Génération d'un spectre infrarouge à forte densité spectrale de puissance dédié à la spectroscopie CARS polychromatique

Christophe Louot, Badr Mohamed Ibrahim Shalaby, Erwan Capitaine, Stéphane Hilaire, Dominique Pagnoux, Vincent Couderc

▶ **To cite this version:**

Christophe Louot, Badr Mohamed Ibrahim Shalaby, Erwan Capitaine, Stéphane Hilaire, Dominique Pagnoux, et al.. Génération d'un spectre infrarouge à forte densité spectrale de puissance dédié à la spectroscopie CARS polychromatique. Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG), Société Française d'Optique (SFO), Jul 2015, Rennes, France. hal-01246600

HAL Id: hal-01246600
https://unilim.hal.science/hal-01246600

Submitted on 21 Dec 2015

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 D'UN SPECTRE INFRAROUGE À FORTE DENSITÉ SPECTRALE DE PUISSANCE DÉDIÉ À LA SPECTROSCOPIE CARS POLYCHROMATIQUE

C. Louot[1], B. M. Shalaby[1,2], E. Capitaine[1], S. Hilaire[3], D. Pagnoux[1], V. Couderc[1]

[1] *Univ. Limoges, Xlim UMR CNRS 7252, F-8700 Limoges, France*
[2] *Université de Tanta, Faculté des Sciences, Tanta, Egypte*
[3] *Leukos, 37 rue Henri Giffard, 87280 Limoges, France*

christophe.louot@xlim.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons une source de continuum infrarouge optimisée pour la micro-spectroscopie Raman cohérente (CARS) de cellules biologiques. Elle est conçue de façon à émettre une forte densité spectrale de puissance dans la bande correspondant à la zone d'empreinte digitale des liaisons chimiques d'intérêt (1080-1600 nm pour un pompage à 1064 nm) tout en maintenant une très bonne synchronisation temporelle de l'ensemble de ses composantes spectrales. Cette source est basée sur un élargissement spectral induit dans une fibre microstructurée amplificatrice à large cœur dont la longueur d'onde de dispersion nulle est positionnée au centre de la bande spectrale d'intérêt.

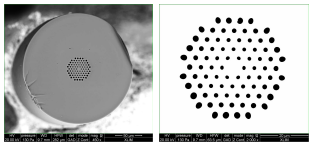
MOTS-CLEFS : *supercontinuum; fibre microstructurée; fibre amplificatrice; spectroscopie CARS.*

1. INTRODUCTION

La conception de sources lumineuses de forte brillance et à large spectre dans le domaine du proche infrarouge constitue un enjeu d'importance pour de nombreuses applications telles que la spectroscopie [1], la tomographie optique cohérente (OCT) [2] ou la détection de polluants [3]. A cet égard, les sources de supercontinuum basées sur l'élargissement spectral d'un faisceau laser de pompe dans une fibre optique monomode hautement non linéaire sont très attractives [4]. La micro-spectroscopie de type "CARS Multiplex" (*Coherent Anti-Stokes Raman Scattering*), requiert une source de ce type, émettant une forte densité spectrale de puissance. En outre, comme elle est basée sur une excitation simultanée du milieu analysé par une impulsion pompe quasi-monochromatique et par le continuum, cette technique nécessite que toutes les composantes spectrales du continuum soient bien synchronisées. Pour cela, il faut minimiser l'impact de la vitesse de groupe en limitant la longueur de la fibre non linéaire. Mais la recherche d'une forte puissance émise requiert de son côté un diamètre de cœur important, obligeant alors à utiliser une plus grande longueur de fibre pour obtenir une conversion importante vers les hautes longueurs d'onde. Pour lever les contraintes posées par ces conditions antagonistes, une solution consiste à utiliser une fibre non linéaire amplificatrice dans le but de régénérer/amplifier la pompe tout au long de la propagation, de façon à pouvoir engendrer un continuum étendu et puissant dans une courte longueur de fibre [5]. Dans cette communication, nous présentons un dispositif très simple basé sur l'emploi d'une fibre microstructurée dopée Yb^{3+}, dans le cœur de laquelle sont multiplexées une onde de pompe impulsionnelle à 1064 nm destinée à l'élargissement spectral ("signal") et une onde continue à 980 nm pour exciter les ions Yb^{3+} ("pompe") en vue de l'amplification du signal engendrant les effets non linéaires, tout au long de la fibre. Celle-ci est dessinée de sorte que la longueur d'onde de dispersion nulle (1200 nm) soit placée au centre de la bande spectrale permettant le sondage de la zone d'empreinte digitale de cellules biologiques par la mesure CARS (soit 1080-1320 nm pour une longueur d'onde de pompe à 1064 nm). Le but poursuivi est d'obtenir en sortie de fibre un spectre s'étendant jusqu'à 1600 nm au moins, avec une forte densité spectrale de puissance sur toute la bande, la meilleure platitude possible et une synchronisation parfaite de toutes les composantes spectrales.

