

Génération de supercontinuum par cascade de mélanges à quatre ondes intermodaux dans une fibre optique multimode à saut d'indice

Solveig Perret, Gil Fanjoux, L. Bigot, Julien Fatome, J.M. Dudley, Thibaut Sylvestre

▶ **To cite this version:**

Solveig Perret, Gil Fanjoux, L. Bigot, Julien Fatome, J.M. Dudley, et al.. Génération de supercontinuum par cascade de mélanges à quatre ondes intermodaux dans une fibre optique multimode à saut d'indice. Journées Nationales d'Optique Guidée, Jul 2018, Toulouse, France. hal-02343429

HAL Id: hal-02343429
https://hal.science/hal-02343429

Submitted on 2 Nov 2019

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.

HAL
archives-ouvertes.fr

Génération de supercontinuum par cascade de mélanges à quatre ondes intermodaux dans une fibre optique multimode à saut d'indice

S Perret, G. Fanjoux, L. Bigot, J. Fatome, G. Millot, J Dudley, Thibaut Sylvestre

▶ **To cite this version:**

S Perret, G. Fanjoux, L. Bigot, J. Fatome, G. Millot, et al.. Génération de supercontinuum par cascade de mélanges à quatre ondes intermodaux dans une fibre optique multimode à saut d'indice. OPTIQUE, Jul 2018, Toulouse, France. hal-01897772

HAL Id: hal-01897772
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01897772

Submitted on 17 Oct 2018

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.

Génération de supercontinuum par cascade de mélanges à quatre ondes intermodaux dans une fibre optique multimode à saut d'indice

S.Perret[1], G. Fanjoux[1], L. Bigot[2], J. Fatome[3], G. Millot[3], J. M. Dudley[1], & T. Sylvestre[1]

[1] *Institut FEMTO-ST, UMR 6174 CNRS – Université Bourgogne Franche-Comté, 25030 Besançon*

[2] *PhLAM Laboratoire de Physique des Lasers Atomes et Molécules, CNRS, Université de Lille, 59655 Villeneuve-d'Ascq, France*

[3] *Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon, France*

solveig.perret@femto-st.fr

RÉSUMÉ

Nous démontrons la génération d'un supercontinuum allant de 560 nm à 2350 nm en injectant un laser picoseconde à 1064 nm dans une simple fibre optique multimode à saut d'indice via des processus en cascade de mélanges à quatre ondes intermodaux et de diffusion Raman stimulée.

MOTS-CLEFS : *supercontinuum ; fibre multimode ; mélange à quatre ondes intermodal*

1. INTRODUCTION

L'étude des interactions intermodales non linéaires dans les fibres multimodes (MMF) a récemment connu un regain d'intérêt en raison de démonstrations expérimentales probantes dans des domaines émergents de la physique des lasers et de la fibre optique [1]. Plus précisément, il a été démontré que les MMFs possèdent des propriétés modales spécifiques qui mêlent des effets spatio-temporels non linéaires fondamentalement différents de ceux observés dans les fibres monomodes standards. Il s'agit notamment de l'observation de solitons multimodes [2], du mélange à quatre ondes intermodal (FWM) [3,5], des instabilités géométriques paramétriques [5], de l'auto-nettoyage spatial de faisceau [6] et de la génération de supercontinuum (SC) [7,8].

Les observations les plus récentes ont été effectuées dans des fibres MMF à gradient d'indice présentant une faible dispersion intermodale. Dans ce travail, nous étendons l'étude aux fibres à saut d'indice ayant un faible nombre de modes à la fréquence de la pompe afin de montrer qu'elles peuvent présenter des processus de FWM intermodal ainsi que la génération de SC [9]. Nous démontrons en particulier la génération d'un SC (560-2350 nm) en couplant un laser Nd:YAG Q-déclenché picoseconde à 1064 nm dans une fibre silice dopée germanium de 50 m de long et 15 µm de diamètre de cœur.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 1(a) présente un schéma de montage expérimental et les principaux modes LP supportés par la fibre optique à 1064 nm. Le SC a été mesuré à l'aide de trois spectromètres optiques différents (OSA) pour couvrir toute la gamme de longueurs d'onde, et la distribution modale des bandes latérales générées par FWM a été imagée à l'aide d'un réseau de diffraction et d'une caméra CCD. La figure 1(b) montre le spectre du SC généré en sortie de fibre avec un rendement de couplage maximal (puissance de sortie moyenne de 13 mW). L'encart montre le mode optique en champ lointain dans le visible. La longueur d'onde de dispersion nulle pour cette fibre étant à 1300 nm, la pompe est donc en régime de dispersion normale. Dans ce cas, la génération du SC résulte d'une diffusion Raman stimulée en cascade pour l'élargissement dans l'infrarouge, et d'un processus de FWM intermodal à grand saut spectral pour l'extension vers le visible.

