

Génération de supercontinuum dans une fibre optique capillaire remplie de Toluène

Gil Fanjoux¹, Samuel Margueron², Jean-Charles Beugnot¹ & Thibaut Sylvestre¹

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

² Laboratoire Matériaux Optiques, Photonique et Systèmes, Université de Lorraine et CentraleSupélec, 57070 Metz

gil.fanjoux@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ

Nous démontrons expérimentalement la génération d'un spectre supercontinuum de 550 nm à 880 nm dans une fibre optique à cœur liquide en régime picoseconde et en régime de dispersion normale forte, grâce à l'excitation de plusieurs raies Raman du liquide (toluène) et du processus de diffusion Raman-Kerr stimulée.

MOTS-CLEFS : *supercontinuum ; fibre à cœur liquide ; diffusion Raman multi-raies ; diffusion Raman-Kerr stimulée*

1. INTRODUCTION

Les fibres optiques à cœur liquide (FOCL) ont récemment prouvé leur potentiel attractif pour des applications de conversion de fréquence et de génération de supercontinuum (SC) [1-5]. Leurs nombreux avantages par rapport aux fibres optiques à cœur silice comprennent notamment une large fenêtre spectrale de transparence allant du visible à l'infrarouge moyen, des non-linéarités matérielles de type Kerr et Raman plus fortes, et enrichies par des processus physiques spécifiques aux liquides comme la dynamique de réorientation moléculaire pour les molécules anisotropes [6]. Nous démontrons ici, pour la première fois à notre connaissance, la génération d'un supercontinuum visible dans un capillaire avec un cœur rempli de toluène, en régime de dispersion normale forte et avec des impulsions lasers picosecondes à 532 nm. Nous montrons notamment que le SC est généré par les effets combinés de la diffusion Raman en cascade avec excitation de plusieurs raies vibrationnelles du toluène et de la diffusion Raman-Kerr stimulée (SRKS) mettant en jeu la dynamique réorientationnelle moléculaire. La dynamique spectro-temporelle de la génération de SC est également étudiée au moyen de simulations numériques de l'équation non linéaire de Schrödinger.

2. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET NUMERIQUES

Dans cette expérience, nous avons utilisé une fibre capillaire remplie de toluène de 2 m de long et de 9 μm de diamètre de cœur, pompée par un laser Nd:YAG doublé délivrant des impulsions de 18 ps à 532 nm. Lors de l'augmentation de l'énergie pompe injectée, nous avons clairement identifié différents processus physiques responsable de la génération du SC. Les principaux processus mis en jeu sont la diffusion Raman en cascade excitant préférentiellement deux raies vibrationnelles, ainsi que la diffusion Raman-Kerr stimulée (SRKS). Ce dernier processus permet un fort élargissement spectral côté Stokes des raies Raman grâce à la relaxation réorientationnelle des molécules liquides fortement anisotrope [6]. Ces processus sont clairement visibles expérimentalement sur la figure 1(a) qui montre l'évolution des spectres en sortie de la fibre à cœur liquide en fonction de l'énergie de la pompe de 3 nJ à 200 nJ. Comme on peut le voir, la génération d'un SC plat et large de 550 nm à 870 nm est obtenue pour l'énergie de pompe la plus élevée, contrairement à un spectre discontinu de raies fines correspondant aux raies Raman du liquide intuitivement attendu.

La dynamique SC se comprend à partir de l'évolution spectrale en fonction de l'énergie de la pompe. A basse énergie, nous observons deux raies vibrationnelles Raman en cascade décalées de 30 THz et 60 THz, respectivement (flèches verticales bleues dans la Fig. 1(a)), provenant du mode

vibrationnel de respiration moléculaire de l'anneau aromatique (ArB). Pour une énergie injectée supérieure, un pic Raman supplémentaire apparaît décalé de 92 THz par rapport à la pompe (flèche rouge horizontale dans la Fig. 1(a)), correspondant au mode de vibration d'étirement symétrique C-H de l'anneau aromatique (ArS). Ce mode de vibration est amplifié, bien que son gain Raman soit moitié inférieur à celui du mode ArB, en raison du régime transitoire Raman quasiment atteint. Une fois généré et amplifié, ce pic Raman étroit spectralement joue le rôle d'une pompe secondaire et génère à son tour d'autres pics Raman ArB et ArS indiqués par les flèches bleues et rouges de la Fig. 1(a). Le fort élargissement spectral visible pour toutes les raies Raman provient du processus SRKS [7].

Pour confirmer notre interprétation physique, nous avons résolu numériquement l'équation de Schrödinger non linéaire incluant l'effet Kerr, l'effet Raman (avec plusieurs modes de vibration du toluène), et la dispersion de vitesse de groupe. La figure 1(b) et (c) montre les résultats dans le domaine spectral (b) et temporel (c). L'accord avec le spectre expérimental à 17 nJ est excellent. Nous observons que l'impulsion picoseconde de la pompe à 532 nm génère simultanément les deux modes vibrationnels Raman ArB et ArS décalés respectivement de 30 THz (563 nm) et 92 THz (636 nm) par rapport à la pompe. Dans le domaine temporel, la séparation des impulsions est observée en raison de la forte dispersion normale de 120 ps.m^{-1} entre la pompe à 532 nm et la raie Raman ArS à 636 nm. Cette composante spectrale étroite et puissante peut à son tour se comporter comme une pompe secondaire et générer ses propres ordres Raman ArB et ArS. Les effets combinés de tous ces processus avec celui du SRKS conduisent à la génération d'un SC s'étendant de la pompe jusqu'à la bande d'absorption du toluène vers 870 nm, comme le montre la figure 1(a) pour le spectre d'énergie d'entrée la plus élevée.

