

Estimation de pertes de puissances pour les réseaux optiques

Alix May, Fabien Boitier, Elie Awwad, Petros Ramantanis, Matteo Lonardi, Philippe Ciblat

▶ **To cite this version:**

Alix May, Fabien Boitier, Elie Awwad, Petros Ramantanis, Matteo Lonardi, et al.. Estimation de pertes de puissances pour les réseaux optiques. Journées Nationales de l'Optique Guidée - Optique Dijon 2021, Jul 2021, Dijon, France. hal-03330929

HAL Id: hal-03330929
https://hal.science/hal-03330929

Submitted on 1 Sep 2021

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.

ESTIMATION DE PERTES DE PUISSANCES POUR LES RESEAUX OPTIQUES

Alix May[1,2], Fabien Boitier[1], Elie Awwad[2], Petros Ramantanis[1], Matteo Lonardi[1], Philippe Ciblat[2]

[1] *Nokia Bell Labs, 91620 Nozay, France*

[2] *LTCI, Télécom Paris, Institut Polytechnique de Paris 91120 Palaiseau, France*

alix.may@nokia.com

RÉSUMÉ

Nous proposons une méthode pour estimer l'amplitude d'une chute de puissance dans un réseau fibré en utilisant un estimateur de profils longitudinaux de puissance basé sur l'analyse de signal reçu. Celle-ci s'appuie notamment sur une calibration et un formalisme simple. Nous analysons expérimentalement la précision de l'estimation en fonction de la distance à l'amplificateur précédent.

MOTS-CLEFS : *Surveillance des réseaux, Réseaux élastiques, Effets non-linéaires, Détection d'anomalies*

1. INTRODUCTION

Les systèmes de communication optiques étaient initialement conçus avec des marges conséquentes pour assurer une excellente performance et ce, sans intervention extérieure, même après 15 années de fonctionnement. Ces marges sont principalement prises pour palier des incertitudes sur les caractéristiques des systèmes optiques ainsi que les fluctuations des conditions opérationnelles du réseau [1]. Depuis peu, les réseaux élastiques promettent de réduire ces marges et d'adapter la transmission aux caractéristiques réels du réseau. Pour cela, différentes méthodes de suivi et de surveillance des caractéristiques optiques sont développées [2,3]. Connaitre le réseau en temps réel permet en effet de prendre la meilleure décision possible, que ce soit une réparation, un reroutage (comme dans [3]) ou un ajustement des paramètres de transmission. Parmi les paramètres suivis, l'incertitude sur l'atténuation de puissance dans les fibres a un impact significatif sur la performance du système [4], et ainsi, il est primordial de pouvoir estimer et localiser précisément toute chute de puissance inattendue survenant le long d'un lien optique.

De nouvelles techniques à bas coût capables d'estimer un profil longitudinal de puissance ont été proposées dans [5] et [6]. Bien que ces dernières ont montré comment déterminer la position d'une éventuelle perte de puissance, elles n'ont pas réalisé d'étude sur l'estimation de l'amplitude de la perte. Dans cet article, nous proposons une méthode pour évaluer cette amplitude en nous appuyant sur un formalisme simple et une calibration additionnelle facilement mise en œuvre.

2. MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Le schéma du montage expérimental est représenté sur la Fig. 1. Le lien optique est constitué de trois tronçons de fibre standard monomode de 100km. Les 32 canaux sont modulés sur 2 polarisations (DP) et en QPSK (quadrature phase-shift keying). La constante d'atténuation des fibres α_{dB} est de 0.21 dB/km. La dispersion cumulée totale du lien est de 5100 ps/nm, prenant en compte une pré-distortion numérique du canal central de 3000 ps/nm. La puissance d'entrée de chaque tronçon est de 5 dBm pour le canal central et de 0 dBm pour les canaux adjacents. Des pertes de puissance sont insérées à trois différentes positions : i) à 0 km, ii) à 25 km, ou iii) à 50 km du début du deuxième tronçon. La méthode proposée utilise des échantillons collectés à la sortie du récepteur cohérent qui échantillonne à une vitesse de 200GSamples/s.

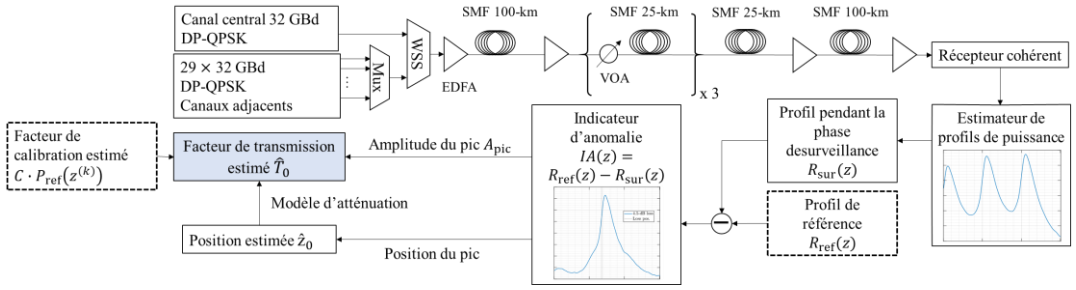


Fig. 1. Montage expérimental et schéma de la méthode proposée. Mux: multiplexeur, WSS: commutateur sélectif en longueur d'onde, EDFA: amplificateur optique, VOA: atténuateur optique, SMF: fibre monomode.

