



HAL
open science

Mesure distribuée à bas flux de la rétrodiffusion Brillouin avec un compteur de photons

Maxime Romanet, Kien Phan-Huy, Etienne Rochat, Jean-Charles Beugnot

► To cite this version:

Maxime Romanet, Kien Phan-Huy, Etienne Rochat, Jean-Charles Beugnot. Mesure distribuée à bas flux de la rétrodiffusion Brillouin avec un compteur de photons. Congrès général Optique de la société Française d'Optique, Jul 2022, Nice, France. hal-04388812

HAL Id: hal-04388812

<https://hal.science/hal-04388812v1>

Submitted on 15 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mesure distribuée à bas flux de la rétrodiffusion Brillouin avec un compteur de photons

Maxime Romanet¹, Kien Phan-Huy¹, Etienne Rochat² et Jean-Charles Beugnot¹

¹ Institut FEMTO-ST, Université Bourgogne Franche-Comté, CNRS UMR 6174, Besançon, France

² Omnisens, Morges, Suisse

maxime.romanet@femto-st.fr

RÉSUMÉ

Nous démontrons expérimentalement une mesure en fréquence de la rétrodiffusion Brillouin avec un compteur de photons. Cette mesure est réalisée à faible puissance dans le domaine infrarouge, afin de concevoir une nouvelle architecture de réflectométrie Brillouin (BOTDR, Brillouin Optical Time Domain Reflectometry), permettant d'améliorer la portée des instruments de mesures.

MOTS-CLEFS : *Diffusion Brillouin; capteurs à fibre; compteur de photons uniques ;*

1. INTRODUCTION

Durant les dernières années, le transport de l'énergie via le développement des éoliennes offshore, a connu une forte croissance. Le besoin de surveiller ces infrastructures est indispensable et nécessite d'être capable de mesurer la température le long de plusieurs dizaines de kilomètres de câble sous-marin. Une solution consiste à placer une fibre optique le long de ces câbles et d'utiliser un système BOTDR, utilisant la rétrodiffusion Brillouin [1], dont la fréquence dépend de la température du milieu (1.07 MHz/°C à 1550 nm pour une fibre monomode standard [2]). Nos travaux portent sur la réalisation d'un nouveau type de capteur BOTDR, à partir de compteurs de photons, afin d'étendre la portée des instruments de mesure de la température le long d'une fibre optique. Le remplacement d'une photodiode par un compteur de photons modifie en profondeur la méthode de mesure distribuée en fréquence par fibres optiques. Nous démontrons expérimentalement qu'il est possible de sonder la fréquence Brillouin le long de la fibre optique, en utilisant un compteur de photons à une distance donnée, avec une résolution spatiale de 10 m.

2. EXPERIENCES ET RESULTATS

Afin de mesurer la température et par conséquent la fréquence de la réponse Brillouin, avec un compteur de photons, nous devons être capables de convertir une information de puissance, en une information de fréquence.

Pour ce faire, nous utilisons un réseau de Bragg Fibré (FBG) de 3 GHz de large, possédant des flancs très abruptes (représenté en Figure 1.b) [3]. Ce filtre permet également de filtrer la rétrodiffusion Rayleigh, ainsi que la rétrodiffusion Brillouin Stokes. Dans notre cas, nous conservons uniquement la réponse Brillouin Anti-Stokes. La longueur d'onde d'émission du laser est fixée à 1547 nm de ce que la réponse Brillouin de la fibre optique se situe sur le flanc du filtre. Ainsi, une variation de fréquence de la réponse Brillouin induite par une variation de température se traduira par une variation d'intensité sur le compteur de photons. La mesure de la pente du filtre (55 MHz/dB), nous permet de calibrer la mesure en température.

