

GENERATION D'IMPULSIONS ULTRABREVES DE HAUTE PUISSANCE ET A HAUT TAUX DE REPETITION PAR AMPLIFICATION FIBREE EN REGIME AUTO-SIMILAIRE OU D'AUTO-MODULATION DE PHASE

Pascal DUPRIEZ¹, Christophe FINOT¹, Andy MALINOWSKI¹, Johan NILSSON¹, David RICHARDSON¹, Keith WILCOX², Hannah FOREMAN², Anne TROPPER²

¹ Optoelectronics Research Centre, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, Royaume-Uni

² School of Physics and Astronomy, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, Royaume-Uni

pad@orc.soton.ac.uk

RÉSUMÉ

Nous démontrons l'amplification d'impulsions pico- et femto-secondes par un dispositif fibré à un taux de répétition de 1 GHz obtenu par utilisation d'un VECSEL passivement mode-locké. Deux régimes non-linéaires d'amplification sont alors clairement mis en évidence, l'un dominé par l'auto-modulation de phase et l'autre par une évolution auto-similaire. Ce dernier régime conduit après recompression temporelle à des impulsions en limite de Fourier avec une durée temporelle inférieure à 150 fs.

1. INTRODUCTION ET PRINCIPE

La génération d'impulsions ultrabrèves aux longueurs d'ondes proches du micron est un sujet suscitant actuellement beaucoup d'intérêt. Les propriétés remarquables des fibres dopées ytterbium constituent alors une solution particulièrement efficace pour atteindre les puissances moyennes importantes requises pour des applications comme le micro-usinage ou le doublage de fréquences.

L'utilisation de fibres optiques ne présente néanmoins pas que des avantages : lors de leur amplification, les impulsions ultra-courtes vont en effet être également assujetties à des effets telles la non-linéarité de la silice ou la dispersion chromatique. Les propriétés de l'impulsion initiale seront alors profondément affectées. Une approche vise à contourner les effets non-linéaires en opérant un élargissement temporel préalable de l'impulsion (*amplification à dérive de fréquence*). Après amplification puis recompression temporelle, on retrouve alors la durée initiale des impulsions.

Une autre démarche consiste au contraire à exploiter la non-linéarité. Différents comportements peuvent alors être observés selon la durée des impulsions initiales [1]. Pour des impulsions de quelques picosecondes (*Fig. 1, série a*), l'impulsion sera principalement soumise aux effets de la non-linéarité [2]. Si le profil d'intensité temporel ne sera que peu affecté, la phase sera par contre elle modifiée, avec l'apparition d'une dérive de fréquence (*chirp*, *Fig. 1a2*) non-monotome (*phénomène d'auto-modulation de phase - AMP*). Il ne sera donc possible de compenser que la partie linéaire de ce chirp (*par une paire de réseaux de diffraction par exemple*), si bien que l'impulsion recomprimée présentera des sous-structures importantes (*Fig. 1a3*).

Un comportement différent pourra être mis en évidence si l'impulsion initiale est plus brève (*quelques centaines de femtosecondes*, *Fig. 1, série b*). Dans ces conditions, il a été démontré que toute impulsion initiale soumise aux effets combinés du gain, de la dispersion normale et de la non-linéarité, évoluait progressivement vers un profil d'intensité parabolique avec une dérive de fréquence parfaitement linéaire [3, 4]. La recompression temporelle de ce nouveau type d'impulsion appelé similariton sera alors extrêmement efficace et conduira à des impulsions ultrabrèves de forte puissance crête quasiment en limite de Fourier.

Nous présentons et comparons ici les performances obtenues expérimentalement dans ces deux régimes d'amplification non-linéaires. L'originalité de notre travail tient également à l'utilisation d'un VECSEL (*Vertically External Cavity Surface Emitting Laser*) mode-locké de manière passive [5]. Ce

composant autorise des taux de répétition (GHz) nettement plus élevés que les dispositifs traditionnellement utilisés (*quelques dizaines de MHz pour les lasers à fibre mode-lockés*).