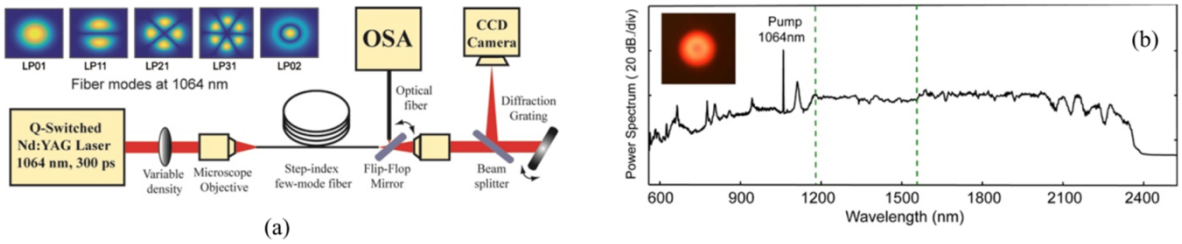


Figure 1 : (a) montage expérimental et (b) spectre du SC (560 nm → 2350 nm) généré dans la fibre à saut d'indice de 50 m de long, mesuré avec 3 spectromètres optiques différents (les lignes en pointillés indiquent les 3 gammes de mesure utilisées). Puissance de sortie moyenne : 13 mW.

Afin d'identifier clairement les mécanismes physiques sous-jacents, des expériences complémentaires ont été réalisées dans une fibre plus courte de 5 m. La figure 2 montre les spectres en sortie de fibre en fonction de la puissance pompe ainsi que les images en champ lointain des bandes latérales modales générées. Nous observons la génération d'une raie Raman Stokes de premier ordre à 1110 nm, et de deux bandes latérales paramétriques étroites à 968 nm et 1174 nm générées dans les modes LP01 et LP11 par FWM intermodal impliquant deux photons dans un mode de pompe mixte LP ?? (voir Fig. 2(b)). A puissance plus élevée, le processus FWM intermodal impliquant la pompe à 1064 nm génère un signal à 948 nm et un idler à 1210 nm (non visible sur la Fig. 2(a)). Les deux signaux à 948 et 968 nm sont alors suffisamment puissants pour générer deux autres bandes latérales paramétriques à 779 nm (LP01) et à 667 nm (LP02), respectivement, par cascade de FWM intermodal. Ces résultats expérimentaux sont confirmés par des calculs d'accord de phase intermodaux utilisant les indices effectifs et les coefficients de dispersion de tous les modes en interaction à l'aide d'un modèle numérique de fibre à saut d'indice.

