

Prédire les ruptures et les points faibles de la fibre optique

Essai sur le terrain de mesures Brillouin de déformation de la fibre optique sur des câbles aériens longue distance

Les câbles aériens sont caractérisés à l'aide d'un OTDR de Brillouin. Les elongations de la fibre optique ont été mesurées avec une résolution spatiale de 10 m sur un câble de 152 km et un écart-type maximal de 0,0015 %, ce qui a confirmé une solution de test applicable à la plupart des liens de télécommunications.

Introduction

Les opérateurs réseau ont besoin d'une méthode leur permettant d'anticiper de manière proactive une rupture dans une fibre optique résultant d'une déformation excessive et de points faibles sur un câble. Ces problèmes sont causés par les conditions météorologiques et géologiques, lesquelles modifient en permanence les pressions de déformation et de température sur le câble de fibre optique. En s'aidant de mesures prédictives, une équipe d'opérations de maintenance peut préserver le câble en réduisant sa déformation ou en le remplaçant de manière proactive avant que la perte de transmission n'ait lieu. Les solutions de câblage tout diélectrique se sont rapidement répandues sur les réseaux de fibre optique ces dernières années. À la différence des câbles armés à gaine métallique, elles cumulent plusieurs avantages (faible coût, poids inférieur, facilité de manipulation) tout en n'exigeant pas de mise à la terre. Par contre, une structure plus légère est souvent synonyme de protection mécanique plus faible et il est conseillé d'évaluer l'applicabilité de ces câbles aux environnements les plus exigeants. Il y a dix ans, pour effectuer une comparaison objective, Rostelecom a installé des câbles ADSS ainsi que des OPGW au nord d'Irkoutsk. Dans cette région, les températures vont de -57°C à $+40^{\circ}\text{C}$ et il peut arriver qu'une couche de glace de 10 cm s'accumule, comme illustré sur la Photo 1-a. Au fil du temps, la structure des câbles peut être délaminiée, comme le montre la Photo 1-b.

Avec une structure de câble fragilisée, les elongations de la fibre optique interne peuvent largement excéder la valeur maximale de 0,2 % recommandée par les constructeurs de fibre optique. Toutefois, avec l'avènement de fibres optiques insensibles aux contraintes, la perte induite peut demeurer modérée et la transmission des données s'effectuer sans défaut. Cela ne doit pas faire oublier que la structure de la fibre de verre n'est pas plus robuste d'un point de vue mécanique et que sa rupture reste probable à une elongation de 4 %. Si les pertes de fibre optique ne sont plus affectées par des niveaux critiques de déformation, les techniques traditionnelles de dépannage doivent être reconsidérées.



Photo 1a : Formation de glace



Photo 1b : Éléments de force interrompus

L'analyse de spectre de Brillouin est la seule méthode de caractérisation optique capable de fournir des mesures d'élongation distribuées précises. Il est avéré que l'interaction de la diffusion Brillouin a une fréquence de résonance qui dépend de manière linéaire de l'élongation de la fibre optique et que cette mesure est désormais largement utilisée à des fins de détection par fibre optique. En ce qui concerne les liens de télécommunications, la difficulté principale tient à ce qu'ils excèdent souvent 100 km, alors qu'une résolution spatiale élevée est également attendue pour capturer chaque événement de déformation.

Une première méthode de mesure envisageable est l'analyse Brillouin de signal dans le domaine temporel (B-OTDA). Si cette configuration fournit les signaux les plus forts grâce à une interaction stimulée, elle est limitée dans sa portée, car elle exige une configuration en boucle. En pratique, les distances couvertes les plus longues correspondraient à un lien unilatéral de 80 km au maximum^{1,2}. Des distances plus longues ont été obtenues en ajoutant des amplificateurs optiques distribués sur la ligne^{3,4}, mais la distance maximale de 75 km entre des amplificateurs ne serait pas envisageable sur un lien de télécommunications, sans compter les effets non locaux complexes sur de telles distances⁵. La B-OTDA ne s'étend pas aux installations de câbles de télécommunications typiques et ne peut pas être insérée de manière pratique pour acquérir une mesure sans intrusion sur un câble de plus de 80 km.