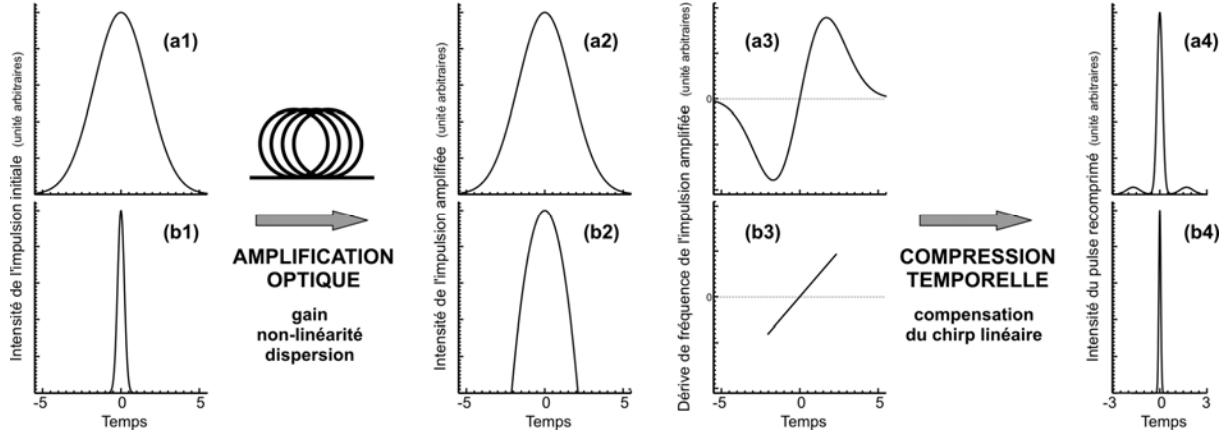


Figure 1. Comparaison de l'amplification d'impulsions pico- (a) ou femto- (b) secondes : profil d'intensité initial (1), après amplification (2), dérive de fréquence (3) et profil d'intensité de l'impulsion recomprimée (3).

2. MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Le montage expérimental utilisé est représenté Figure 2. Deux VECSELs fonctionnant à un taux de répétition de 1 GHz ont été testés, le premier générant des impulsions initiales d'une durée de 4.6 ps alors que le second permettait la génération d'impulsions d'une durée inférieure à la picoseconde (*typiquement 500 fs*). Ces impulsions initiales sont ensuite amplifiées dans un premier amplificateur à fibre monomode dopée ytterbium afin d'atteindre une puissance suffisante pour saturer correctement le dernier étage amplificateur de puissance. Ce dernier étage est constitué par une fibre dopée ytterbium double gaine avec une aire effective large. Les différents étages de notre montage sont protégés de réflexions parasites par l'utilisation d'isolateurs optiques.

Nous avons pour chacun des deux types d'impulsions optimisé les paramètres du dernier étage amplificateur (*longueur, puissance de pompe*), de façon à obtenir les meilleurs résultats après recompression tout en évitant les effets non-linéaires d'ordre supérieur comme l'effet Raman. Nous avons pu vérifier dans les deux cas l'obtention en sortie d'un signal avec une qualité de faisceau excellente ($M^2 < 1.1$).

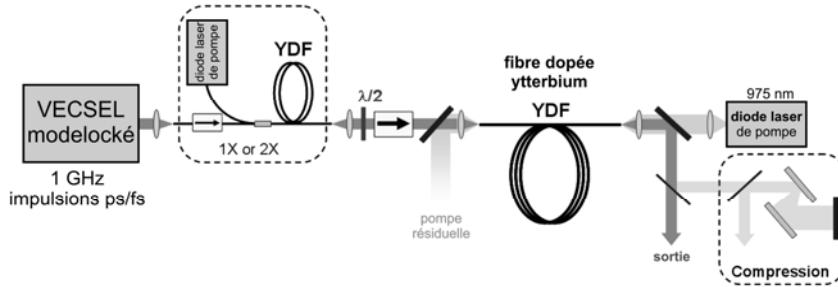


Figure 2.
Dispositif expérimental.

Les impulsions amplifiées sont ensuite caractérisées par leur signal d'auto-corrélation et par leur spectre optique. Une partie du signal amplifié est compressée en utilisant une paire de réseaux de diffraction (*830 traits par mm*) dont l'espacement est ajusté pour obtenir la meilleure compression. La qualité de la compression est attestée par le signal d'auto-corrélation.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX – IMPULSIONS INITIALES PICOSECONDES

Nous présentons Fig. 3 les résultats expérimentaux obtenus pour des impulsions initiales de 4.6 ps. Jusqu'à 255 W de puissance moyenne ont été démontrés et cela pour une puissance de pompe de 350 W soit une excellente efficacité de 76 %. Nous pouvons constater Fig. 3a l'apparition dans le spectre d'oscillations caractéristiques l'amplification en présence d'AMP. Le profil d'intensité est quant-à-lui relativement peu affecté par l'amplification (Fig. 3b). Les résultats de la recompression

temporelle de l'impulsion sont représentés Fig. 3c. Une largeur temporelle du signal d'autocorrélation de 430 fs est mesurée. On peut toutefois noter la présence de sous-structures relativement importantes liées à la non-linéarité du chirp induit par l'AMP et qui limitent la qualité de l'impulsion recomprimée.

