



**HAL**  
open science

## CONNECTIQUE MONOMODE A FAISCEAU EXPANSÉ POUR TRANSMISSION A 10 GBITS/S

Dat Sy, Michel Gadonna, Monique Thual, Philippe Rochard, Lionel Quetel,  
Jean- François Riboulet, Vincent Metzger, Alain Philippe, Sébastien Claudot

► **To cite this version:**

Dat Sy, Michel Gadonna, Monique Thual, Philippe Rochard, Lionel Quetel, et al.. CONNECTIQUE MONOMODE A FAISCEAU EXPANSÉ POUR TRANSMISSION A 10 GBITS/S. OPTIQUE 2025 Journées Nationales d'Optique Guidée, Jul 2015, Rennes, France. Actes de conférences des JNOG 2015, P 72, pp.156-158. hal-04376631

**HAL Id: hal-04376631**

**<https://hal.science/hal-04376631v1>**

Submitted on 6 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.

# CONNECTIQUE MONOMODE A FAISCEAU EXPANSÉ POUR TRANSMISSION A 10 GBITS/S

Sy Dat Le<sup>1</sup>, Michel Gadonna<sup>2</sup>, Monique Thual<sup>1</sup>, Philippe Rochard<sup>1</sup>, Lionel Quetel<sup>3</sup>, Jean-François Riboulet<sup>3</sup>, Vincent Metzger<sup>4</sup>, Alain Philippe<sup>4</sup>, and Sébastien Claudot<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CNRS, UMR Foton, Université de Rennes 1, IUT Lannion, F-22305 Lannion, France

<sup>2</sup> Institut Mines-Telecom, Télécom Bretagne F-29285 Brest, France

<sup>3</sup> IDIL Fibres Optiques, 21 rue Louis De Broglie 22300 Lannion France

<sup>4</sup> Souriau - Esterline ECT, RD323, 72470 Champagné, France

[monique.thual@univ-rennes1.fr](mailto:monique.thual@univ-rennes1.fr) / [info@idil.fr](mailto:info@idil.fr) / [contactmilaero@souriau.com](mailto:contactmilaero@souriau.com)

## RÉSUMÉ

Nous présentons les résultats théoriques et expérimentaux concernant une connectique à base de microlentille à faisceau expansé simple à réaliser. Peu sensible aux dégradations par polluants, tout en offrant de faibles pertes et de faibles réflexions, cette connectique fibre à fibre en contact est adaptée aux transmissions à des débits d'au moins 10 Gbits/s pour des applications nombreuses et variées telles que les centres de traitements de données ou les réseaux d'accès tout optique.

**MOTS-CLEFS :** *microlentille ; faisceau expansé ; connecteur.*

## 1. INTRODUCTION

Du fait du très petit diamètre de cœur des fibres optiques monomodes, de l'ordre de 10  $\mu\text{m}$  aux longueurs d'onde des télécommunications, les connecteurs monomodes sont très sensibles aux dégradations en milieu polluant ou en présence de fortes puissances et présentent des tolérances de positionnement latérales et axiales critiques. L'idée de pallier ces inconvénients en augmentant la taille du faisceau en sortie de fibre par diffusion thermique de dopants [1], par l'utilisation de lentilles pour de la connectique en contact ou en espace libre [2] n'est pas nouvelle, mais elle reste tout à fait d'actualité [3][4]. La connectique en espace libre présente l'avantage de ne pas abîmer les faces optiques à coupler mais reste sensible à l'intrusion des fluides et complexe à gérer pour limiter les réflexions. Nous proposons une connectique en contact physique simple à mettre en œuvre qui offre tous les avantages de la grande expansion de faisceau tout en présentant un taux de couplage élevé, un faible taux de réflexion et une faible sensibilité aux polluants. Nous avons présenté des résultats préliminaires qui montrent en particulier la bonne adéquation entre les courbes théoriques et expérimentales pour l'évolution du diamètre de mode des microlentilles utilisées dans ces connecteurs, les pertes de couplage à la longueur d'onde de 1550 nm ( $<0,5$  dB), ainsi que leur robustesse en connecteurs vis-à-vis de polluants (eau, huile et poussières) [4]. Dans ce papier, après avoir montré le principe et les résultats de simulations de la microlentille proposée, nous présenterons les résultats de caractérisations de microlentilles de 55  $\mu\text{m}$  de diamètre de mode mises en connecteur LC. Elles concernent les pertes en bandes C et O, la distribution des pertes et de la réflectance sur plusieurs connecteurs ainsi que des mesures de transmission à 10 Gbit/s sur 50 km avec cascade de connecteurs.

