. CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE DU LASER FDML

Le laser FDML fondé sur une configuration en anneau, est formé d'un SOA (milieu à gain) encadré par deux isolateurs intégrés, d'un filtre Fabry-Perot (FP) accordable et d'un coupleur optique présentant un rapport de couplage 40-60. De plus, il comporte une fibre optique monomode d'environ 10 km de long dont le rôle est d'accroître la longueur de la boucle de manière telle que la cadence de balayage du FP soit synchronisé sur l'inverse du temps de parcours des ondes en son sein. Le filtre FP est ici accordé spectralement à l'aide d'un signal sinusoïdal de période égale au temps de parcours $\Delta\tau$ de la cavité, ou à l'un de ses sous-multiples. De fait, à chaque instant t_i , sa transmission spectrale est à nouveau centrée sur la longueur d'onde précédemment transmise à $t_i - N\Delta\tau$. *De facto*, à chaque tour, Le FP ne transmet que cette raie, supprimant tout signal rapporté aux autres longueurs d'onde lors de l'amplification par le SOA. La figure 1 illustre son principe de réalisation.

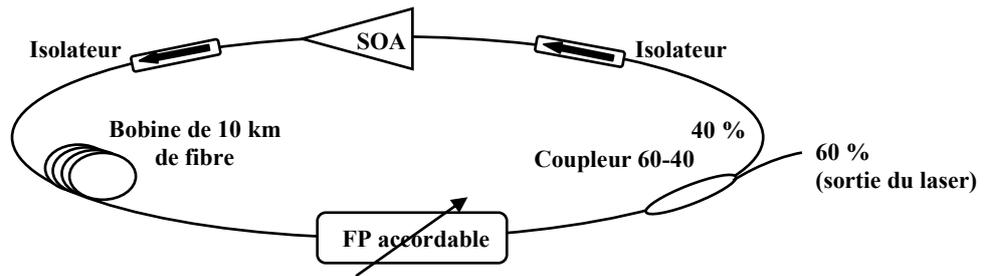


Fig. 1 : Schéma de principe de la source accordable en longueur d'onde.

Le spectre en sortie de la source, illustré par la figure 2, est obtenu pour les fréquences 20, 40, 60, 80, et 100 kHz. L'accordabilité est obtenue en commandant le FP par un signal sinusoïdal. Les plages de balayage respectives pour les différentes fréquences de balayage sont respectivement 70, 59, 58, 55 et 36 nm. La puissance émise moyenne en sortie du coupleur est de 1,5 mW.

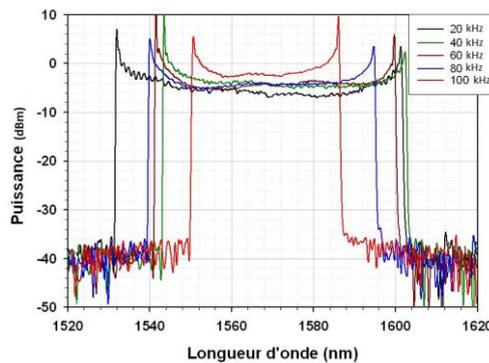


Fig. 2 : Spectre en sortie du laser pour différentes fréquences de balayages du filtre.

3. SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES EN CONTINU

L'objectif premier de ce laser est d'assurer l'analyse en dynamique de CFO à rdB avec une bande passante élevée (dizaines voire centaines de kHz). Mais un autre avantage apporté par l'accroissement de la fréquence de balayage du laser, donc de l'acquisition, est d'éviter certains problèmes de repliement spectral. Comme indiqué sur le diagramme de la figure 3, nous avons interrogé, à l'aide du laser FDML accordable à haute cadence, un accéléromètre à rdB (capteur transformant l'accélération (la force) à laquelle il est soumis, en une déformation proportionnelle du rdB qui contient). Le spectre de sortie du laser est relié directement au système d'acquisition afin de normaliser la réponse en puissance de la source. Une seconde voie équipée d'un Fabry-Perot étalon est acquise pour fournir une référence spectrale. Ainsi, pour chaque balayage laser, la mesure des longueurs d'ondes de Bragg des capteurs interrogés est obtenue en la superposant au spectre du Fabry-Perot étalon servant de référence (Fig.3).

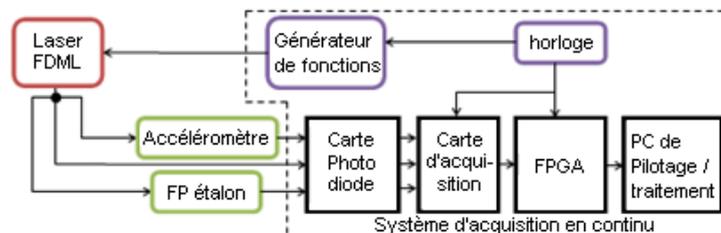


Fig. 3: Diagramme fonctionnel du système d'interrogation à haute cadence pour capteurs de Bragg

Le système d'acquisition de données continu est composé de 3 cartes photodiodes de bande passante de 100 MHz à - 3 dB, suivi d'un système d'acquisition de données, d'une carte FPGA et

d'un générateur de fonctions (Cf. Fig. 3). L'acquisition possède 4 canaux avec 4 convertisseurs 14 bits A/N séparés, dont trois sont connectées aux cartes photodiodes pour assurer la numérisation du signal à la vitesse de 250 MS/s pour chaque canal, et ce, quelles que soient les fréquences de fonctionnement de la source. Un prétraitement numérique en continu est réalisé par le FPGA qui effectue un certain nombre d'opérations sur le signal numérisé. Le flux de données traité durant cette phase est de 1,5 Go/s. Le résultat de ce traitement est ensuite envoyé sur un PC de manière à calculer la longueur d'onde de Bragg, tout en assurant l'affichage et la sauvegarde des mesures. L'ensemble de la chaîne d'acquisition est synchronisé par une horloge maître.

