

AUTO-NETTOYAGE DE FAISCEAUX MULTIMODES DANS LA BANDE TELECOM

Yann Leventoux¹, Geoffroy Granger¹, Alexandre Parriaux², Mathieu Jossent³, Laure Lavoute³, Dmitry Gaponov³, Alessandro Tonello¹, Katarzyna Krupa², Marc Fabert¹, Guy Millot², Sebastien Février¹, Stefano Wabnitz⁴, Vincent Couderc¹

¹ *Institut Xlim, UMR CNRS 7252, Université de Limoges, 87 060 Limoges, France*

² *Université de Bourgogne Franche-Comté, ICB, UMR CNRS 6303, 9 av. A.Savary, 21078 Dijon, France*

³ *Novae, ZI du Moulin Cheyroux, 87700 Aix-sur-Vienne, France*

⁴ *DIET, Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy*

yann.leventoux@unilim.fr

RESUME

Nous avons démontré expérimentalement la possibilité de faire de l'auto-nettoyage Kerr avec des impulsions picosecondes dans le régime de dispersion anormale d'une fibre optique multimode à gradient d'indice. Le seuil de déclenchement de l'effet est réduit d'un ordre de grandeur par rapport aux travaux réalisés en régime de dispersion normale.

MOTS-CLEFS : *non-linéaire, fibre, brillance*

1. INTRODUCTION

Ces dernières années les fibres optiques multimodes (FOMs) ont connu un regain d'intérêt pour le développement de nouvelles sources lasers et pour l'étude de la dynamique spatio-temporelle non-linéaire. [1-5]. L'utilisation de ces fibres est souvent confrontée à la difficulté de coupler et de propager un faisceau gaussien monomode sur le mode fondamental de la fibre. En effet, le couplage modal propre aux FOMs implique une dégradation sévère de la qualité du faisceau sur de faibles distances de propagation.

Dans ce travail, nous avons démontré expérimentalement que la propagation non linéaire d'impulsions picosecondes à dérive de fréquence à des longueurs d'onde télécoms permet d'inhiber le couplage modal dans des FOMs à gradient d'indice (GRIN). En particulier nous mettons en évidence la génération d'un faisceau monomode après 12 m de propagation. Grâce à des conditions particulières de couplage, il est possible d'observer un transfert de l'énergie des modes d'ordre élevé de la fibre vers le mode LP₀₁. Ce nettoyage est analogue à celui montré récemment dans le régime de dispersion normale [2-5]. L'un des faits marquants est que le seuil de puissance de déclenchement de cet effet d'auto-nettoyage soit réduit d'un ordre de grandeur par rapport à celui observé en régime de dispersion normale.

2. EXPERIMENTATION

Le banc expérimental pour observer l'effet d'auto-nettoyage spatial dans le régime de dispersion anormale d'une FOM GRIN, est basé sur une source laser délivrant des impulsions de largeur à mi-hauteur de 1 ps étirées à 200 ps et à une cadence de 1 MHz. La largeur spectrale à -3 dB du maximum (à 1562 nm) est de 7 nm. La fibre GRIN utilisée est excitée par couplage direct avec une fibre monomode standard (SMF). Le faisceau en sortie de la SMF est de forme gaussienne avec un diamètre à 1/e² en intensité de ~9µm, permettant une efficacité de couplage dans la fibre GRIN supérieur à 80 %. La fibre a un rayon de cœur de 25µm, avec une différence d'indice cœur gaine de 0,015, pour une ouverture numérique de 0,2.

La figure 1 montre l'évolution du champ proche en sortie de la fibre en fonction de la puissance de sortie. Nous voyons clairement que le faisceau est multimode pour des puissances crêtes inférieures

à 10 W. Cependant, à partir d'une puissance crête d'environ 200 W, le faisceau s'organise de telle sorte que l'énergie se concentre dans ce qui semble être le mode fondamental.