## 2. PRINCIPE ET THÉORIE DE LA SOLUTION PROPOSÉE

Le principe de la solution proposée consiste à ajouter une microlentille en bout de fibre monomode (SMF) pour élargir le diamètre du faisceau ( $2\omega$ ) [4]. Pour cela une section de fibre à gradient d'indice (GIF) est soudée en sortie de fibre SMF (Fig.1). Du fait du profil d'indice transverse parabolique, le faisceau gaussien se propage de manière périodique dans la GIF. Le profil d'indice est supposé parfaitement parabolique en fonction de la position radiale  $r$  par rapport à l'axe

optique selon l'équation  $n(r)^2 = n_0^2(1 - 2\Delta r^2/a^2)$ , avec  $n_0$  l'indice du centre du cœur de la fibre,  $\Delta$  la différence relative d'indice entre le centre du cœur et la gaine définie par  $\Delta = (n_0^2 - n_c^2)/(2n_0^2)$ , et  $a$  le rayon de cœur de la fibre. L'ouverture numérique de la fibre (ON) est  $(n_0^2 - n_c^2)^{1/2} = n_c(2\Delta)^{1/2}$ .

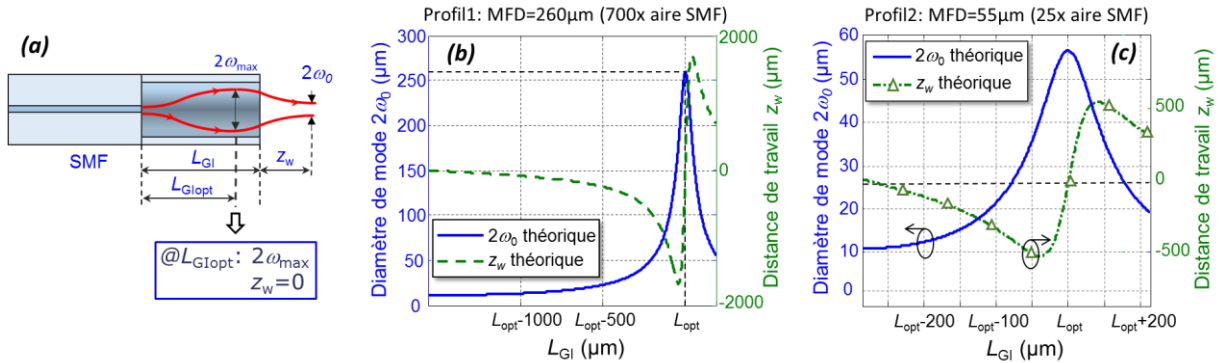


Fig. 1 : (a) Principe de la microlentille SMF GIF. Diamètre de mode et distance de travail en fonction de la longueur de gradient d'indice pour deux profils de GIF, profil 1 (b) et profil 2 (c).