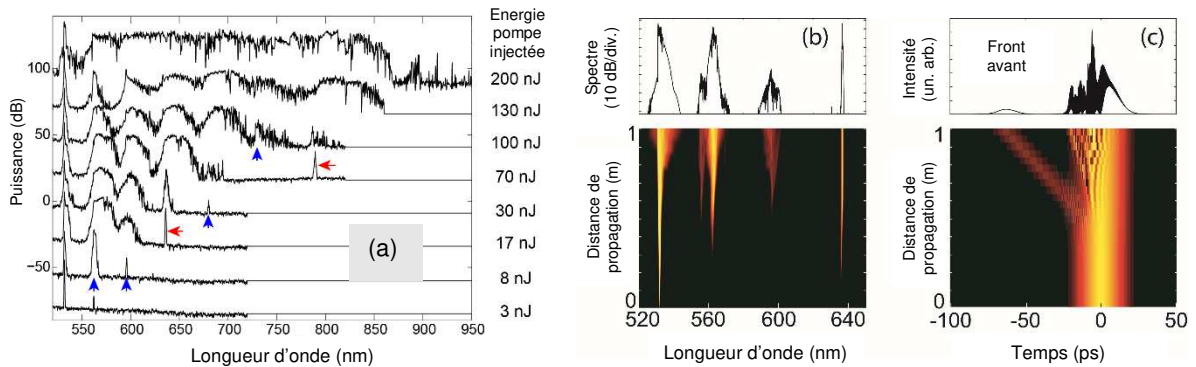


Figure 1 : (a) Evolution des spectres expérimentaux en sortie de fibre FOCL avec l'énergie pompe injectée. Voir le texte pour la signification des flèches rouges et bleues. (b) et (c) Simulations numériques dans le domaine temporel et spectral à partir de l'équation de Schrödinger non linéaire généralisée incluant le spectre Raman du toluène, l'effet Kerr, et la dispersion.

CONCLUSION

Nous avons démontré la génération d'un supercontinuum de 550 nm à 880 nm en utilisant une simple fibre optique capillaire remplie de toluène liquide. Ce résultat a été obtenu en pompant la fibre en régime de dispersion normale forte avec des impulsions picosecondes à 532 nm. Le régime picoseconde permet l'excitation de plusieurs modes de vibration Raman présentant des gains Raman différents, et qui sont fortement élargis par le processus de diffusion Raman-Kerr stimulée. Cette nouvelle approche montre le grand potentiel des fibres optiques à cœur liquide pour la génération efficace de supercontinuum.

Les auteurs remercient le projet ANR LABEX Action (LABEX ACTION ANR-11-LABX-0001-01).

RÉFÉRENCES

- [1] S. Lebrun, P. Delaye, R. Frey, and G. Roosen, "High-efficiency single-mode Raman generation in a liquid-filled photonic bandgap fiber", *Opt. Lett.*, vol. 32, pp 337-339, 2007.

- [2] S. Kedenburg, T. Gissibl, T. Steinle, A. Steinmann, and H. Giessen, "Towards integration of a liquid-filled fiber capillary for supercontinuum generation in the 1.2–2.4 μm range", *Opt. Exp.*, vol. 23, pp 231073, 2015.
- [3] L. Xiao, N. V. Wheeler, N. Healy, and A. C. Peacock, "Integrated hollow-core fibers for nonlinear optofluidic applications", *Opt. Express*, vol. 21, pp 28751, 2013.
- [4] G. Fanjoux, S. Margueron, J.-C. Beugnot, & T. Sylvestre, "Supercontinuum generation by stimulated Raman–Kerr scattering in a liquid-core optical fiber", *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 34, pp1677-1683, 2017.
- [5] M. Chemnitz, M. Gebhardt, C. Gaida, F. Stutzki, J. Kobelke, J. Limpert, A. Tünnermann & M. A. Schmidt, "Hybrid soliton dynamics in liquid-core fibres", *Nat. Comm.*, vol. 8, pp 42, 2017.
- [6] G. Fanjoux, A. Sudirman, J.-C. Beugnot, L. Furfaro, W. Margulis, and T. Sylvestre, "Stimulated Raman–Kerr scattering in an integrated nonlinear optofluidic fiber arrangement", *Opt. Lett.*, vol. 39, pp 5407-5410, 2014.
- [7] G.S. He and P.N. Prasad, "Stimulated Kerr scattering and reorientation work of molecules in liquid CS_2 ", *Phys. Rev. A*, vol. 41, pp 2687, 1990.