La seconde solution est un réflectomètre optique Brillouin (B-OTDR) qui utilise un signal de sonde unique, émis depuis un côté d'un lien fibre optique. Le B-OTDR acquiert la lumière Brillouin rétrodiffusée spontanément comme le ferait un OTDR courant avec diffusion Rayleigh. L'avantage de cette configuration est évident lorsqu'elle s'applique à un lien avec un budget de perte trop élevé, voire une rupture. Le B-OTDR fournira toujours des informations sur les sections accessibles. Le record de distance couvert dans une expérience de laboratoire était de 150 km, en utilisant une combinaison de détection cohérente et d'amplification Raman⁶, mais la résolution spatiale de 50 m et la précision des mesures à l'extrémité distale ne seraient pas suffisantes. L'amplificateur optique en ligne a également été proposé pour le B-OTDR⁷, mais, une fois encore, cette option ne conviendrait pas aux liens de télécommunications.

Dans ce document, nous analysons une nouvelle implémentation d'un OTDR Brillouin cohérent, intégré à un instrument fonctionnant sur batterie et déployable sur le terrain (OneAdvisor 1000 DTSS). Un premier prototype pour VIAVI B-OTDR a été utilisé pour caractériser un lien aérien installé de 152 km et une perte de budget totale de 34 dB, avec une résolution spatiale de 10 mètres. Il exige deux acquisitions OTDR prises depuis les deux extrémités du lien, mais nous affirmons qu'il s'agit de la seule technique capable de couvrir les distances des lignes de télécommunications installées.



OneAdvisor 1000 DTSS - Mesure distribuée de température et de déformation

Configuration expérimentale

Notre instrument utilise la détection cohérente pour détecter sélectivement la diffusion Rayleigh ou les composants spectraux Brillouin des signaux rétrodiffusés. L'instrument peut produire des traces OTDR régulières pour les caractérisations de perte, exploiter les informations de décalage en fréquence Brillouin pour la détermination de la déformation (en présupposant une température constante), et il utilise en outre le rapport Landau-Placzek (LPR) pour déterminer de manière indépendante la température et la déformation⁸. L'utilisateur dispose ainsi de trois types de mesures OTDR : perte de signal, déformation et température pour déterminer l'intégrité de la fibre optique testée.

Résultats

Pendant cette campagne de test, 7 fibres optiques ont été testées à partir de trois sites à Ust-Kut, Kirenga et Severobaïkalsk, cumulant 23 acquisitions OTDR Rayleigh et Brillouin complètes, bidirectionnelles pour la plupart. Nos principaux résultats sont présentés dans les Figures 1 à 3.

La Figure 1 montre la déformation en fonction de la distance pour la ligne allant d'Ust Kut à Kirenga. Elle consiste en deux acquisitions à partir des deux extrémités, la trace depuis Kirenga étant inversée de manière à afficher le lien complet et la correspondance correcte à mi-parcours du lien. La succession de plateaux (chacun présentant un décalage en fréquence particulier) est typique d'une installation de câbles aériens dans laquelle les sections de câbles assemblés ne dépassent jamais 15 km, chaque câble contenant plusieurs fibres optiques issues de différents lots. En réalité, le changement de décalage en fréquence Brillouin est souvent plus facile à détecter que l'atténuation d'épissure sur la trace OTDR et cette caractéristique peut être exploitée. Le décalage en fréquence Brillouin pour un type de fibre optique donné peut varier de ± 20 MHz autour de la valeur nominale du lot de fibres optiques⁹, ce qui se traduit par des elongations de $\pm 0,04$ %. Il en résulte une incertitude importante si l'on devait appliquer strictement la recommandation du constructeur d'une elongation maximale de 0,2 %. Dans ce cas, il faudrait localiser et quantifier un événement de déformation en tant qu'écart relatif par rapport au plateau environnant, ce qui compliquerait l'analyse. Toutefois, avec l'expérience pratique d'un réseau aérien exploité dans des conditions extrêmes, on est forcé de tolérer des événements de déformation atteignant 3 % pour de courtes durées. En partant de l'hypothèse d'une combinaison homogène de fibres optiques comme celle de la Figure 1, il est possible de négliger ces changements liés à la fibre optique et de laisser l'instrument décider automatiquement si le câble répond aux critères sur la base d'un seuil fixe absolu.

Les incertitudes liées à l'instrument peuvent être évaluées à partir des écarts-types sur les différents plateaux sans les événements de l'acquisition. Ils sont généralement de 0,0006 %, et jusqu'à 0,0015 % au point de jonction centrale après une atténuation de lien de 17 dB.

De nombreux profils de déformation montrent des trains de pics avec une périodicité caractéristique de 350 à 500 m, ce qui correspond à la distance entre les pylônes. L'amplitude du pic est généralement de 0,01 %, avec un niveau supérieur de 0,03 %. Ces valeurs plutôt faibles étaient rassurantes quant à l'état actuel du lien.