Nous avons simulé l'évolution du diamètre de mode ( $2\omega_0$ ) au point focal et de la distance de travail ( $z_w$ ) du faisceau gaussien en fonction de la longueur de gradient d'indice  $L_{GI}$  par une méthode analytique proposée par Kogelnik [5] et par une méthode numérique de type BPM (Beam Propagation Method) [6]. Cette évolution théorique à la longueur d'onde de 1550 nm est montrée pour deux types de profils de gradient d'indice différents notés profil 1 (Fig. 1b) et profil 2 (Fig. 1c). Le diamètre de mode est maximal ( $2\omega_{max}$ ) et la distance de travail  $z_w$  nulle pour une longueur de gradient d'indice optimale  $L_{GIopt} = \pi/(2g)$  avec  $g = (2\Delta)^{1/2}/a$ , paramètre de la GIF. Cette configuration permet la mise en connecteur avec contact. Le diamètre de mode maximal ( $2\omega_{max}$ ) est de 260 µm pour le profil 1 et de 55 µm pour le 2 soit 700 fois, respectivement 25 fois l'aire d'un faisceau monomode. Nous présenterons les résultats de caractérisation obtenus pour le profil 2. Pour ce diamètre de mode de 55 µm, les tolérances de positionnement théoriques latérales  $\Delta x$  et axiales  $\Delta z$  à -1dB du maximum de couplage sont très relâchées,  $\Delta x = 8,7$  µm et  $\Delta z = 1000$  µm, contre 1,6 et 36 µm pour la fibre monomode. Les tolérances angulaires  $\Delta\theta$  sont plus critiques  $0,33^\circ$  contre  $1,7^\circ$  mais restent compatibles avec ce qui est maîtrisable en férule standard ( $< 0,1^\circ$ ).

### 3. RÉSULTATS DE CARACTÉRISATIONS

Nous avons fabriqué et mis en connecteurs LC plusieurs microlentilles SMF GIF de 55 µm de diamètre de mode afin de les caractériser. Comme le montre la Figure 2, les pertes de couplage sont faibles ( $< 0,5$  dB) et constantes sur les bandes O et C ce qui démontre un comportement achromatique. Nous avons donc fait des mesures statistiques de pertes de couplage sur 6 échantillons à une seule longueur d'onde (1550 nm). Les pertes moyennes sont de 0,51 dB avec un écart type de 0,06 dB.

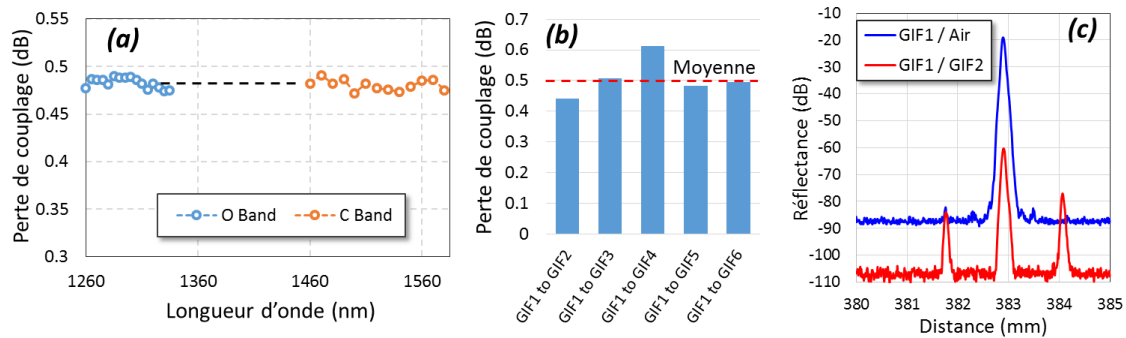


Fig. 2 : (a) Pertes de couplage bande O et bande C et (b) pour plusieurs connecteurs SMF GIF LC. (c) Exemple de mesure de réflectance de connecteur SMF GIF.

La réflectance des connecteurs SMF GIF a été mesurée par réflectométrie OLCR (Optical Low Coherence Reflectometry) en connecteur ouvert et en connexion sur cet échantillon de 6 connecteurs, dont un exemple est montré sur la Figure 2c, et comparée avec des connecteurs SMF LC/UPC. Les pertes en réflexion résumées sur la figure 3a sont de l'ordre de 25 dB pour des connecteurs SMF GIF ouverts contre 18 dB pour des SMF. De même, en connexion, les SMF GIF sont meilleures (62 dB) que des connecteurs SMF standards (56 dB).

