

TRANSMISSION BI-DIRECTIONNELLE À 100 Gb/s AVEC ADAPTATION DE MODE DANS UNE FIBRE ANTI-RÉSONANTE À CAPILLAIRES IMBRIQUÉS

Joseph ZANDUETA¹⁻², Maël BIDEAU¹, Fabienne SALIOU¹, Laurent BRAMERIE²,
Mathilde GAY², Laurent PROVINO³, Philippe CHANCLOU¹, Monique THUAL²

¹ Orange Innovation, 22300 Lannion, France

² Université de Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, 22305 Lannion, France

³ Photonics Bretagne, 22300 Lannion, France

joseph.zanduetta@orange.com

RÉSUMÉ

Une transmission Ethernet bi-directionnelle à 100 Gb/s dans la bande O dans une fibre anti-résonante à capillaires imbriqués est démontrée pour la première fois à notre connaissance. Le couplage dans la fibre est optimisé grâce à une fibre micro-lentillée à gradient d'indice.

MOTS-CLEFS : NANF; 100GBASE; microlentille

1. INTRODUCTION

Les fibres à cœur creux offrent de nombreux avantages par rapport aux fibres pleines conventionnelles [1]. Récemment, les fibres anti-résonantes à capillaires imbriqués (Nested Antiresonant Nodeless Fibres, NANF) ont suscité l'attention pour leur utilisation en télécommunications. La géométrie de ces fibres se compose le plus souvent d'un assemblage de 5 ou 6 capillaires de tailles microniques où un second capillaire de plus petite taille est imbriqué dans chacun des capillaires. L'épaisseur de paroi de l'ensemble des capillaires est choisie de manière que la fibre présente une condition d'anti-résonance dans les gammes de longueurs d'onde d'intérêt [2]. Pour des raisons de faisabilité et de propriétés de guidage, le diamètre du cœur creux de ces fibres utilisées dans des applications télécoms à 1310 nm / 1550 nm est souvent de l'ordre de 30 μm , soit un diamètre de cœur beaucoup plus grand que celui d'une fibre standard monomode comprise entre 8 et 10 μm (G652. Standard Single Mode Fibre, SSMF).

Étant donné que les réseaux et les équipements optiques sont actuellement conçus pour la fibre standard, cela pose un défi évident pour limiter les pertes d'injection. Une adaptation de mode grâce à une microlentille à base de fibre à gradient d'indice (GRADIENT INDEX, GRIN) permettrait théoriquement d'obtenir des pertes d'insertion nulles hors pertes de réflexion de Fresnel [3]. En outre, la transition entre le cœur en silice et l'air, et vice versa, entraîne théoriquement une réflexion de 4 % de la puissance optique, soit 14 dB de pertes en réflexion (RL), en raison de la différence d'indice de réfraction. Aujourd'hui, des records de transmission au-delà de 100 Gb/s sont atteints. On peut citer la norme 100GBASE-ER4 dans laquelle le RL doit être supérieur à 20 dB.

Dans cet article, nous analysons expérimentalement l'adaptation du diamètre de mode (MFD) d'une SMF vers une NANF par une microlentille (SMF-GRIN) en comparaison avec un couplage par une SMF. Les résultats montrent une réduction des pertes d'insertion avec la fibre GRIN. De plus, nous observons des performances favorables par rapport aux réflexions, qui sont critiques aux hauts débits. Enfin, nous mettons en place une liaison à 100 Gb/s bidirectionnelle dans la bande O en utilisant cette méthode de couplage.

2. ADAPTATION DE MODE ET MESURES DE PUISSANCES

Nous avons utilisé 495 m de NANF à six capillaires imbriqués non connectée conçue pour guider dans la bande O (1260 nm - 1360 nm) (Fig 1.d). La microlentille consiste en un tronçon de fibre à gradient d'indice (GRIN) soudé sur une fibre SMF [3]. La longueur de GRIN est de 380 μm pour obtenir un MFD proche de la valeur théorique de 26,5 μm calculée à 1360 nm. Nous avons réalisé une analyse en champ lointain à 1310 nm pour déterminer le MFD de la SMF. Les MFDs de la SMF-GRIN