2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

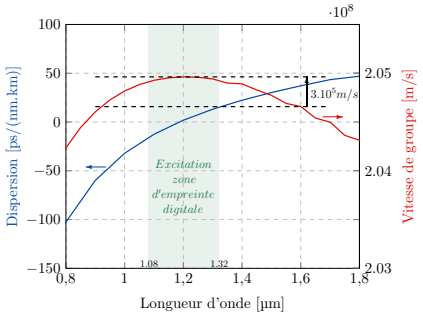
La fibre microstructurée est constituée d'un arrangement de 5 couronnes de trous autour d'un cœur solide dopé Ytterbium (absorption de la pompe : 850 dB/m, concentration en Yb : 7000 ppm), comme on le voit sur les images MEB de la Figure 1a et 1b. Ses caractéristiques opto-géométriques, reportées dans le tableau 1c, ont été déterminées de sorte qu'elle fonctionne en régime monomode à 980 nm et au-delà ($d/\Lambda = 0,39$), et que le diamètre de son cœur actif soit grand ($\Phi_{cœur}$ = 7,6 μm) par rapport à celui des fibres non linéaires usuelles afin de maximiser le volume de gain d'une part et d'obtenir une longueur d'onde de dispersion nulle proche de 1200 nm (figure 1d) d'autre part. La source de signal à 1064 nm utilisée est un microlaser YAG amplifié dans un amplificateur multipassage, délivrant des impulsions de 900 ps à la cadence de 33 kHz. Pour pomper les ions Yb^{3+} de la fibre, nous utilisons une diode laser continue Thorlabs CLD1015 émettant à 980 nm. Les faisceaux des deux sources (pompe et signal) sont couplés dans la fibre par l'intermédiaire d'un simple multiplexeur monomode 980/1060 nm. La puissance moyenne des impulsions injectées dans la fibre non linéaire peut aller jusqu'à 125 mW (puissance crête = 4,2 kW), tandis que la puissance de la pompe injectée est ajustable par réglage du courant d'injection de la diode à 980 nm, entre 0 et 150 mW. Pour analyser le spectre du faisceau émergeant de la fibre, nous utilisons un analyseur de spectre ANDO AQ6315 sur la bande 950-1750 nm (résolution : 0,05 nm).



(a) (b)

Diamètre de cœur a	7,6 μm
Diamètre de trou d	1,8 μm
Pitch Λ	4,6 μm
d/Λ	0,39
Dopage Yb^{3+}	7000 ppm

(c)

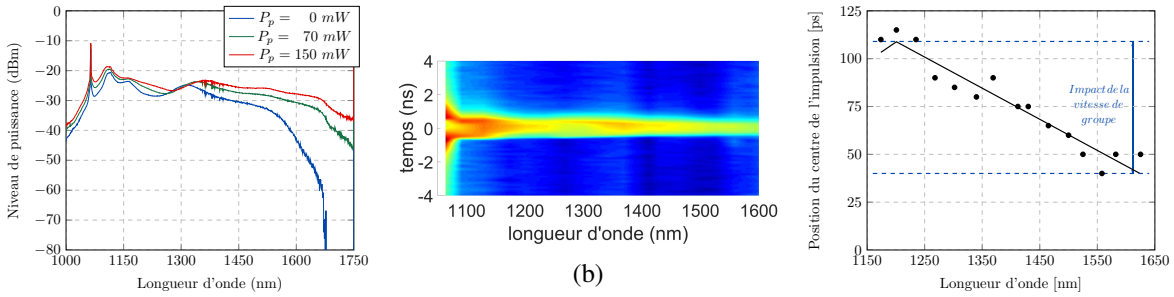


(d)

Figure 1: (a) et (b) Images MEB de la section droite de la fibre microstructurée amplificatrice non linéaire ; (c) Caractéristiques de cette fibre ; (d) Vitesse de groupe et dispersion calculées à partir des indices effectifs déterminés par la méthode des éléments finis sur la bande 600-1800 nm.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

