



**HAL**  
open science

# Amélioration du taux d'extinction d'une impulsion par modulation de phase et compression spectrale

Frédéric Audo, Christophe Finot

► **To cite this version:**

Frédéric Audo, Christophe Finot. Amélioration du taux d'extinction d'une impulsion par modulation de phase et compression spectrale. 37èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2017), Jul 2017, Limoges, France. hal-01574575

**HAL Id: hal-01574575**

**<https://hal.science/hal-01574575>**

Submitted on 15 Aug 2017

**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.

# AMELIORATION DU TAUX D'EXTINCTION D'UNE IMPULSION PAR MODULATION DE PHASE ET COMPRESSION SPECTRALE

Frédéric Audo et Christophe Finot

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR CNRS 6303, Université de Bourgogne-Franche-Comté, 9 avenue Alain Savary, BP 47870, 21078 Dijon Cedex, France

[Frederic.audo@u-bourgogne.fr](mailto:Frederic.audo@u-bourgogne.fr)

## RESUME

Nous introduisons et démontrons expérimentalement une nouvelle approche pour améliorer le taux d'extinction d'une impulsion affectée par un fond continu cohérent. Cette méthode repose sur une modulation temporelle par une phase sinusoïdale suivie d'une étape de recompression spectrale non-linéaire.

**MOTS-CLEFS :** *traitement du signal, compression spectrale, propagation non-linéaire*

## 1. INTRODUCTION

L'une des solutions les plus efficaces pour générer des impulsions optiques, de quelques dizaines à quelques centaines de picoseconde, est de recourir à la modulation d'intensité d'une onde continue. Néanmoins, une limite à garder à l'esprit est le taux d'extinction fini pouvant être réalisé, généralement de l'ordre de la vingtaine de dB. En conséquence, dans le cas d'un signal avec un faible rapport cyclique, l'énergie totale contenue dans le fond continu résiduel ne peut plus être négligée et représente un handicap pour l'utilisation du signal impulsif en limitant l'efficacité des étapes d'amplification ou bien en conduisant à des interférences temporelles.

Pour surmonter ce problème et améliorer le taux d'extinction de plusieurs dB, des solutions tout-optiques reposant sur la non-linéarité Kerr dans les fibres ont été proposées, comme le miroir optique à boucle non-linéaire [1], ou le régénérateur de Mamyshev [2]. Nous introduisons et validons une nouvelle méthode simple pour agir sur le taux d'extinction : l'impulsion est tout d'abord modulée temporellement en phase avec un signal sinusoïdal, puis subit une compression spectrale. Un filtrage optique passe bande adapté élimine enfin l'énergie contenue dans le fond continu résiduel. Nous expliquons le principe et nous montrons expérimentalement une amélioration de 20 dB du taux d'extinction.

## 2. PRINCIPE DE L'AMELIORATION DU TAUX D'EXTINCTION

Pour illustrer notre approche, considérons une impulsion gaussienne, avec un profil temporel  $u(t)$ , une puissance crête de  $P_0 = 1$  W et une largeur à mi-hauteur de 120 ps. Le signal possède un fond cohérent continu avec un taux d'extinction de 20 dB. D'après, les caractéristiques expérimentales choisies ci-après, le taux de répétition de l'impulsion est fixé à 78.13 MHz. La Fig. 1 illustre notre approche : le profil temporel initial présente un plancher de 20 dB sous le maximum (Fig. 1(a2)) et l'énergie de ce fond continu forme un pic central dans le spectre de l'impulsion (Fig. 1(c1)). La modulation de phase imposée à l'impulsion est de la forme :  $\varphi(t) = -A \cdot \cos(\omega_{mod} \cdot t)$ , avec  $A$  son amplitude et  $\omega_{mod} = 2\pi \cdot \nu_{mod}$  sa pulsation. La modulation temporelle de phase sinusoïdale permet de créer des répliques du spectre initial régulièrement espacées de la fréquence modulation. L'amplitude de la réplique à la fréquence  $n \nu_{mod}$  est donnée par une fonction de Bessel de première espèce  $J_n(A)$ . Nous choisissons la valeur  $A = 2,405$  afin d'éliminer l'énergie présente à la fréquence centrale : l'énergie du signal à améliorer se répartit alors sur l'ensemble des répliques spectrales comme nous le constatons sur la Fig. 1(c1).