3. MÉTHODE PROPOSÉE

Pour effectuer notre étude, nous nous basons sur le profil longitudinal de puissance estimé par la technique présentée dans [5]. Nous appelons $R(z)$ ce profil de puissance, où z est la distance de propagation dans la fibre. Pour estimer une perte de puissance, nous avons besoin d'une configuration initiale qui va nous fournir un profil de référence $R_{\mathrm{ref}}(z)$. Celui-ci peut-être calculé à l'installation du réseau par exemple. Par la suite, lors de la phase de surveillance du réseau, on estime un profil $R_{\mathrm{sur}}(z)$. L'indicateur d'anomalie (IA) est défini comme étant la différence de ces deux profils [5]. Si une perte de puissance apparaît entre les deux configurations, alors cet indicateur sera non nul. On suppose une relation affine entre $R_i(z)$ et la puissance optique $P_i(z)$ dans la fibre :

$$R_i(z) = C \cdot P_i(z) + \theta_i, \tag{2}$$

où i correspond à la configuration « référence » ou « surveillance », $C > 0$ est un facteur de proportionnalité et θ_i est un facteur de décalage. Supposons qu'une perte de puissance apparaisse dans le tronçon k. On note $z^{(k)}$ l'abscisse du début du tronçon k et z_0 la position de la perte. La puissance $P_{\mathrm{sur}}(z)$ à un point donnée $z > z_0$ sera multipliée par le facteur de transmission $T_0 < 1$. En supposant que la perte est compensée au tronçon suivant, *i.e.* pour $z > z^{(k+1)}$, on peut ainsi exprimer $P_{\mathrm{sur}}(z)$:

$$P_{\mathrm{sur}}(z) = T_0 \cdot P_{\mathrm{ref}}(z), z_0 < z < z^{(k+1)}. \tag{3}$$

En combinant Eq.(2) et Eq.(3), on obtient l'expression de l'indicateur d'anomalie :

$$IA(z) = C \cdot (1 - T_0) \cdot P_{\mathrm{ref}}(z) + \Delta\theta, \qquad z_0 < z < z^{(k+1)}. \tag{4}$$

En dehors de ce domaine de définition, l'IA est égal à une constante $\Delta\theta = \theta_{\mathrm{ref}} - \theta_{\mathrm{sur}}$. Nous proposons ensuite d'utiliser le modèle d'atténuation suivant dans le tronçon k de la fibre :

$$P_{\mathrm{ref}}(z) = P_{\mathrm{ref}}\left(z^{(k)}\right) \cdot 10^{-\alpha_{\mathrm{dB}} \cdot \frac{z - z^{(k)}}{10}}, z^{(k)} < z < z^{(k+1)}, \tag{5}$$

où α_{dB} est la constante d'atténuation de la fibre, exprimée en dB/km. On appelle A_{pic} l'amplitude maximale de la fonction IA. Selon (4) et (5), ce pic est situé à z_0 dans le tronçon k et vaut :

$$A_{\mathrm{pic}}(z_0, T_0) = C \cdot (1 - T_0) \cdot P_{\mathrm{ref}}\left(z^{(k)}\right) \cdot 10^{-\alpha_{\mathrm{dB}} \cdot \frac{z_0 - z^{(k)}}{10}}. \tag{7}$$

Ainsi, $(1 - T_0)$ peut être obtenu en faisant le ratio de A_{pic} avec le produit de $C \cdot P_{\mathrm{ref}}\left(z^{(k)}\right)$ avec le modèle d'atténuation. Nous proposons une calibration pour estimer $C \cdot P_{\mathrm{ref}}\left(z^{(k)}\right)$. Celle-ci peut être effectuée en modifiant la puissance de sortie de l'amplificateur en début du $k^{ième}$ tronçon. Cette modification de puissance agit comme un facteur de perte appliqué à $z = z^{(k)}$. Dans ces conditions, on remarque selon Eq.(7) que $C \cdot P_{\mathrm{ref}}\left(z^{(k)}\right)$ est ainsi la pente de la fonction $A_{\mathrm{pic}}(z_0 = z^{(k)}, T)$. Pour estimer $(z_0 - z^{(k)})$, nous utilisons la différence de position entre les pics des deux IA, celui positionné à $z^{(k)}$ fourni à l'étape de calibration et celui positionné à z_0 pendant la phase de surveillance.

