

Conception d'une nouvelle fibre optique microstructurée à dispersion normale pour la génération de supercontinuum à 1030 nm

R. Morel¹, V. Thibaut², M. Marcadier^{2,3}, A. Jullien², N. Forget²,
A. Cassez⁴, V. Andrieux⁴, S. Garzandat⁴, A. Kudlinski⁴, J. M. Dudley¹, and T. Sylvestre^{1,*}

1: Institut FEMTO-ST, CNRS, Université Marie et Louis Pasteur, Besançon, France

2: Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Physique de Nice (INPHYNI), Nice, France

3: Fastlite, Antibes, France

4: Université de Lille, CNRS, PhLAM, Physique des Lasers Atomes et Molécules, Lille, France

*Email: thibaut.sylvestre@univ-fcomte.fr

RESUME

Nous présentons une fibre à cristal photonique à dispersion entièrement normale et à maintien de polarisation, optimisée pour un pompage femtoseconde à 1030 nm. Conçue pour les applications ultrarapides, elle permet une génération de supercontinuum ultra-stable, couvrant une plage spectrale de 750 nm à 1300 nm.

MOTS-CLEFS : *fibres optiques; supercontinuum; lasers; optique non linéaire*

1. INTRODUCTION

La génération de supercontinuum (SCG) dans les fibres optiques à dispersion totalement normale (ANDi) suscite un intérêt croissant en raison de sa capacité à offrir une large bande spectrale uniforme, une forte brillance, ainsi qu'une excellente stabilité et cohérence [1–3]. Les sources supercontinuum basées sur ces fibres optiques sont essentielles pour de nombreuses applications, notamment la tomographie par cohérence optique (OCT), l'imagerie non linéaire, les technologies ultrarapides et la spectroscopie à double peigne de fréquences à limite du bruit quantique [3]. Elles reposent principalement sur les effets non linéaires d'auto-modulation de phase (SPM) et de rupture d'onde dispersive (OWB), préservant ainsi la stabilité initiale du laser de pompe sans amplifier le bruit quantique, contrairement aux sources de supercontinuum en régime de dispersion anormale basées sur les solitons temporels.

Dans ce travail, nous présentons une nouvelle fibre à cristal photonique (PCF) innovante, à maintien de polarisation et à dispersion totalement normale (PM-ANDi), spécialement conçue pour un pompage femtoseconde à 1030 nm et une génération de SC efficace entre 750 nm et 1300 nm. Elle est optimisée pour les systèmes d'amplificateurs paramétriques optiques (OPA) ultrarapides et largement accordables.

2. DESIGN ET CARACTERISATION DE LA FIBRE

La Figure 1(a) montre une image MEB de la section transverse de la fibre PCF-PM-ANDi de silice F300, qui comporte 11 rangées de trous d'air afin de minimiser les pertes de confinement. La propriété de maintien de polarisation est obtenue grâce à deux trous centraux de 0.7 μm élargis, une alternative aux barreaux de verres dopé au bore dans la gaine [4]. En optimisant soigneusement le pas (1.42 μm) entre les trous de la microstructure et le diamètre des trous (0.6 μm), nous obtenons un profil de dispersion totalement normale, de profil

parabolique, avec un minimum de autour de 1030 nm, ainsi que de faibles pertes optiques et une conservation efficace de la polarisation, répondant ainsi aux exigences expérimentales pour les applications OPA.

La figure 1(a) présente les profils de dispersion mesurés à l'aide d'un interféromètre en lumière blanche et simulés avec une méthode d'éléments finis (Lumerical Mode Solutions), pour les axes rapide et lent de la fibre PM-ANDi. On obtient ainsi un maximum de dispersion de -10 ps/nm/km à 1030 nm, ce qui est suffisant pour garantir un élargissement spectral important de l'impulsion laser femtoseconde. Par ailleurs, la biréfringence de forme a été mesurée à environ 2×10^{-4} à 1030 nm, avec un taux d'extinction de polarisation de 23 dB pour l'axe lent et 26 dB pour l'axe rapide. Ces valeurs assurent un maintien efficace de la polarisation tout en évitant les instabilités non linéaires de polarisation croisée (XPMI) [5].

3. GENERATION DU SUPERCONTINUUM

Nous avons ensuite testé la fibre PM-ANDi à l'aide d'un laser femtoseconde Yb:YAG CPA (modèle PHAROS PH1-SP-1mJ), délivrant des impulsions de 180 fs de durée (FWHM) à la longueur d'onde de 1034 nm, et analysé la sortie avec un spectromètre optique. La figure 1(b) illustre une carte en fausses couleurs de l'intensité spectrale en fonction de l'énergie délivrée par l'impulsion femtoseconde, comparant les mesures expérimentales (en bas) aux simulations numériques (en haut). Ces simulations, basées sur une équation généralisée de Schrödinger non linéaire incluant la dispersion, les pertes de confinement et les non linéarités du troisième ordre, montrent un excellent accord avec l'évolution globale et la largeur spectrale obtenue. La Figure 1(c, d) présente les profils spectraux expérimentaux (jusqu'à 14,6 nJ - 80 kW de puissance de crête) en échelles linéaire et logarithmique.