La deuxième étape s'appuie sur le processus de recompression spectrale non-linéaire [3]. En profitant de la non-linéarité Kerr, il est en effet possible de reconcentrer l'énergie de l'impulsion

vers les fréquences centrales. Ce processus dépendant intrinsèquement de la puissance initiale de l'impulsion [4], il va nous permettre de faire la distinction entre le fond résiduel de faible puissance et l'impulsion de forte puissance crête. Ainsi, seule l'énergie de la partie impulsionnelle sera redistribuée vers les fréquences centrales alors que l'énergie du fond continu cohérent restera contenue dans les différentes répliques spectrales. Nous profitons, dans le processus de recompression spectrale, de la modulation initiale de type sinusoïdale dont l'efficacité a été récemment démontrée [5]. Pour combiner les bénéfices de la modulation sinusoïdale avec le processus de compression spectrale, il est indispensable que la fréquence  $\omega_{mod}$  soit judicieusement choisie de manière à annuler au final le chirp temporel au centre de l'impulsion (Fig. 1(b), dans notre cas  $\nu_{mod} = 4,7$  GHz). La puissance injectée dans le milieu non-linéaire, i.e. une fibre hautement non-linéaire dans notre cas, permettra d'optimiser la recompression (Fig. 1(c2)).

La dernière étape repose sur un filtrage optique passe-bande (largeur 9,4 GHz, Fig. 1(c2)) qui isole l'énergie au centre inhérent à l'impulsion de départ et rejette l'énergie liée au fond cohérent. Le profil temporel obtenu (Fig. 1(a1) et Fig. 1(a2)) montre que la largeur a peu changé, mais que le niveau du fond a drastiquement diminué, améliorant ainsi le taux d'extinction.

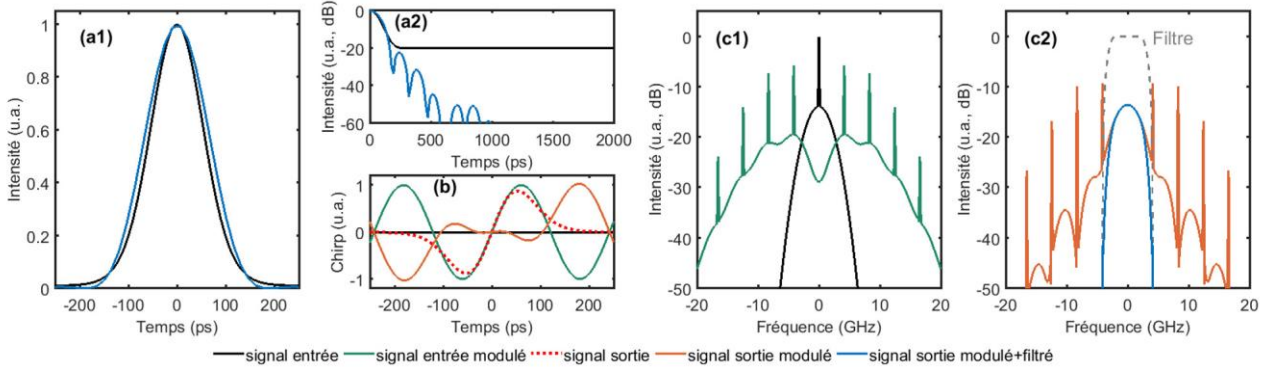


Fig. 1 : Profil temporel de l'impulsion en (a1) échelle linéaire et (a2) logarithmique, (b) chirp temporel, et (c1) à (c2) les spectres optiques. Les propriétés sont représentées à différentes étapes : en entrée de la fibre optique, puis en entrée de la fibre avec la modulation de phase, en sortie de la fibre avec compression, et après filtrage.

