



**HAL**  
open science

## Façonnage d'impulsions optiques par filtrage intra-cavité dans un laser à fibre

Sonia Boscolo, Christophe Finot, Periklis Petropoulos

► **To cite this version:**

Sonia Boscolo, Christophe Finot, Periklis Petropoulos. Façonnage d'impulsions optiques par filtrage intra-cavité dans un laser à fibre. 34<sup>èmes</sup> Journées Nationales d'Optique Guidée, Oct 2014, Nice, France. pp.106-108. hal-01066480

**HAL Id: hal-01066480**

**<https://hal.science/hal-01066480>**

Submitted on 31 Oct 2014

**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.

# FAÇONNAGE D'IMPULSIONS OPTIQUES PAR FILTRAGE INTRA-CAVITÉ DANS UN LASER A FIBRE

Sonia Boscolo<sup>1</sup>, Christophe Finot<sup>2</sup> et Periklis Petropoulos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aston Institute of Photonic Technologies, Aston University, Birmingham B4 7ET, United Kingdom

<sup>2</sup> Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, , 21078 Dijon Cedex, France

<sup>3</sup> Optoelectronics Research Centre, University of Southampton, Southampton, United Kingdom

[s.a.boscolo@aston.ac.uk](mailto:s.a.boscolo@aston.ac.uk)

## RÉSUMÉ

Nous démontrons numériquement la possibilité de façonner des impulsions optiques au sein d'une cavité laser fibrée à modes bloqués en insérant un filtre spectral programmable en intensité et phase. Différents profils temporels d'intensité sont obtenus, dont des impulsions paraboliques, triangulaires ou en dents de scie.

**MOTS-CLEFS :** *laser à fibre ; façonnage optique.*

## 1. INTRODUCTION

Les technologies laser fibrées à blocage de modes passif sont des solutions attrayantes pouvant fournir des impulsions ultrabrèves tout en assurant une grande stabilité, une forte compacité et un prix très compétitif. En général, ces lasers reposent sur des processus non-linéaires pour réaliser le verrouillage des modes et une augmentation significative de la puissance crête a été réalisée grâce à l'exploitation de nouvelles dynamiques non-linéaires [1]. Néanmoins, les lasers à fibre restent relativement limités en termes de reconfigurabilité et réaliser différentes caractéristiques d'impulsions en sortie requiert souvent des changements physiques non négligeables de la cavité. L'inclusion d'un façonneur spectral à l'intérieur même de la cavité a récemment été suggérée pour réaliser l'ajustement de la longueur d'onde d'émission et de la cadence [2], pour contrôler précisément la dispersion de la cavité ou bien encore pour basculer de l'émission d'un train d'impulsions brillantes vers un train d'impulsions sombres [3, 4]. Dans cette contribution, nous considérons les possibilités offertes par un filtre programmable en intensité et phase et nous montrons numériquement qu'il devient possible d'atteindre des régimes où la génération de différentes formes de base est réalisable [5].

## 2. CAVITÉ FIBRÉE CONSIDÉRÉE ET MODÉLISATION

La cavité fibrée étudiée est schématisée par la Fig. 1. Dans cette cavité en anneau, le gain est fourni par un segment de fibre dopée ytterbium (YDF) d'une longueur d'un mètre avec une dispersion normale. Un autre segment de fibre à dispersion normale (NDF), cette fois ci passif et d'une longueur de 6 mètres, constitue l'élément non-linéaire de la cavité. La propagation dans les fibres est modélisée par l'équation de Schrödinger non-linéaire en prenant également en compte pour la fibre YDF un gain distribué de largeur spectrale finie et présentant une saturation.

Un absorbant saturable (SA) est placé après la fibre YDF et un filtre spectral en intensité et phase est inséré entre les segments de fibre actifs et passifs afin de réaliser le façonnage optique.