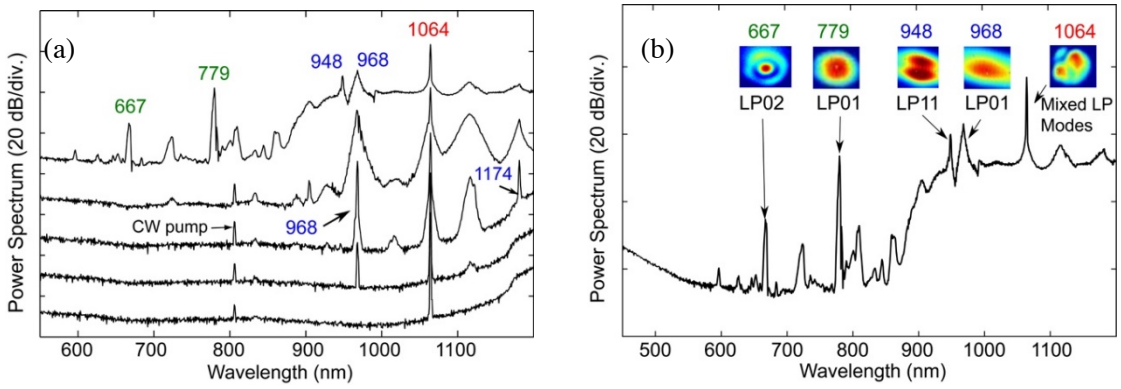


Figure 2 : (a) Spectres expérimentaux pour des puissances pompe de 0,85 mW, 1,6 mW, 2,6 mW, 3,5 mW et 8,1 mW (longueur de fibre : 5 m) ; (b) Spectre de sortie pour la puissance moyenne maximale. Les longueurs d'onde des composantes spectrales générées par FWM et les images des modes LP associés sont représentés.

CONCLUSION

Ces résultats significatifs montrent que la génération d'un SC couvrant deux octaves (560-2350 nm) peut être réalisée dans une simple fibre à saut d'indice contenant peu de mode et pompée en régime de dispersion normale avec un laser à 1064 nm. Nous avons identifié l'élargissement spectral comme résultant de la diffusion Raman en cascade et du mélange quatre ondes intermodal non linéaire. Les résultats démontrés dans ce travail pourraient fournir une approche pratique et novatrice de la génération efficace de SC avec une pompe éloignée de la longueur d'onde de dispersion nulle des fibres optiques.

RÉFÉRENCES

[1] L. G. Wright, D. N. Christodoulides, F. W. Wise, “Controllable spatiotemporal nonlinear effects in multimode fibres,” Nat. Photon. 9, 306 (2015).

[2] Z. Zhu, L. G. Wright, D. N. Christodoulides and F. W. Wise, “Observation of multimode solitons in few-mode fiber” Opt. Lett. 20, 4819 (2016).

[3] J. Demas, G. Prabhakar, T. He, and S. Ramanchandran, “Broadband and wideband parametric gain via intermodal four-wave mixing in optical fiber”, in “*Conference on Laser and Electro-Optics,”* (Optical Society of America, 2017), p. SM3M.1.

[4] R. Dupiol, A. Bendahmane, K. Krupa, A. Tonello, M. Fabert, B. Kibler, T. Sylvestre, A. Barthelemy, V. Couderc, S. Wabnitz, and G. Millot, "Far-detuned cascaded intermodal four-wave mixing in a multimode fiber," Opt. Lett. 42, 1293-1296 (2017).

[5] K. Krupa, A. Tonello, A. Barthelemy, V. Couderc, B. M. Shalaby, A. Bendahmane, G. Millot, and S. Wabnitz, “Observation of Geometric Parametric Instability Induced by the Periodic Spatial Self-Imaging of Multimode Waves.” Phys. Rev. Lett. 18, 183901 (2016).

[6] K. Krupa, A. Tonello, B. M. Shalaby, M. Fabert, A. Barthelemy, G. Millot, S. Wabnitz, and V. Couderc, “Spatial beam self-cleaning in multimode fibres,” Nat. Photon. 4, 237 (2017).

[7] M. A. Eftekhar, L. G. Wright, M. S. Mills, M. Kolesik, R. A. Correa, F. W. Wise and D. N. Christodoulides, “Versatile supercontinuum generation in parabolic multimode optical fibers,” Opt. Exp. 8, 9078 (2017).

[8] K. Krupa, C. Louot, V. Couderc, M. Fabert, R. Guenard, B. M. Shalaby, A. Tonello, D. Pagnoux, P. Leproux, A. Bendahmane, R. Dupiol, G. Millot, S. Wabnitz, “Spatiotemporal characterization of supercontinuum extending from the visible to the mid-infrared in a multimode graded-index optical fiber ,” Opt. Lett. 41, 5785 (2016).

[9] J. Demas, P. Steinvurzel, B. Tai, L. Rishoj, Y. Chen and S. Ramanchandran, “Intermodal nonlinear mixing with Bessel beams in optical fiber,” Optica 2, 1 (2015).