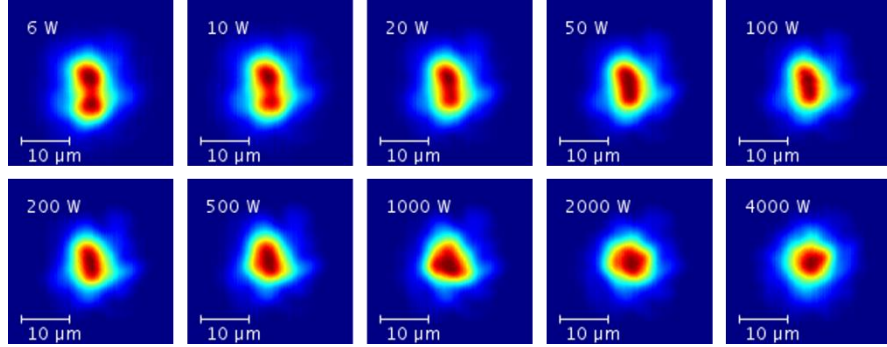


Fig. 1 : Évolution du champ proche en sortie de la fibre GRIN en fonction de la puissance de sortie (les puissances sont mesurées en sortie de fibre après la lentille de collimation).

Nous avons ensuite mesuré le degré de corrélation C_s entre ces images en champ proche et le mode fondamental de la fibre calculé numériquement, via la formule:

$$C_s = \frac{\int I_{exp} I_{th} dS}{\sqrt{\int I_{exp}^2 dS \int I_{th}^2 dS}} \quad (1)$$

où I_{exp} et I_{th} représentent respectivement le profil d'intensité en sortie de fibre et le profil d'intensité calculé numériquement. Comme nous pouvons le voir sur la figure 2, la corrélation en intensité C_s augmente de manière monotone en fonction de la puissance, jusqu'à atteindre plus de 98% à haute puissance. De plus, les mesures en champ lointain nous ont permis de démontrer que la divergence du faisceau est seulement de 1.15 fois supérieure à la divergence d'un faisceau purement gaussien.

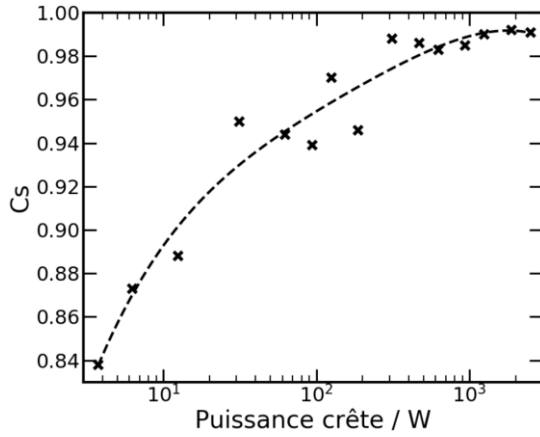


Fig. 2 : Corrélation en intensité entre les champs proches mesurés et le LP_{01} calculé numériquement en fonction de la puissance crête des impulsions.

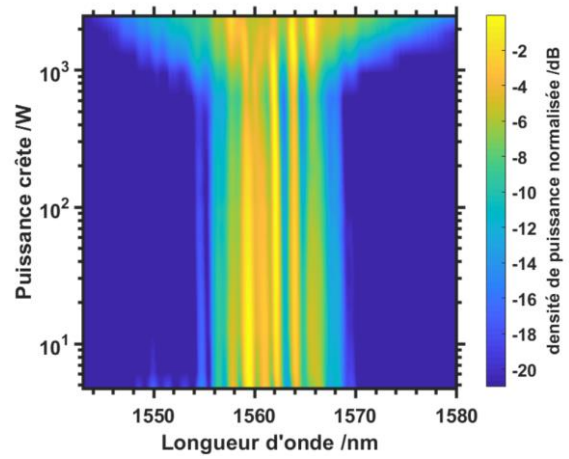


Fig. 3 : Évolution du spectre de l'impulsion en sortie de fibre à GRIN en fonction de la puissance de sortie.