L'action de ce filtre est modélisée par sa réponse spectrale  $H(\omega) = \mathcal{F}[h(t)] \exp(i\beta_2 L \omega^2 / 2)$  où  $h(t)$

est le profil temporel souhaité,  $\mathcal{F}$  représente la transformée de Fourier et le terme de phase spectrale permet de contrôler la dispersion résiduelle dans la cavité. Nous avons considéré dans notre étude cinq cibles  $h(t)$  qui ne sont pas forcément triviales à synthétiser dans des configurations traditionnelles. Nous nous sommes ainsi intéressés à des impulsions paraboliques brillantes, à des impulsions paraboliques sombres, à des impulsions présentant un sommet aplati, à des impulsions triangulaires symétriques et à des impulsions en dents de scie. Plus précisément, leurs profils

temporels sont respectivement définis par les fonctions suivantes :  $h(t) = \sqrt{1 - (t/\tau)^2} \theta(\tau - |t|)$  avec  $\tau = 1$  ps,  $h(t) = (1 - |t|/\tau) \theta(\tau - |t|)$  avec  $\tau = 1$  ps,  $h(t) = \theta(\tau - |t|)$  avec  $\tau = .75$  ps,  $h(t) = \sqrt{1 - |t|/\tau} \theta(\tau - |t|)$  avec  $\tau = 1$  ps et  $h(t) = \sqrt{1 - t/\tau}$  si  $t \in [0, \tau]$  -  $h(t) = 0$  sinon,  $\tau = 2$  ps. Ici,  $\theta(x)$  est la fonction d'Heaviside.

Notons que le filtre spectral peut être réalisé de différentes manières, que ce soit grâce à un réseau de Bragg fibré ou bien grâce à un montage exploitant des cristaux liquides sur silicium, qui offre l'avantage supplémentaire d'être facilement reconfigurable [6] et d'ores et déjà disponible commercialement.

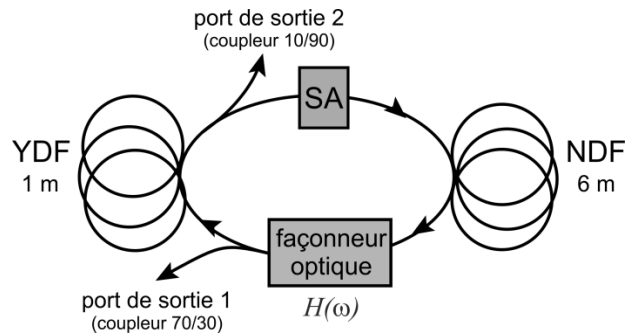


Fig. 1 : Vue schématique de la cavité laser fibrée considérée.

### 3. RÉSULTATS

Les solutions obtenues pour différents profils d'amplitude appliqués au filtre montrent que les formes souhaitées sont atteintes à la sortie du laser (voir Fig. 2). Les impulsions paraboliques et triangulaires (Fig. 2(a,d)) sont quasiment en limite de Fourier, alors que les impulsions aplaties présentent une légère dérive de fréquence (Fig. 2c). Nous remarquons également que les profils de chirp des impulsions générées ne sont pas strictement monotones et souffrent de petites oscillations. Générer des impulsions qui présenteraient un profil de phase parfaitement défini n'apparaît donc, par cette méthode, en rien trivial.

Les résultats de la Fig. 2 soulignent également que le profil temporel synthétisé après le filtrage est raisonnablement bien préservé après l'étape d'amplification grâce à laquelle des impulsions plus énergétiques peuvent être extraites de la cavité. Une étude plus poussée de la dynamique intra-cavité permet de préciser les rôles de chaque segment. Ainsi, la fibre dopée de longueur relativement courte permet une amplification forte sans toutefois affecter ni le spectre ni le profil d'intensité. Au contraire, dans le segment NDF, un élargissement spectral significatif et continu est subi. Cet élargissement associé au filtrage spectral stabilise l'impulsion dans la cavité : le filtre en introduisant une dissipation sélective compense les expansions temporelles et spectrales et annule l'accumulation de la phase temporelle dans la cavité. Comme le spectre étalé par auto-modulation de phase est bien plus large que le filtre utilisé, il peut être considéré en première approximation comme plat et être découpé sans tenir compte des détails de sa structure. Ce filtrage est le mécanisme essentiel permettant la formation d'impulsions de formes très variées et déterminées principalement par la fonction de transfert du filtre.

