



Amplification paramétrique d'une impulsion à dérive de fréquence dans une fibre optique

La technique OPCPA (Optical Parametric Chirped Pulse Amplification) est un procédé d'amplification employé dans le domaine des lasers de puissance qui permet d'obtenir des impulsions ultracourtes avec un bruit optique réduit. Nous avons démontré la possibilité de remplacer les cristaux massifs, habituellement utilisés dans cette technique, par des fibres optiques. Une étape importante a été tout d'abord franchie à la longueur d'onde télécom de $1,55 \mu\text{m}$ avec la première démonstration expérimentale d'OPCPA dans une fibre. La technologie des fibres microstructurées a ensuite permis d'adapter cette méthode à la longueur d'onde des chaînes laser de puissance. Ce travail représente un grand pas en avant vers la réalisation de systèmes modulaires fibrés pour les pilotes de chaînes laser de puissance.

E. Hugonnot • D. Bigourd • L. Lago CEA - Cesta

A. Mussot • A. Kudlinski • M. Douay IRCICA, FR CNRS 3024, Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules (PhLAM), UMR 8523 CNRS - Université Lille 1

Afin d'obtenir des impulsions lasers ultracourtes de forte puissance, les laseristes utilisent un schéma d'amplification d'impulsions à dérive en fréquence. Un système étireur, basé sur la dispersion spectrale, permet d'allonger temporellement une impulsion ultracourte, réduisant ainsi sa puissance crête tout en conservant son énergie. Ceci permet ensuite de l'amplifier à des niveaux d'énergie qu'il n'aurait pas été possible d'atteindre sans étirement. Une fois amplifiée, elle est recomprimée à sa durée initiale. C'est grâce à cette méthode que des projets de laser ultrahaute intensité (UHI) comme PETAL, développé au CESTA peuvent viser des densités de puissance de l'ordre de 10^{21} W/cm^2 . À de tels niveaux, le bruit optique présent devant l'impulsion peut devenir problématique pour les expériences d'interaction laser-matière car il risque d'ioniser la cible avant l'arrivée de l'impulsion principale. Dans le but de s'en affranchir du mieux possible, la méthode d'amplification préférée actuellement pour les lasers UHI est l'amplification paramétrique optique (OPA). Elle est basée sur un mécanisme de mélange d'ondes qui se produit dans des cristaux possédant une non-linéarité du second ordre. En respectant des conditions d'accord de phase entre les ondes, on peut notamment obtenir un transfert d'énergie entre un faisceau monochromatique de forte énergie (pompe) et le faisceau à spectre large et à dérive en fréquence que l'on cherche à amplifier (signal). Cette amplification paramétrique optique d'impulsion à dérive en fréquence (OPCPA) est très

avantageuse car, du fait de l'absence de stockage d'énergie dans le milieu, il n'y a pas de bruit généré hors du domaine temporel de superposition des impulsions pompe et signal.

Dans l'objectif d'améliorer la compacité, la stabilité et la maintenance des systèmes OPCPA actuels, nous avons récemment démontré la possibilité de remplacer les cristaux non linéaires par des fibres optiques en silice. Ce matériau ne présentant pas de manière naturelle de non-linéarité d'ordre 2, le transfert d'énergie doit donc être effectué en utilisant la non-linéarité d'ordre 3 et un mélange à 4 ondes. L'utilisation de ces amplificateurs fibrés dans le cadre de l'amplification d'impulsions à dérive de fréquence (FOPCPA) avait été théoriquement suggérée en 2006, mais en fait aucune démonstration expérimentale n'avait encore été réalisée [1]. Profitant de la disponibilité de composants télécoms standards et d'une fibre commerciale hautement non linéaire, nous avons tout d'abord réalisé une démonstration de principe à la longueur d'onde de $1,55 \mu\text{m}$ [2]. Dans cette expérience, une impulsion longue de quelques picosecondes a été amplifiée de près de 25 décibels sans que ses caractéristiques spectrales ne soient affectées. Encouragés par ces résultats, nous avons ensuite étendu la technique dans le régime femtoseconde ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$) et aux alentours de $1 \mu\text{m}$ [3]. Cette bande spectrale est en effet la fenêtre de prédilection des chaînes laser de puissance.

Le système expérimental est présenté sur la **figure 1**. Il est composé d'une partie pompe entiè-