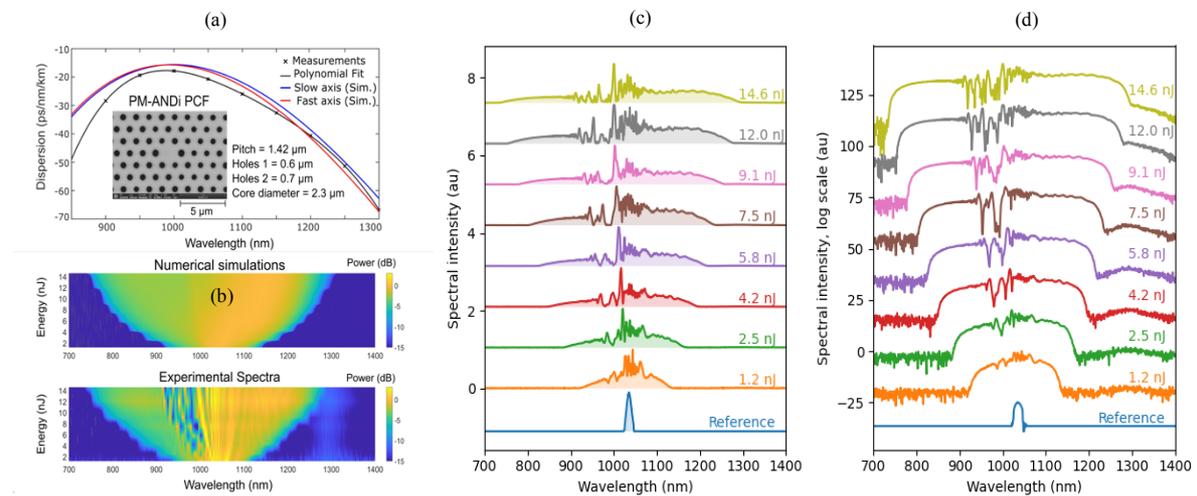


Figure 1 : a) Dispersion de vitesse de groupe (GVD) de la fibre PCF PM-ANDi fabriquée, illustrée en encart (image MEB du cœur et de la microstructure). (b) Spectres de supercontinuum numériques et expérimentaux en fonction de l'énergie des impulsions d'entrée. (c) et (d) Spectres expérimentaux de supercontinuum en fonction de l'énergie des impulsions en échelles linéaire et logarithmique.

À l'énergie d'impulsion maximale, le supercontinuum généré par la fibre PM-ANDi s'étend de 750 nm à 1300 nm, avec une largeur spectrale de -5 dB atteignant 650 nm, démontrant ainsi des performances à l'état de l'art [4]. Les modulations du spectre observées près de 1000 nm sont dues à la dérive de fréquence du troisième ordre initiale de l'impulsion laser et peuvent par conséquent être compensées. D'autres résultats seront présentés avec un autre laser de pompe à 1030 nm sans dérive de fréquence, ainsi qu'une mesure de stabilité et de cohérence.

4. CONCLUSION

En conclusion, nous avons présenté le processus de conception et de fabrication d'une fibre optique microstructurée à dispersion totalement normale et à maintien de polarisation, optimisée pour la génération de supercontinuum ultra-stable dans la bande 750-1300 nm. Les résultats obtenus, à la pointe de l'état de l'art, ouvrent des perspectives prometteuses pour le développement de sources paramétriques ultrarapides et largement accordables.

REFERENCES

- [1] T. Sylvestre et al., "Recent advances in supercontinuum generation in specialty optical fibers," *JOSA.B* 38(12), F90–F103 (2021).
- [2] S. Rao et al., "Shot-noise limited, supercontinuum-based optical coherence tomography," *Light: Sci. & App.* 10, 133–145 (2021).
- [3] A. Rampur et al., "Perspective on the next generation of ultra-low noise fiber supercontinuum sources and their emerging applications in spectroscopy, imaging, and ultrafast photonics. *Appl. Phys. Lett.* 118 (24): 240504 (2021).
- [4] E. Genier et al., "Ultra-flat, low-noise, and linearly polarized fiber supercontinuum source covering 670–1390 nm," *Opt. Lett.* **46**, 1820 (2021).
- [5] E. Genier et al., "Cross-phase modulation instability in PM ANDi fiber-based supercontinuum generation," *Opt. Lett.* **45**, 3545-3548 (2020).