et de la NANF étant larges et le faisceau de la NANF pas parfaitement gaussien à sa base, du fait de l'arrangement hexagonal des capillaires, la méthode du champ proche est complémentaire de la mesure en champ lointain. Ainsi nous avons fait une moyenne des mesures de MFD par ces deux méthodes décrites dans [4]. Les valeurs moyennes de MFDs ainsi mesurées sont de $26 \pm 2 \mu m$ pour la SMF-GRIN et $26,6 \pm 2 \mu m$ pour la NANF. Même si ces valeurs comportent des incertitudes importantes, le MFD de la SMF-GRIN, très proche de celui de la NANF, met bien en évidence l'adaptation des modes grâce à la microlentille, comme le montrent les images des faisceaux observés en champ proche sur les Fig. 1.b et 1.c. Le rendement de couplage théorique entre la SMF-GRIN et la NANF est donc optimal (0 dB de pertes) alors qu'entre la SMF et la NANF il est de -3,8 dB du fait du désaccord des diamètres des modes. Cependant, si les tolérances de positionnement latérales et axiales sont relâchées pour le couplage de grands modes bien adaptés, les tolérances de positionnement angulaires sont plus critiques que pour des petits modes [5]. La Fig 1.e montre l'évolution du rendement de couplage en fonction d'un défaut d'alignement angulaire comparativement entre des faisceaux gaussiens de MFD de la SMF et de la SMF-GRIN devant la NANF.

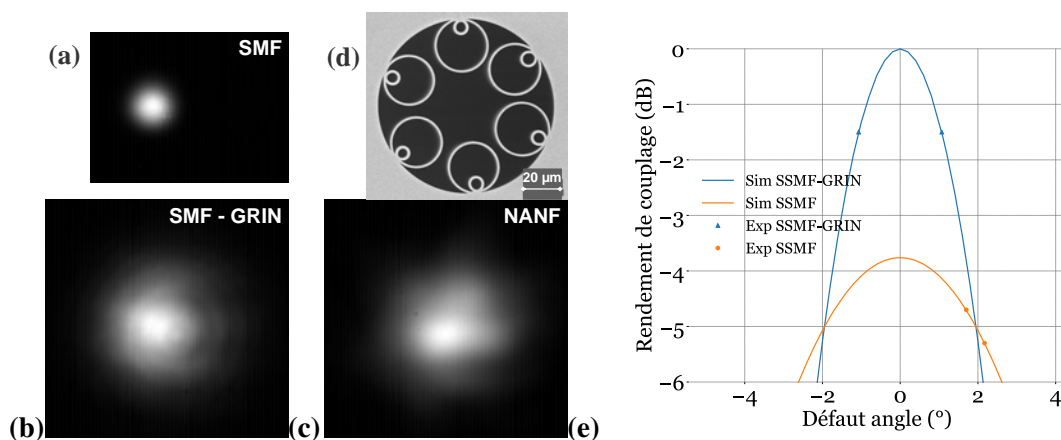


FIGURE 1 – (a, b, c) Vue des faisceaux en champ proche, (d) Coupe transversale de la NANF obtenue au microscope électronique à balayage, (e) Tolérance angulaire au couplage avec une NANF.

Ces courbes montrent que l'utilisation de la microlentille permet d'obtenir un meilleur rendement de couplage vers la NANF qu'avec la SMF pour un défaut d'alignement angulaire de moins de $\pm 2^\circ$. Et ceci est vrai quel que soit le défaut d'alignement latéral ou axial.

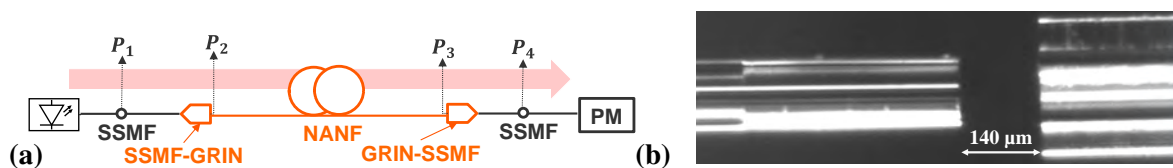


FIGURE 2 – (a) Schéma du montage expérimental indiquant les différents points de mesure de puissance : P_1 en sortie monomode du laser, P_2 en sortie de SMF-GRIN, P_3 en sortie de NANF et P_4 en sortie de jarretière GRIN-SMF. (b) Image de l'alignement SMF-GRIN-NANF.

La Figure 2.a montre le schéma pour la mesure expérimentale de puissance. Nous avons d'abord fait la différence entre la puissance de sortie du laser (1310 nm) connecté à la microlentille, fibre qui se termine par la partie GRIN nue. La puissance entre ces deux points a été vérifiée à l'aide d'une sphère intégratrice. Les pertes sont seulement de 0,3 dB entre P_1 et P_2 . Nous avons ensuite aligné la SMF-GRIN devant la NANF (voir Fig. 2.b) jusqu'à obtenir la puissance transmise optimale à l'aide d'un puissance-mètre (PM). Avec ce couplage idéal, nous avons mesuré la puissance à la sortie de la microlentille P_4 et ensuite à la sortie de la NANF P_3 . Nous avons trouvé seulement 1,5 dB de perte de couplage entre la