Notons que les événements s'étendent sur des plages de fibre optique allant de 150 à 400 m et que les mesures ont été réalisées en octobre. La déformation atteint probablement ses plus hauts niveaux et elle est la plus localisée en fonction des charges de glace, alors qu'en été, la déformation diminue et se répartit spatialement grâce aux mouvements des câbles et aux cycles thermiques. Les détails des acquisitions présentées sont toutefois suffisamment résolus pour mettre en évidence les faiblesses des câbles, même pendant la période estivale.

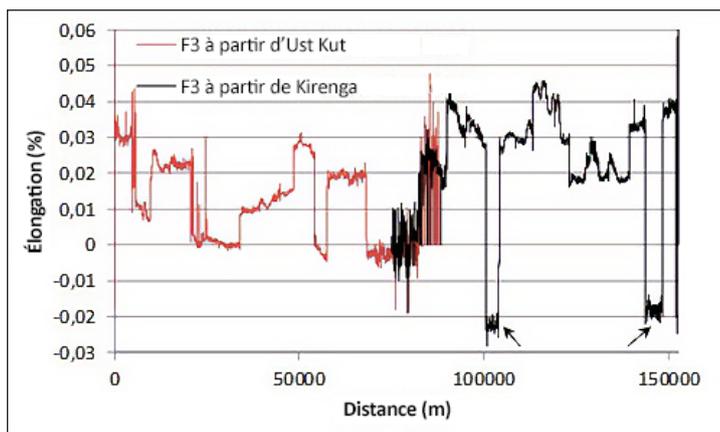


Figure 1 : Mesure de déformation bidirectionnelle sur 152 km avec impulsion de 100 ns, des flèches indiquent les sections de SMF28e+ première génération.

La Figure 2 montre une capture d'écran d'un instrument pour un événement de déformation, comportant deux acquisitions superposées réalisées avec des impulsions de 100 ns et 200 ns. Alors que la précision et la portée bénéficient d'un effet de lissage et de l'énergie supérieure d'une impulsion plus longue, les détails les plus rapides sont visiblement effacés. Il est recommandé de toujours utiliser la meilleure résolution spatiale possible étant donné que l'étendue des événements dépend de nombreux paramètres (répartition de la charge, installation et structure exactes des câbles, gel utilisé, etc.).

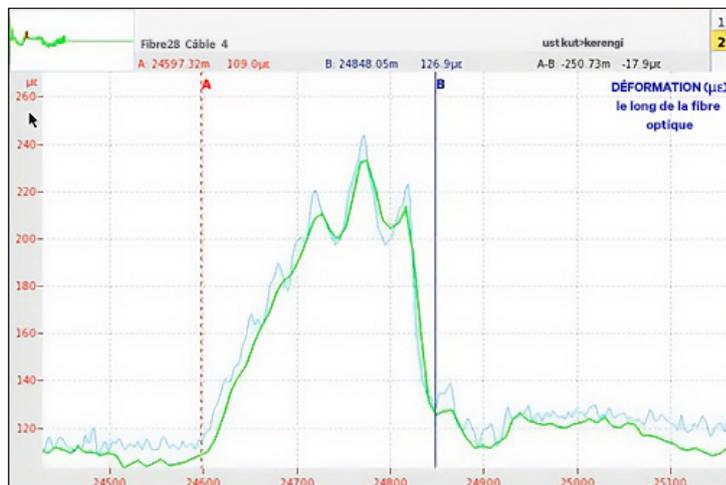


Figure 2 : Événement de déformation enregistré à des impulsions de 100 ns (bleu) et 200 ns (vert).

Le spectre Brillouin permet également de reconnaître le type de fibre optique⁹. La Figure 3 montre un spectre à double mode typique de la première génération de SMF28e+. Cette fibre optique a été utilisée à l'occasion de réparations tandis qu'une fibre SMF28e courante à pic unique a été utilisée au moment de l'installation.