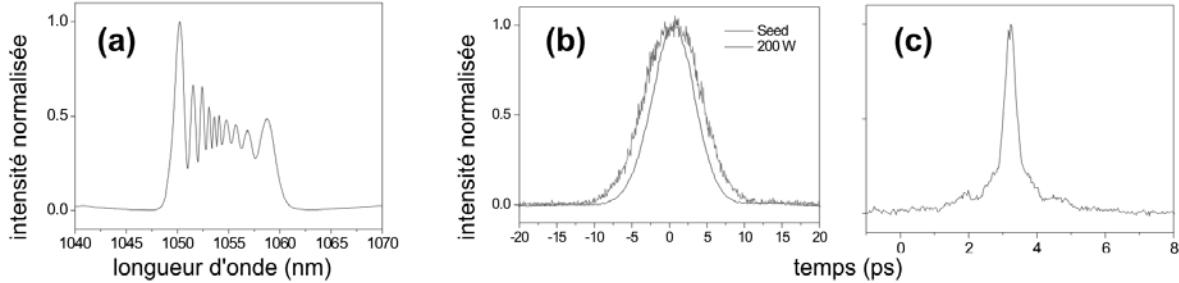


Figure 3. Résultats obtenus à partir d'amplification d'impulsions picosecondes. Spectre de l'impulsion amplifiée (a), signaux d'auto-corrélation de l'impulsion initiale et de l'impulsion amplifiée (b), Signal d'auto-corrélation de l'impulsion recomprimée (c)

4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX – IMPULSIONS INITIALES FEMTOSECONDES

Nous présentons Fig. 4 les résultats obtenus en considérant des impulsions initiales plus courtes permettant ainsi une amplification de type similariton. Une puissance moyenne maximale de 55 W a été réalisée, avec une efficacité de 55%. L'élargissement spectral obtenu est conséquent (Fig. 4a), avec des flancs d'impulsions qui décroissent rapidement (*encart Fig. 4a*), ce qui représente l'une des caractéristiques des similaritons optiques. On constate Fig. 4b que l'amplification s'est également accompagnée d'un élargissement temporel important. Les résultats représentés Fig. 4c montrent la qualité des impulsions recomprimées. Une largeur temporelle du signal d'auto-corrélation de 170 fs a été mesurée, correspondant à une durée d'impulsion de 110 fs en supposant un profil sech. Le produit largeur spectrale par largeur temporelle est de 0.47, valeur proche de la limite de Fourier. L'absence de sous-structures atteste de la linéarité caractéristique de l'impulsion similariton avant recompression.

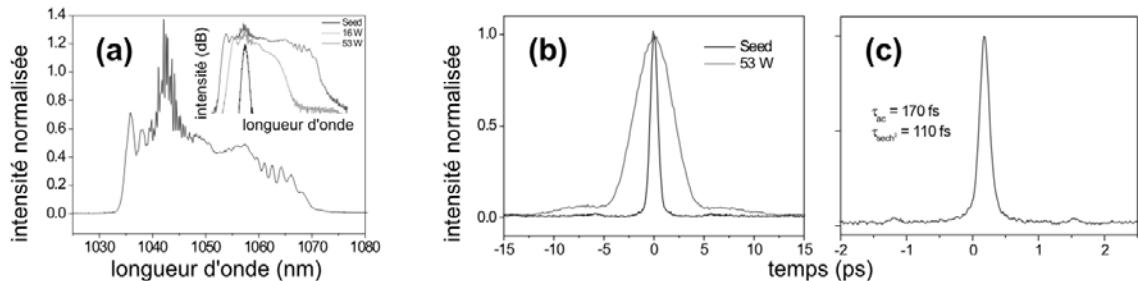


Figure 4. Résultats de l'amplification d'impulsion femtosecondes. Spectres optiques (a). Signaux d'auto-corrélation initiaux et après amplification (b). Auto-corrélation de l'impulsion recomprimée (c).

CONCLUSION

Nous avons démontré l'amplification haute puissance d'impulsions pico- et femto-secondes par un dispositif fibré avec un taux de répétition de 1 GHz. Deux régimes non-linéaires d'amplification ont alors clairement été mis en évidence : un régime dominé par l'auto-modulation de phase et l'autre par une évolution auto-similaire. Ce dernier régime conduit après recompression temporelle à des impulsions en limite de Fourier avec une durée temporelle inférieure à 150 fs.

Nous remercions F. Mourier-Genoud, U. Keller et J.S. Roberts pour leur contribution à la réalisation du VECSEL, Coractive pour le prêt d'une fibre Yb et l'Union Européenne pour le financement post-doctoral Marie Curie IEF de C. Finot.

RÉFÉRENCES

- [1] C. Finot, *et al.*, Opt. Express, **2006**, vol **14**, p. 3161-3170.
- [2] J.P. Limpert, *et al.*, Opt. Lett., **2001**, vol **16**, p. 1849-1851.
- [3] M.E. Fermann, *et al.*, Phys. Rev. Lett., **2000**, vol **84**, p. 6010-6013.
- [4] A. Malinowski, *et al.*, Opt. Lett., **2004**, vol **29**, p. 2073-2075.
- [5] A. Garnache, *et al.*, Appl. Phys. Lett., **2002**, vol **80**, p. 3892-3894.