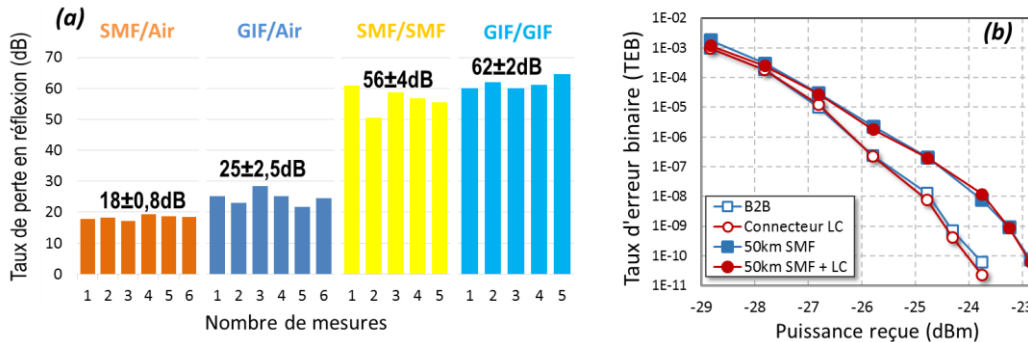


Fig. 3 : (a) Taux de pertes en réflexion mesurées sur les connecteurs (b) Mesures de BER à 10 Gbits/s.

Une piste d'analyse pour expliquer ces bonnes performances peut concerner l'influence de la force de contact ainsi que de la variation d'indice sur la couche superficielle des fibres en contact induite par cette force dans le cas d'un connecteur à faisceau expansé par rapport à un connecteur SMF [7]. Les performances des connecteurs LC SMF GIF ont de plus été mesurées en transmission avec un laser émettant à la longueur d'onde de 1550 nm modulé au format NRZ (Non return to Zéro) à 10 Gbits/s et une séquence binaire pseudo aléatoire (PRBS) de longueur  $2^{31}-1$  bits. La mesure de Taux d'Erreur Binaire (TEB) en fonction de la puissance au récepteur ne montre aucune pénalité aussi bien par rapport à la référence back to back (B2B) que par rapport à une transmission de 50 km de fibre monomode (Fig. 3b), y compris si 3 connecteurs sont cascades.

## CONCLUSION

Nous avons présenté une connectique à base de microlentille dont les performances en terme de robustesse aux polluants, de pertes, de réflectance et de mesures en transmission à 10 Gbit/s montrent qu'elle aurait toute sa place aussi bien dans le cadre du déploiement des réseaux FTTx que dans les centre de traitements de données qui nécessitent la manipulation d'un très grand nombre de connexions dans des conditions souvent difficiles.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet CODEF financé par le gouvernement français.

## RÉFÉRENCES

- [1] K. Shiraishi, Y. Aizawa, S. Kawakami, "Beam expanding Fiber Using Thermal Diffusion of the Dopant", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 8, n°8, pp. 1151-1161, August 1990.
- [2] A. Nicia, "Lens coupling in fiber-optics devices: efficient limits", *Applied Optics*, vol. 20, n°18, pp. 3136-3145, sept. 15, 1981.
- [3] D. Childers, M. Hughes, S. Lutz, T. Satake, "Design and performance of expanded beam, multi-fiber connectors", ThC1, Invited paper, Los Angeles, Optical Fiber Conference, 2015.
- [4] S. D. Le, M. Gadonna, M. Thual, L. Quétel, J.-F. Riboulet, V. Metzger, D. Parker, A. Philippe, and S. Claudot, "Reliable Expanded Beam Connector Compliant with Single-mode Fiber Transmission at 10 Gbit/s", oral session, W4B.5, Los Angeles, Optical Fiber Communications 2015.
- [5] H. Kogelnik, "Coupling and conversion coefficients for optical modes," in *Proceeding Symposium Quasi-Optics*, vol. 14, pp. 333-347 (1964).
- [6] M. D. Feit and J. A. Fleck, Jr., "Light propagation in graded-index optical fibers," *Appl. Opt.*, vol. 17, no. 24, pp. 3990-3998 (1978).
- [7] R. Nagase, T. Shintaku, E. Sugita, "Effect of axial compressive force for connection stability in PC optical fibre connectors", *Electronics Letters*, Vol. 23, N° 3, pp.103-104, 29<sup>th</sup> January 1987.