SMF-GRIN et la NANF d'un côté et de l'autre de la NANF. De même, nous avons mesuré des pertes de couplage SMF-NANF de 4,7 dB d'un côté de la NANF et 5,3 dB de l'autre. Ceci démontre l'intérêt de la solution GRIN par rapport à la SMF seule pour diminuer les pertes d'insertion dans la NANF. A partir de ces mesures de pertes d'insertion nous avons calculé les pertes dues à l'atténuation dans les 495 m de NANF, qui sont de 4 dB avec microlentille et 4,2 dB avec SMF seule ce qui correspond à une atténuation linéique moyenne de la NANF de 8,3 dB/km à 1310 nm. Les pertes de couplage de 1,5 dB mesurées entre la SMF-GRIN et la NANF correspondraient à un défaut d'alignement angulaire de $\pm 1^\circ$ (voir Fig. 1.e). Nous avons ensuite analysé les pertes en retour (RL). Pour cela, nous avons inséré un circulateur en amont du montage précédent afin de mesurer la puissance réfléchie lors de la transition entre la fibre pleine et la fibre à cœur creux. Nous avons mesuré des RL de 17 dB avec la SMF clivée droite (pour 14,7 dB en théorie). En revanche les RL mesurés sont de 24 dB pour une interconnexion avec la microlentille. Il a effectivement été montré qu'un petit défaut angulaire de clivage de la GRIN conduit à un décalage spatial et donc à un moindre recouplage de la puissance réfléchie au niveau du dioptre GRIN-air vers la SMF. Ces résultats mettent en évidence une nouvelle fois l'avantage d'utiliser la microlentille. Nous avons également observé que la NANF ne joue pas de rôle significatif dans les réflexions détectées.

3. PERFORMANCES DE TRANSMISSIONS BIDIRECTIONNELLES 100 GB/S DANS LA NANF

Enfin, nous avons testé les performances de cette fibre fonctionnalisée avec les GRINs dans un contexte de communication optique. Pour réaliser des tests de transmission en temps réel à 100 Gb/s bidirectionnelle, nous avons employé deux émetteurs-récepteurs du signal PAM4 à 53,125 Gbaud qui émettent à 1304 nm pour le canal montant et à 1309 nm pour le canal descendant, avec une interface optique terminée en SMF. Nous avons utilisé un testeur Ethernet pour générer des données et compter les erreurs de transmission de paquets. Nous n'avons mesuré aucune pénalité en utilisant la NANF par rapport à un lien en configuration directe SMF, et des budgets optiques atteignant 23,2 dB pour les deux cas ont été mesurés.

CONCLUSION

Dans cet article, afin d'évaluer les contraintes potentielles liées à l'emploi des NANFs dans les réseaux optiques nous avons examiné l'intérêt d'un couplage NANF-SMF avec adaptation de mode grâce à une microlentille à fibre à gradient d'indice. Cette solution offre un meilleur couplage en termes de pertes d'insertion et, de plus, cette adaptation améliore les RL par rapport à une solution sans adaptation de mode.

Pour démontrer son potentiel, nous avons effectué une transmission à 100 Gb/s bidirectionnelle dans une fibre NANF, capable potentiellement de réduire la latence jusqu'à 30 % entre les terminaisons des réseaux de télécommunication de demain. Les résultats mettent en évidence la possibilité d'utiliser ce type de fibres pour des transmission haut débit et faible latence.

RÉFÉRENCES

- [1] Wesley GILLIAM et al. "Far-ultraviolet optical fibers for instrumentation in the sub-200 nm regime". In : *UV/Optical/IR Space Telescopes and Instruments* : 2021. DOI : 10.1117/12.2594196.
- [2] Gregory T JASION et al. "0.174 dB/km Hollow Core Double Nested Antiresonant Nodeless Fiber (DNANF)". In : *OFC*. 2022, p. Th4C.7. DOI : 10.1364/OFC.2022.Th4C.7.
- [3] Monique THUAL et al. "Truncated Gaussian beams through microlenses based on a graded-index section". In : *Optical Engineering* 46 (2007), p. 015402. DOI : 10.1117/1.2431798.
- [4] Nadjiba BOULAICHE et al. "Hemi-ellipsoidal microlensed fiber based on polishing and polymer technology". In : *Engineering Research Express* (déc. 2021). DOI : 10.1088/2631-8695/ac3a58.
- [5] Sy Dat LE et al. "Coupling Efficiency and Reflectance Analysis of Graded Index Expanded Beam Connectors". In : *Journal of Lightwave Technology* (2016), p. 2092-2099. DOI : 10.1109/JLT.2016.2525804.