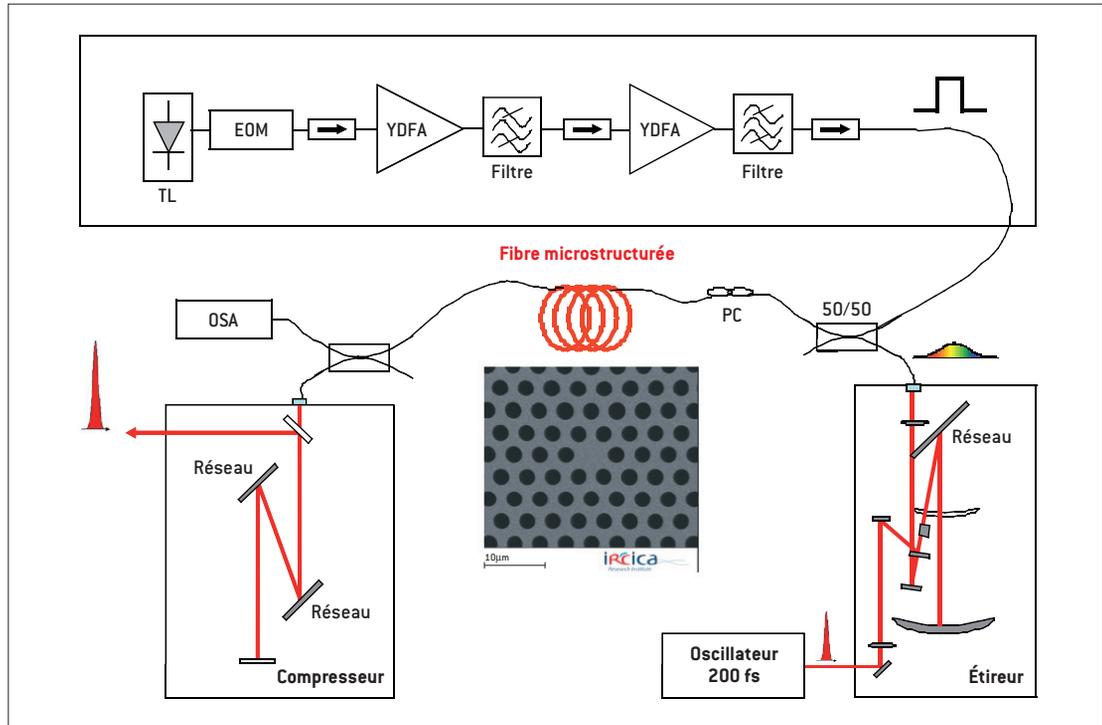


Figure 1. Système expérimental.
 TL : laser accordable, EOM : modulateur électro-optique, YDFA : amplificateur fibré dopé Ytterbium, PC : contrôleur de polarisation, OSA : analyseur de spectre optique.

rement fibrée qui délivre des impulsions de forme temporelle carrée de largeur 10 ns et d'une partie signal délivrant des impulsions de largeur spectrale 16 nm à 1053 nm étirées à près de 10 ns par un système dispersif à réseau de diffraction. Les deux faisceaux sont synchronisés et sont envoyés dans une fibre optique microstructurée de 400 m de long dont la dispersion est soigneusement contrôlée pour respecter la condition d'accord de phase entre les différentes ondes. En jouant sur la longueur d'onde et la puissance de pompe, il est alors possible d'optimiser l'amplification. La **figure 2**

présente ainsi le spectre optique obtenu après amplification en sortie de fibre microstructurée. On peut voir le signal amplifié, le résidu de pompe et l'onde complémentaire (idler) générée pendant l'interaction. Un gain supérieur à 30 dB est obtenu sur plus de 8 nm de spectre. La phase spectrale étant conservée durant l'amplification, l'impulsion amplifiée a été recomprimée à une durée de 660 fs.

Ces résultats innovants montrent clairement que la technique OPCPA peut être étendue au domaine des fibres. À terme, ces dispositifs fibrés pourraient avantageusement intégrer des chaînes d'amplification hybrides (amplificateurs massifs et fibrés) où les premiers étages seraient complètement intégrés afin d'en simplifier l'utilisation.

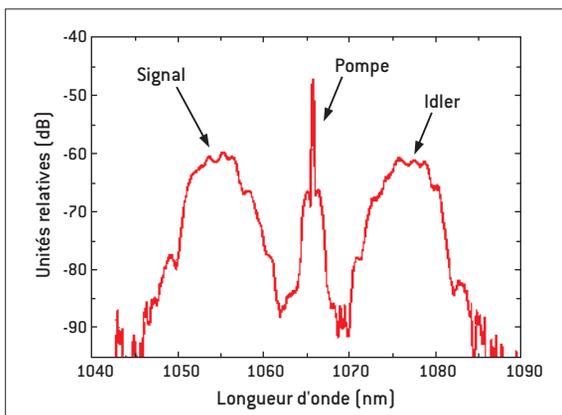


Figure 2. Spectre optique mesuré en sortie de fibre microstructurée.

RÉFÉRENCES

[1] M. HANNA *et al.*, "Fiber optical parametric chirped-pulse amplification in the femtosecond regime", *Opt. Exp.*, **14**(7), p. 2783-2790 [2006].
 [2] C. CAUCHETEUR *et al.*, "Experimental demonstration of optical parametric chirped pulse amplification in optical fiber", *Opt. Lett.*, **35**(11), p. 1786-1788 [2010].
 [3] D. BIGOURD *et al.*, "High gain optical parametric chirped pulse amplification of femtosecond pulses at 1 μm in a microstructured optical fiber", *Opt. Lett.*, **35**(20), p. 3480-3482 [2010].