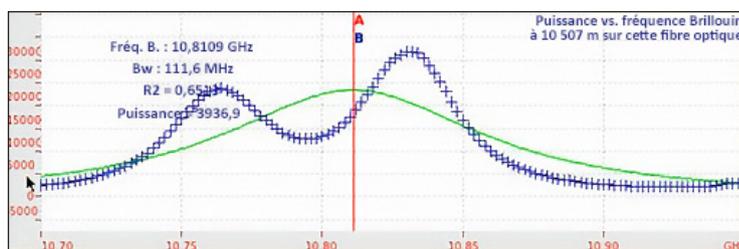


Figure 3 : Spectre Brillouin double mode de SMF28e

Une campagne de mesure telle que celle décrite ne serait que la première étape d'un cycle de maintenance du câble, à effectuer au moment de l'installation ou à l'occasion d'un dépannage. Toutes les mesures suivantes seraient répétées de la même manière, mais il serait recommandé d'utiliser la première mesure comme référence et de produire des données relatives. Cette procédure éliminerait le problème découlant de la présence de différentes fibres avec différents décalages en fréquence tout du long du lien. Avec les informations supplémentaires transmises par le LPR, notre instrument peut également prendre en compte les variations de température saisonnières entre les deux mesures. Il en résulte un gain de précision supplémentaire par rapport à une mesure basée uniquement sur le décalage en fréquence Brillouin, et pour laquelle une variation de $\pm 0,1\%$ est attendue sur la plage de températures. Sur la base d'une mesure relative avec compensation de température, il devient facile de repérer une évolution de la déformation, aussi ténue soit-elle, en utilisant un seuil d'alarme pouvant être défini sur une valeur très basse selon la reproductibilité de l'instrument.

Conclusions

Si la technologie B-OTDR est disponible depuis longtemps, nous avons fait la démonstration du premier instrument déployable sur le terrain qui dispose d'une plage dynamique suffisante pour couvrir les distances des liens de télécommunications. À l'aide de notre prototype, nous avons apporté la preuve d'un fonctionnement correct sur un lien de 152 km. Nos tests de laboratoire montrent que 200 km sont accessibles avec une largeur d'impulsion de 400 ns (résolution spatiale de 40 m). Au moment de la rédaction de cet article, le développement était terminé et incluait les mesures relatives, la compensation thermique ainsi que toutes les fonctionnalités requises pour exploiter pleinement le potentiel de l'instrument directement sur site.

Cette solution est disponible à la vente sous la forme d'une solution portable alimentée par batterie ([OneAdvisor 1000 DTSS](#)) pour les vérifications ponctuelles de routine et la maintenance, ou sous forme de solution montée en rack ([FTH-DTSS](#)) pour la surveillance et l'analyse continues de l'intégrité de la fibre optique dans le cadre du [système de gestion des réseaux optiques ONMSI](#).

5 Prédire les ruptures et les points faibles de la fibre optique

Références

1. L. Zou et al, "Long-term monitoring of local stress changes in 67 km installed OPGW cable using BOTDA," Proceedings of the SPIE, Volume 9634, id. 963461 4 pp. (2015).
2. X. Qian et al, "157 km BOTDA with pulse coding and image processing," Proc. SPIE 9916, Sixth European Workshop on Optical Fiber Sensors, 99162S (2016).
3. Y. Dong et al "Extending the Sensing Range of Brillouin Optical Time-Domain Analysis Combining Frequency-Division Multiplexing and In-Line EDFAs," J. Lightwave Technol. 30, 1161-1167 (2012).
4. F. Gyger et al, "Ultra Long Range DTS (>300 km) to Support Deep Offshore and Long Tieback Developments," ASME. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Volume 6B: Pipeline and Riser Technology (2014).
5. L. Thévenaz et al, "Effect of pulse depletion in a Brillouin optical time-domain analysis system," Opt. Express 21, 14017-14035 (2013).
6. M. N. Alahbabi et al, "150-km-range distributed sensor based on coherent detection of spontaneous Brillouin backscatter and in-line Raman amplification," J. Opt. Soc. Am. B 22, 1321-1324 (2005).
7. Y. T. Cho, et al, "100 km Distributed Fiber Optic Sensor Based on the Coherent Detection of Brillouin Backscatter, with a Spatial Resolution of 10 m, Enhanced Using Two Stages of Remotely Pumped Erbium-Doped Fiber Combined with Raman Amplification," in Optical Fiber Sensors, OSA Technical Digest, ThC4 (2006).
8. P.C. Wait et al, "Landau Placzek ratio applied to distributed fiber sensing", Optics Communications 122, pp 141-146 (1996).
9. Corning White Paper WP4259, "BOTDR measurement techniques and Brillouin backscatter characteristics of Corning single-mode optical fibers", (2015).



[viavisolutions.fr](https://www.viavisolutions.fr)

Contactez-nous +1 844 GO VIAVI | (+1 844 468 4284) | +33 1 30 81 50 50

Pour contacter le bureau VIAVI le plus proche, rendez-vous sur [viavisolutions.fr/contact](https://www.viavisolutions.fr/contact)

© 2024 VIAVI Solutions Inc.

Les spécifications et descriptions du produit figurant dans ce document sont sujettes à modifications sans préavis.

fiberbreaks-wp-tfs-nse-fr
30194311 901 0125