4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

En Fig.2a, on affiche les IA mesurés pour différentes pertes et trois positions différentes, ainsi que l'Eq.(4) pour chaque position et pour la plus grande perte. On remarque que l'amplitude du pic

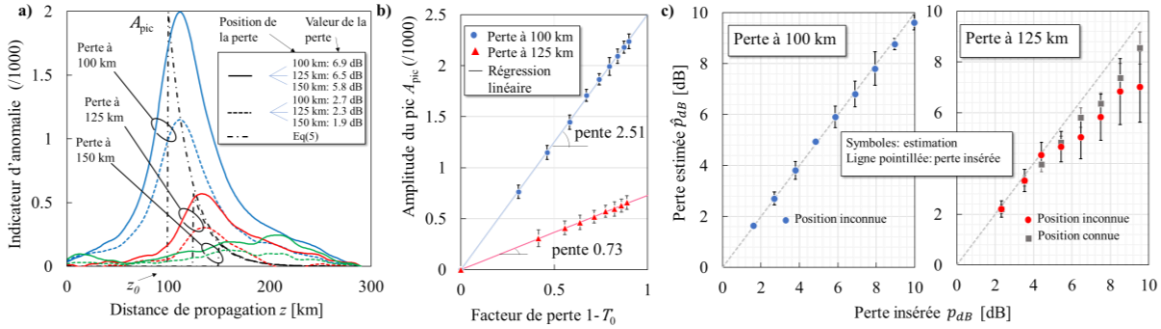


Fig. 2. Résultats expérimentaux. a) Indicateurs d'anomalie en fonction de la distance de propagation. b) Amplitudes de pics des AI en fonction de $(1 - T_0)$.c) Pertes estimées en fonction des pertes insérées à 100 km (gauche) et à 125 km (droite).

augmente avec la perte et diminue exponentiellement avec la position, comme attendu via l'Eq.(7). En Fig.2b, on trace l'amplitude du pic A_{pic} en fonction de $(1 - T_0)$ pour les deux positions de perte ainsi que les régressions linéaires associées. Ces dernières valident l'Eq.(7) et confirme la pertinence de l'amplitude du pic pour l'estimation de $(1 - T_0)$. Enfin, on utilise l'Eq.(7) pour estimer les pertes insérées. On choisit d'exprimer les pertes p_{dB} en dB comme il est usuel de le faire pour les systèmes optiques. Celles-ci sont liées au facteur de transmission T_0 selon : $p_{\text{dB}} = -10\log_{10}(T_0)$. On trace en Fig.2c les pertes estimées en fonction des pertes insérées pour des pertes situées à 100 et à 125 km ainsi que les barres d'erreur. L'estimation est très précise pour les pertes situées à 100km. On obtient une erreur maximale d'estimation de 0.3 dB. Pour les pertes situées à 125 km, l'estimation est précise pour des pertes inférieures à 5dB mais bien moins précise pour des pertes plus importantes. On trace aussi en Fig.2c les pertes estimées (carré gris à droite) lorsque la position est connue. On peut remarquer que la variance diminue, ainsi que l'erreur d'estimation. Ainsi, l'estimation moins précise à 125 km est en partie due aux erreurs de localisation des pertes.

CONCLUSION

Nous avons proposé une méthode pour estimer l'amplitude d'une perte de puissance basée sur un simple formalisme et une calibration. Nous avons montré expérimentalement que celle-ci offre des estimations précises, ce qui rend légitime son utilisation pour une surveillance en temps réel du réseau. Cependant, pour estimer des pertes situées loin de l'amplificateur, les faibles pics engendrent un défi supplémentaire et requièrent le développement de nouveaux algorithmes.

RÉFÉRENCES

[1] Y. Pointurier, 'Design of Low-Margin Optical Networks', J. Opt. Commun. Netw., vol. 9, no. 1, p. A9, Jan. 2017, doi: 10.1364/JOCN.9.0000A9.

[2] C. Malouin, M. Arabaci, P. Thomas, B. Zhang, T. Schmidt, and R. Marcoccia, 'Efficient, Non-Data-Aided Chromatic Dispersion Estimation via Generalized, FFT-Based Sweep', in Optical Fiber Communication Conference/National Fiber Optic Engineers Conference 2013, Anaheim, CA, 2013, p. JW2A.45, doi: 10.1364/NFOEC.2013.JW2A.45.

[3] F. Boitier et al., 'Seamless Optical Path Restoration with Just-in-Time Resource Allocation Leveraging Machine Learning', in 2018 European Conference on Optical Communication ECOC, Rome, Sep. 2018, pp. 1–3, doi: 10.1109/ECOC.2018.8535279.

[4] P. Ramantanis, C. Delezoide, P. Layec, and S. Bigo, 'Revisiting the calculation of performance margins in monitoring-enabled optical networks', J. Opt. Commun. Netw., vol. 11, no. 10, p. C67, Oct. 2019, doi: 10.1364/JOCN.11.000C67.

[5] T. Tanimura, S. Yoshida, K. Tajima, S. Oda, and T. Hoshida, 'Fiber-Longitudinal Anomaly Position Identification Over Multi-Span Transmission Link Out of Receiver-end Signals', J. Lightwave Technol., vol. 38, no. 9, pp. 2726–2733, May 2020, doi: 10.1109/JLT.2020.2984270.

[6] T. Sasai et al., 'Simultaneous Detection of Anomaly Points and Fiber types in Multi-span Transmission Links Only by Receiver-side Digital Signal Processing', in Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2020, San Diego, California, 2020, p. Th1F.1, doi: 10.1364/OFC.2020.Th1F.1.