### 3. ETUDE EXPERIMENTALE

La Fig. 2 présente le dispositif expérimental mis en œuvre. Le laser continu émet à 1550 nm, puis l'onde est modulée en intensité avec un modulateur en LiNbO<sub>3</sub>, possédant une bande passante de 20 GHz. Un générateur de données associé à un générateur de fréquence (horloge), délivrant une fréquence de 10 GHz, crée une impulsion qui, après être filtrée par un passe-bas de fréquence 5,4 GHz, permet d'obtenir la forme attendue. Une séquence de 128 bits est choisie, avec 1 bit de 1 suivi de 127 bits de 0, réduisant le taux de répétition à 78,13 MHz. L'impulsion optique obtenue a une largeur à mi-hauteur de 123 ps.

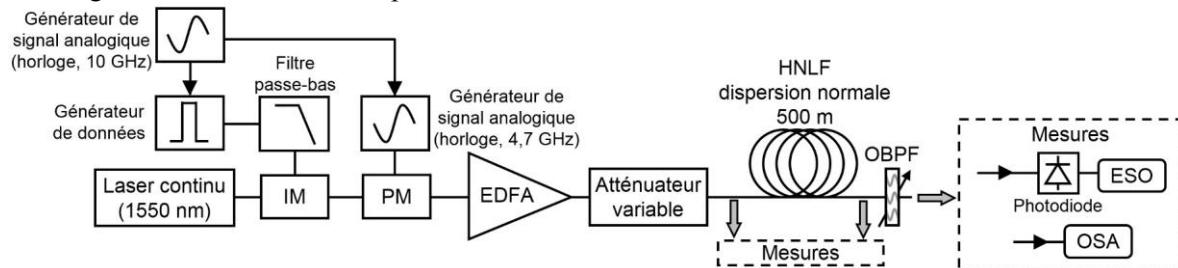


Fig. 2 : Dispositif expérimental pour l'amélioration du taux d'extinction d'une impulsion par modulation de phase sinusoïdale, compression spectrale et filtrage optique (IM : modulation d'intensité ; PM : modulation de phase ; EDFA : amplificateur ; OBPF : filtre optique passe-bande ; ESO : oscilloscope à échantillonnage électrique ; OSA : analyseur de spectre optique).

Le signal est ensuite modulé en phase : un second générateur, synchronisé avec le premier, délivre le signal sinusoïdal à la fréquence de 4,7 GHz, à un modulateur externe fibré en LiNbO<sub>3</sub>. Le signal est ensuite amplifié avec un amplificateur de type EDFA. Un atténuateur variable est installé entre l'amplificateur et la fibre optique pour ajuster la puissance en entrée, sans modifier l'impulsion créée auparavant. La fibre optique non-linéaire est longue de 500 m avec une non-linéarité de 10 W<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>. L'atténuation ou la dispersion n'ont pas d'impact significatif sur la dynamique. Un filtre optique passe-bande est connecté en sortie de la fibre et est ajusté autour de la fréquence optique du spectre. Le signal est caractérisé de manière temporelle avec une photodiode et un oscilloscope électrique de bande passante de 40 GHz. La caractérisation spectrale est réalisée avec un analyseur de spectre optique à haute résolution (100 MHz).