Les figures 1 et 2 montrent que le processus d'auto-nettoyage en régime de dispersion anormale est plus efficace que celui observé pour le même type de fibre en régime de dispersion normale. En effet, le seuil d'apparition de l'effet est réduit d'un ordre de grandeur (quelques dizaines de Watts crête au lieu de 1 kW [2]). Cette diminution du seuil est directement imputable au faible nombre de modes excités et à la longueur d'onde d'excitation plus élevée (1,562 μm ici au lieu de 1,064 μm [2]). D'autre part nous observons une corrélation en intensité avec le mode fondamental proche de 1, alors que lors des expériences menées en régime normal il subsistait un large piédestal multimode [2].

En dépit d'un très bon couplage du faisceau d'entrée sur le mode fondamental de la fibre GRIN, la figure 1 montre que la qualité du faisceau de sortie est dégradée à faible puissance à cause de la présence de modes d'ordre élevé. Pour une puissance d'entrée plus forte, l'effet Kerr, combiné au phénomène d'auto-imagerie périodique, permet l'instauration de mélanges paramétriques à quatre ondes qui rompent l'orthogonalité entre les modes. Cela engendre alors un transfert d'énergie des modes d'ordre élevé vers le mode fondamental. L'automodulation de phase permet alors de rendre irréversible ce phénomène paramétrique et façonne de manière définitive le profil d'un mode unique en sortie de fibre.

Outre la stabilité de la figure spatiale en sortie de fibre, cet effet non linéaire montre une bonne stabilité en fonction de la puissance crête dans le domaine fréquentiel (figure 3) et dans le domaine temporel (non montré). La figure 3 montre que le spectre reste inchangé jusqu'à des puissances proches de 1500 W, puissance à laquelle nous observons l'apparition d'automodulation de phase. Ainsi le processus d'auto-nettoyage qui commence à quelque dizaine de watts, est de type Kerr et n'est pas imputable à l'effet Raman qui apparaît à 2000 W.

CONCLUSION

Pour conclure, nous avons montré expérimentalement la possibilité de nettoyer un faisceau par effet Kerr dans des fibres GRIN multimodes en régime de dispersion anormale, avec une bonne efficacité. Nous avons observé un transfert quasiment complet de l'énergie vers le mode fondamental de la fibre. Le seuil de nettoyage est réduit d'un ordre de grandeur par rapport à celui observé précédemment dans le régime de dispersion normale. Le spectre du faisceau nettoyé reste inchangé jusqu'à une puissance crête de 1500W. De manière similaire l'enveloppe temporelle des impulsions reste stable jusqu'à la même puissance.

Ces résultats sont d'un grand intérêt pour l'utilisation des FOMs pour le développement de nouvelles sources laser monochromatiques et de nouvelles sources de supercontinuum pouvant alimenter des systèmes de micro-spectroscopie optique.

REFERENCES

- [1] M.E. Fernmann et al., "Single-mode amplifiers and compressors based on multimode fibers," US Patent 5818630 (1998).
- [2] K. Krupa et al., "Spatial beam self-cleaning in multimode fiber," *Nat. Photon.* **11**, p. 237 (2017).
- [3] Z. Liu et al., "Kerr self-cleaning of femtosecond-pulsed beams in graded-index multimode fiber," *Opt. Lett.* **41**, p. 3675 (2016).
- [4] R. Guenard et al., "Kerr self-cleaning of pulsed beam in ytterbium doped multimode fiber," *Opt. Express* **25**, p. 4783 (2017).
- [5] L. G. Wright, Z. Liu, D. A. Nolan, M.-J. Li, D. N. Christodoulides, and F. W. Wise, "Self-organized instability in graded-index multimode fibres," *Nat. Photonics* **10**, 771–776 (2016).