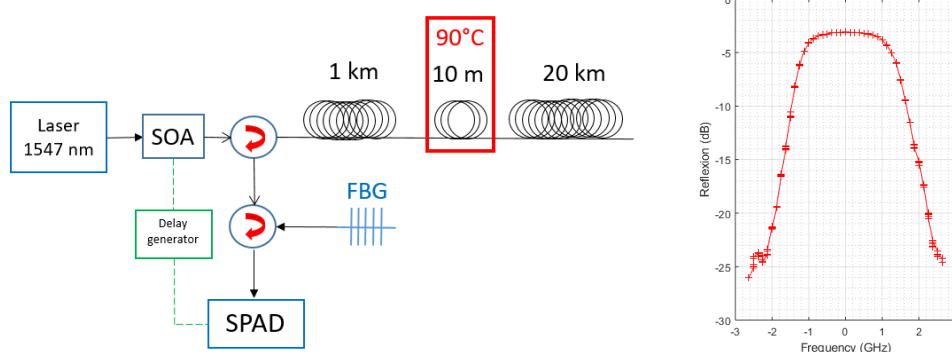


Fig. 1: (a) Montage expérimental. (b) FBG caractérisation

Pour générer notre signal Brillouin, nous utilisons un laser de grande cohérence (largeur inférieure à 10kHz), puis grâce à un SOA (Semiconductor Optical Amplifier) nous générons des impulsions optiques d'une durée de 20 ns, avec une puissance crête de 15 dBm, à une fréquence de 1 kHz. Ces impulsions sont envoyées dans la fibre test à travers un circulateur. Le signal rétrodiffusé passe à travers les 2 circulateurs, afin d'être filtré dans le filtre de Bragg. Le signal Brillouin Anti-Stokes est ensuite détecté sur le compteur de photons, utilisé en mode impulsif, avec des portes de 20 ns, dans lesquelles le compteur de photons mesure le flux de photons. En dehors de ces portes, le compteur est éteint. Le mode impulsif nous permet de détecter la lumière provenant d'une position précise de la fibre à partir du temps de vol de l'impulsion optique, en modifiant le délai entre l'impulsion optique générée par le SOA, et l'ouverture de la porte du compteur de photons pour mesurer la réponse Brillouin. Nous travaillons à une fréquence de 1 kHz et une efficacité de détection de 10%. La mesure est réalisée en faisant la moyenne statistique sur 30 secondes.

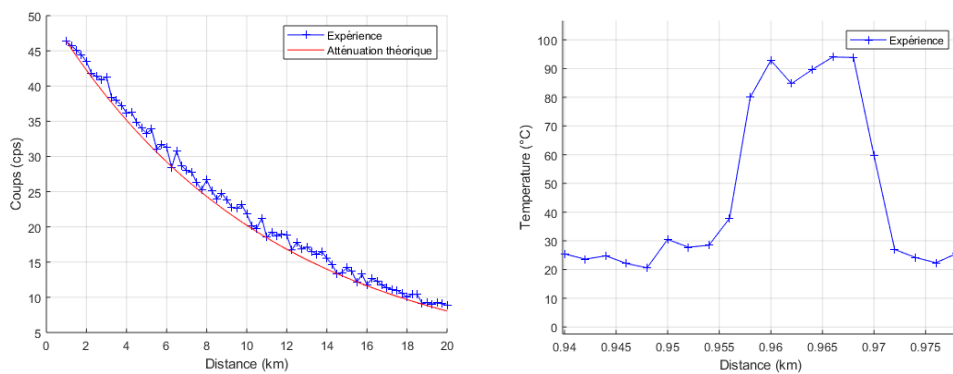


Fig. 2: Résultats expérimentaux du flux Brillouin mesuré en coups par seconde, avec un compteur de photons, pour une résolution spatiale de 2m (à gauche) d'une mesure en température sur une portion de 10m, placé dans un bain chauffé à 90°C, (à droite).

La Figure 2.a montre le flux de photons Brillouin Stokes rétrodiffusés, en fonction de la position, sondé sur la fibre. On retrouve ici les pertes linéiques de la fibre optique en sondant le signal anti-stokes sur une distance de 20 km avec une résolution spatiale de 2 m. Le niveau de bruit du détecteur étant de 0.01 cps, le rapport signal sur bruit à 20 km est de 30 dB.

A partir de la mesure du flux de photons Brillouin (Figure 2.a), et en connaissant les pertes inhérentes à la fibre optique (0.2 dB/km), on peut compenser ces pertes, afin d'obtenir une mesure du flux de photons qui ne dépend plus de la distance.

Sur la Figure 2.b on représente le profil en température au niveau du banc de test. Ce profil est obtenu à partir de la réponse linéaire du filtre (55 MHz/dB), et du coefficient de sensibilité (1.07 MHz/K) d'une fibre à saut d'indice monomode.

Sur la figure 2.b, nous montrons le profil en température en fonction de la distance (à 1 km) obtenu au niveau du banc de résolution spatiale, où une fibre de 10 m de long est chauffée à une température de 90°C. Cette mesure a été réalisée avec un intervalle d'échantillonnage de 2m, et démontre une résolution spatiale de 10 m, et une mesure en fréquence avec une erreur en température de 7.8 °C (2σ).

CONCLUSION

Nous avons démontré expérimentalement une mesure en fréquence avec un compteur de photons, permettant de déduire la réponse Brillouin d'une fibre optique.

Nous avons également démontré une mesure distribuée par diffusion Brillouin avec un compteur de photons, en détectant un point chaud d'une longueur de 10 m, avec une erreur inférieure à 7.8 °C.

La suite de nos travaux consistera à réaliser des mesures à de plus longues distances, et d'obtenir une meilleure répétabilité sur les mesures en fréquence.

Ce travail est soutenu par ACTPHAST 4.0, le ministère de la recherche, EIPHI Graduate School (contrat ANR-17-EURE-0002) et la région Bourgogne-Franche-Comté.

REFERENCES

[1] M. Niklès. La diffusion Brillouin dans les fibres optiques, étude et applications aux capteurs distribués. 1997, Thèse Ecole polytechnique fédérale de Lausanne EPFL.

[2] AH. Hartog. An introduction to distributed optical fibre sensors (1st ed.). 2017. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781315119014>

[3] L. Olislager. Frequency-bin entangled photons. 2010. Physical Review, A 82, 013804.

[4] L. Sheng, Distributed Temperature Sensing System Based on Brillouin Scattering Effect Using a Single-Photon Detector. Hindawi, Vol. 2021. International Journal of Optics.

[5] J. Gasser. Distributed temperature sensor combining centimeter resolution with hundreds of meters sensing range. Feb 2022. Vol. 30, No. 5/28 /Optics Express.