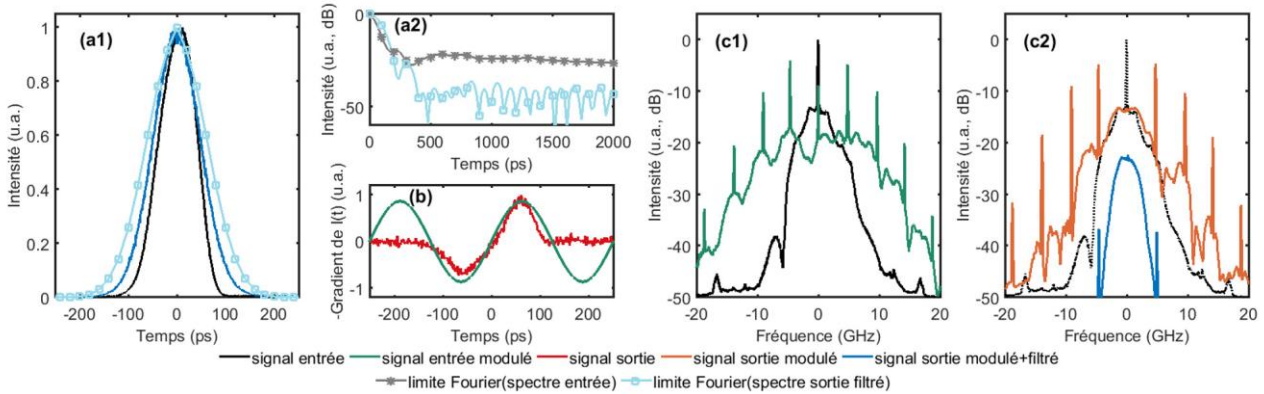


Fig. 3 : Profil temporel de l'impulsion en (a1) échelle linéaire et (a2) logarithmique, et (c1) à (c2) les spectres optiques de l'impulsion en échelle logarithmique à différentes étapes du processus. (b) Le gradient de l'intensité temporelle comparé avec le chirp sinusoïdal imposé par la modulation de phase.

La Fig. 3 présente nos résultats. À partir de l'analyse du spectre optique, nous avons pu estimer un taux d'extinction initial proche de 23 dB, cohérent avec la documentation technique du modulateur. La modulation de phase appliquée est proche du gradient de l'intensité de l'impulsion en sortie sans compression (Fig. 3(b)). Le spectre du signal après modulation (Fig. 3(c1)) confirme le transfert efficace de l'énergie vers différentes répliques régulièrement espacées. Après propagation non-linéaire, le spectre autour du centre (Fig. 3(c2)) est similaire à celui de la partie impulsionnelle en entrée, mais sans le pic cohérent lié au fond continu. Après filtrage (Fig. 3(c2)), l'énergie concentrée sur la fréquence de modulation et les répliques est quasiment éliminée et seule demeure l'énergie liée à la partie impulsionnelle. Le profil temporel montre que l'impulsion, qui était asymétrique en entrée, est désormais symétrique (Fig. 3(a1)). La transformée de Fourier inverse du spectre est similaire au profil mesuré (Fig. 3(a1)), et le taux d'extinction a été amélioré d'environ 20 dB (Fig. 3(a2)).

Ces résultats démontrent que l'association astucieuse de la modulation de phase sinusoïdale, de la recompression spectrale par effet Kerr et d'un filtrage optique améliore le taux d'extinction d'un train d'impulsions.

## REFERENCES

- [1] N. J. Doran and David Wood, "Nonlinear-optical loop mirror," *Opt. Lett.* 13, pp. 56–58, 1988.
- [2] P. V. Mamyshev, "All-optical data regeneration based on self-phase modulation effect," in *ECOC*, pp. 475–476, 1998.
- [3] C. Finot and S. Boscolo, "Design rules for nonlinear spectral compression in optical fibers," *J. Opt. Soc. Am. B* 33, pp. 760-767, 2016.
- [4] S. Boscolo, J. Fatome, C. Finot, "Impact of amplitude jitter and signal-to-noise ratio on the nonlinear spectral compression in optical fibres," *Opt. Commun.* 389, pp. 197–202, 2017.
- [5] S. Boscolo, L. K. Mouradian, and C. Finot, "Enhanced nonlinear spectral compression in fiber by external sinusoidal phase modulation," *J. Opt.* 18, 105504, 2016.