Pour mieux comprendre la dynamique de ces lasers, nous avons également étudié l'impact de la dispersion résiduelle sur la forme générée. Les résultats montrent que la possibilité de contrôler la durée des impulsions par l'application intra-cavité d'une dérive de fréquence linéaire supplémentaire est assez faible. Ceci résulte du processus de filtrage ici employé, i.e. le filtrage d'un

spectre très large et est également en accord avec la faible tolérance vis-à-vis de la dispersion d'impulsions telles que les impulsions paraboliques ou triangulaires. En conséquence, pour modifier la durée temporelle de l'impulsion, il faut agir directement sur la fonction  $h(t)$  et modifier le profil du filtre spectral  $H(\omega)$  associé.

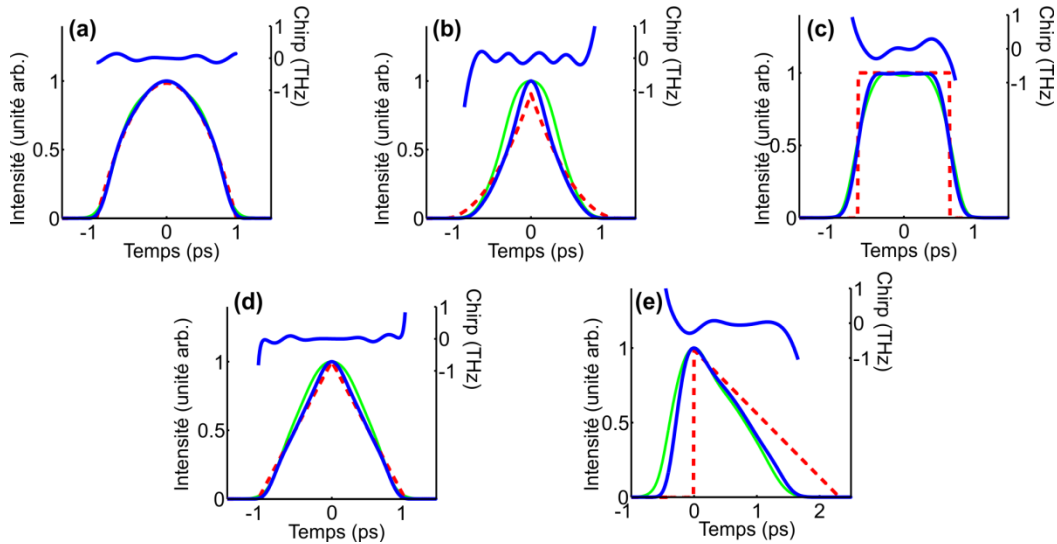


Fig. 2 : Profils d'intensité et chirp des impulsions après passage dans le façonneur (ligne bleu continue) pour (a) une impulsion parabolique brillante, (b) une impulsion parabolique sombre, (c) une impulsion à sommet aplati, (d) une impulsion triangulaire, (e) une impulsion en dents de scie. Les profils cible  $h(t)$  correspondant sont également représentés par des lignes rouges pointillées, de même que les profils obtenus après propagation dans la fibre à gain (ligne verte continue).

## CONCLUSION

Nous avons numériquement mis en évidence le fonctionnement d'un laser à fibre à blocage de modes passif dans différents régimes de façonnage, incluant la génération de profils paraboliques brillants ou sombres, de profils triangulaires symétriques ou non, de profils aplatis. Nous avons pour cela joué sur l'amplitude d'un filtre spectral inséré dans la cavité. En modifiant un filtre programmable, il devient donc envisageable à terme de reconfigurer à la demande le profil d'intensité des impulsions émises en sortie du laser. Ces résultats ouvrent notamment des perspectives dans la recherche de nouvelles solutions pour la génération de profils spécifiques en vue d'application au traitement tout optique de l'information.

## RÉFÉRENCES

- [1] W. H. Renninger, A. Chong, and F. W. Wise, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 18, 389–398 (2012).
- [2] J. Schröder, T. D. Vo, and B. J. Eggleton, Opt. Lett. 34, 3902–3904 (2009).
- [3] X. Yang et al., in CLEO 2013, OSA Techn. Dig. (OSA, 2013), paper CM11.1.
- [4] J. Schröder et al., Opt. Express 18, 22715–22721 (2010).
- [5] S. Boscolo et al., Opt. Lett. 39, 438–441 (2014).
- [6] M. Roelens et al., J. Lightwave Technol. 26, 73–78 (2008).