L'annulation de la dispersion dans cette fibre se situe légèrement au-dessus de la longueur d'onde du signal (ZDW = 1200 nm). Les mécanismes non linéaires prédominants à l'origine de l'élargissement spectral sont la création de raies Raman entre 1064 nm et 1200 nm (régime de dispersion normale), puis l'apparition d'effets solitoniques au-delà de 1200 nm (dispersion anormale). La mise en place de mélanges paramétriques autour du ZDW permet d'obtenir un spectre continu sans trou spectral important. Une puissance de signal P = 75 mW a été injectée dans 4 m de fibre et le spectre émergent a été mesuré en fonction de la puissance de pompe (Figure 2a). Comme espéré, le spectre est plus étendu quand le signal à 1064 nm est régénéré par l'amplification, la densité spectrale de puissance est plus élevée (gain d'environ 3,5 dB à 1200 nm et 15,5 dB à 1600 nm) et la platitude est améliorée. Dans le cas d'un fort pompage à 980 nm (P_p = 150 mW), la puissance utile en sortie de fibre est proche de 225 mW ce qui correspond à une densité spectrale moyenne de puissance de 0,3 mW/nm entre 1064 nm et 1750 nm, soit à peu près 9 fois la densité de puissance utilisée par H. Kano dans sa démonstration de CARS multiplex en 2008 [6]. L'analyse spectro-temporelle du faisceau émergent (Figures 2b et 2c) met en évidence une variation du temps de groupe limité à 60 ps sur la bande 1064-1600 nm pour un tronçon de fibre de 4 m, soit un décalage temporel très faible des différentes composantes spectrales, au regard de la durée (900 ps) des impulsions de pompe. Le maintien de cette très bonne synchronisation entre toutes les radiations



(a) (b) (c)

Figure 2: (a) Spectres mesurés à la sortie de la fibre amplificatrice non linéaire décrite figure 1 pour différentes puissances de pompe des ions Yb^{3+} en sortie d'un tronçon de 4 m (puissance de signal à 1064 nm = 75 mW) ; (b) Mesures spectro-temporelles du faisceau en sortie d'un tronçon de 4 m (pompe = 150 mW, signal = 125 mW) ; (c) Evolution temporelle du centre des impulsions des différentes composantes spectrales de la bande 1150-1600 nm en sortie du tronçon de 4 m.

de la bande est rendu possible grâce, d'une part à la relativement courte longueur de la fibre, d'autre part au décalage du zéro de dispersion vers 1200 nm. On observe, sur la Figure 2a, une décroissance du spectre en puissance moyenne, lorsque la longueur d'onde augmente. Mais, d'un autre côté, l'analyse de la Figure 2b montre que la durée des impulsions diminue de 1150 ps à 1100 nm jusqu'à 900 ps à 1600 nm. En conséquence, la décroissance du spectre en puissance crête est plus faible (platitude meilleure) avec un affaiblissement de seulement 3 dB entre 1200 nm et 1600 nm pour une puissance de pompe de 150 mW. Enfin, malgré un pompage en régime de dispersion normal, les trous spectraux généralement observés entre les raies Raman à 1148 nm et 1200 nm ne sont pas visibles lors du pompage à 1064 nm. L'homogénéité du spectre est donc bien conservée dans la bande d'excitation de l'empreinte digitale (1080 nm-1320 nm).

CONCLUSION

Dans cette communication, nous avons montré qu'un spectre large infrarouge à forte densité spectrale de puissance a pu être efficacement engendré dans une fibre microstructurée à large cœur, grâce à une ré-amplification du signal à 1064 nm tout au long de sa propagation. Des puissances de 0,3 mW/nm ont pu être engendrées entre 1064 nm et 1600 nm. Grâce à la géométrie de la fibre et à la position de la longueur d'onde de dispersion nulle autour de 1200 nm, le spectre n'a subi qu'une très faible influence de la différence de temps de groupe et conserve une bonne homogénéité sur toute la bande spectrale considérée, ce qui est primordial pour la réalisation d'une source large bande dédiée à la microspectroscopie CARS Multiplex. Cette étude est à notre connaissance la première présentant l'utilisation d'un dopage cœur d'une fibre microstructurée pour la génération de spectre infrarouge large-bande.

RÉFÉRENCES

[1] M. Okuno et coll., "Ultrabroadband (>2000 cm^{-1}) multiplex CARS spectroscopy using a subnanosecond supercontinuum light source", Opt. Lett. **32,** 3050–3052 (2007).

[2] I. Hartl et coll., "Ultrahigh-resolution optical coherence tomography using continuum generation in an air/silica microstructure optical fiber", Opt. Lett. **26,** 608–610 (2001).

[3] P. Rairoux et coll., "Remote sensing of the atmosphere using ultrashort laser pulses", Appl. Phys. B **71,** 573–580 (2000).

[4] J. K. Ranka et coll., "Visible continuum generation in air-silica microstructure optical fibers with anomalous dispersion at 800 nm", Opt. Lett. **25,** 25–27 (2000).

[5] A. Roy et coll., "Supercontinuum generation in a nonlinear Yb-doped, double-clad, microstructured fiber", J. Soc. Am. B **24,** 788–791 (2007).

[6] M. Okuno et coll., "Ultrabroadband multiplex CARS microspectroscopy and imaging using a subnanosecond supercontinuum light source in the deep near infrared", Opt. Lett. **33,** 923–925 (2008).