4. RESULTATS

Pour valider le bon fonctionnement du système, nous interrogeons un accéléromètre à rdB à 1552,41 nm installé sur un pot vibrant, lui-même contrôlé *via* une interface dédiée. La requête d'accélération envoyée à l'accéléromètre est environ 50 m/s², qui correspond à un pic de tension de contrôle de 0,278 V, la fréquence de vibrations ayant -pour cet essai particulier- été fixée à 2 kHz. Compte tenu de la longueur de la boucle constituant le laser FDML, un signal sinusoïdal à 20,322 kHz est produit par le générateur de fonctions pilotant le Fabry-Perot accordable.

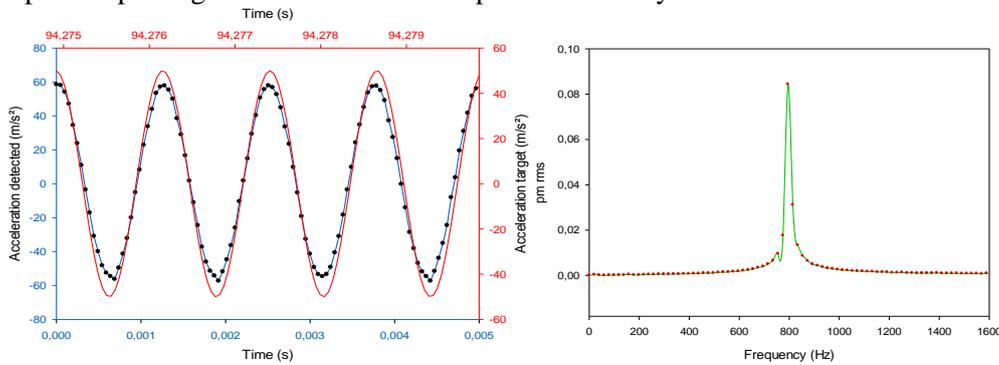


Fig. 4: Gauche trace en rouge : Requête d'accélération envoyée (800 Hz, 50 m/s²) ; Trace en bleu : Réponse optique par le système FDML de l'accéléromètre à réseau de Bragg ; Droite : Mesure optique de la fréquence de vibrations de l'accéléromètre.

L'expérience consiste à vérifier la capacité du système d'analyse spectral à retrouver les paramètres envoyés à l'accéléromètre à rdB. La figure 4 (gauche) illustre d'un côté, la variation longueur d'onde de Bragg de l'accéléromètre convertie en accélération (sensibilité : 2,37 pm.m⁻¹.s²) (trace bleue) et, de l'autre, la requête (trace rouge). La figure 4 (droite) montre que la fréquence de vibration du rdB mesurée est égale à 795 Hz, très proche de celle envoyée au pot vibrant (800 Hz).

5. CONCLUSION

Dans le cadre des développements que nous menons autour des systèmes d'acquisition rapide pour capteurs à réseaux de Bragg, un laser en anneau de type FDML a été développé et interfacé avec un système d'acquisition utilisant un FPGA, permettant ainsi de réaliser des mesures jusqu'à 100 kHz. L'interrogation d'un accéléromètre à réseau de Bragg fixé sur un pot vibrant a prouvé la capacité du système de mesure à suivre la raie de Bragg correspondante et à caractériser en temps réel sa fréquence de vibration et ses déplacements spectraux, apportant ainsi la preuve de concept de la démarche.

RÉFÉRENCES

- [1] P. Ferdinand, "Capteurs à fibres optiques à réseaux de Bragg", Techn. de l'Ingénieur, R 6735, pp. 1-24.
- [2] N. Roussel, P. Ferdinand and L. Maurin, "Long term stability of spectral measurement systems for fiber Bragg grating sensors", Proc. SPIE 8924, 4th Asia Pacific Optical Sensors Conf., 89243E, Wuhan, China, Oct. 15, 2013; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2033932>; <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1741615>.
- [3] M.A. Ben Abdallah, G. Laffont, N. Roussel, P. Ferdinand, "Source accordable en longueur d'onde pour le démultiplexage à haute cadence de capteurs à réseaux de Bragg", 31st JNOG, 4-7 July 2011, Marseille, France.
- [4] R. Huber, M. Wojtkowski and J. G. Fujimoto, "FDLM: A new laser operating regime and applications for optical coherence tomography", MIT, Cambridge Optics Express Vol. 4, No. 8.
- [5] E. J. Jung, C. Kim, M. Y. Jeong, M. K. Kim, M. Y. Jeon, W. Jung and Z. Chen, "Characterization of FBG sensor interrogation based on a FDML wavelength swept laser" Optics Express Vol. 16, No. 21.