HAL
open science

OPTIMISATION DE LA DISPERSION CHROMATIQUE D'UN COEO FIBRE POUR LA GENERATION D'IMPULSION PICOSECONDE ET LA SYNTHESE MICRO-ONDE

Alexis Bougaud, Arnaud Fernandez, Aliou Ly, Stephane Balac, Olivier Llopis, Bernard Franc

To cite this version:

Alexis Bougaud, Arnaud Fernandez, Aliou Ly, Stephane Balac, Olivier Llopis, et al.. OPTIMISATION DE LA DISPERSION CHROMATIQUE D'UN COEO FIBRE POUR LA GENERATION D'IMPULSION PICOSECONDE ET LA SYNTHESE MICRO-ONDE. Journées Nationales de l'Optique Guidée - JNOG 2021, Jul 2021, Dijon, France. 10.48550/arXiv.2101.11717 . hal-03288123

HAL Id: hal-03288123

https://laas.hal.science/hal-03288123v1

Submitted on 16 Jul 2021

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.

OPTIMISATION DE LA DISPERSION CHROMATIQUE D'UN COEO FIBRE POUR LA GENERATION D'IMPULSION PICOSECONDE ET LA SYNTHESE MICRO-ONDE

Alexis Bougaud[1], Arnaud Fernandez[1], Aliou Ly[1,*], Stephane Balac[2],

Olivier Llopis[1], Bernard Franc[1]

[1] LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, 31031 Toulouse, France
[2] IRMAR, Université de Rennes 1, CNRS, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France
**A.Ly est aujourd'hui chez Laser Quantum Ltd, Stockport, UK*

abougaud@laas.fr

RÉSUMÉ

Cette présentation porte sur la mise en évidence expérimentale d'un optimum de dispersion chromatique intra-cavité dans le cadre d'un dispositif COEO permettant une compression optimale des impulsions optiques photo-détectées et une réduction du bruit de phase RF du dispositif.

MOTS-CLEFS : *COEO, dispersion chromatique, laser à verrouillage de modes*

1. INTRODUCTION

L'oscillateur optoélectronique couplé (COEO) est un dispositif compact permettant la synthèse de signaux micro-ondes et millimétriques à hautes performances en bruit de phase. Par exemple, la synthèse d'un signal à 90 GHz ayant un bruit de phase de -121 dBc/Hz à 10 kHz de la porteuse a été réalisé par Ly et al. [1]. De telles performances peuvent être mises à profit pour augmenter la sensibilité des radars embarqués. Sur sa sortie optique, le COEO génère des impulsions optiques en gamme picoseconde à cadence rapide. En 2009, Matsko [2,3] propose un modèle analytique gaussien, permettant de relier les paramètres macroscopiques du COEO et les propriétés des impulsions optiques au bruit de phase radio-fréquence (RF). Sachant que la cavité optique du COEO se comporte de la même manière qu'un laser à verrouillage de modes régénératif, Matsko souligne l'existence d'une valeur de dispersion chromatique intra-cavité optimale qui, combinée à une bobine à compensation de dispersion de la boucle opto-hyper, permet l'annulation du chirp des impulsions photo-détectées et minimise le bruit de phase RF (à facteur de qualité optique équivalent). Notre approche consiste à apporter une démonstration expérimentale de l'étude analytique de Matsko. Nous chercherons notamment à déterminer le régime dispersif permettant d'atteindre le maximum de compression des impulsions photo-détectées, minimisant par là même le bruit de phase RF à facteur de qualité optique équivalent.

2. MESURES EXPERIMENTALES ET APPROCHE NUMERIQUE

La boucle optique du système COEO a été modélisée via un attracteur d'Ikeda itératif [5], permettant de simuler le laser à verrouillage de modes. Cette approche numérique permet notamment de quantifier l'apport de chacun des composants dans l'établissement de l'état stationnaire ainsi que la prédominance des effets dispersifs considérés (dispersion chromatique β_2, auto-modulation de phase par effet Kerr γ, facteur de Henry α_H). Ces résultats numériques et leur interprétation quant au rôle des composants dans l'établissement de l'état stationnaire, ont ensuite été vérifiés expérimentalement par une mesure hétérodyne [4] du peigne de modes verrouillés (Fig. 1) permettant de retrouver le déphasage relatif de la phase des modes optiques ainsi que le rapport des amplitudes associées. De cette manière il est possible de reconstituer le profil impulsionnel dans le domaine temporel et d'en déduire l'évolution de la largueur à mi-hauteur et du chirp selon la dispersion chromatique intra-cavité $\beta_{2\Sigma,1}$.

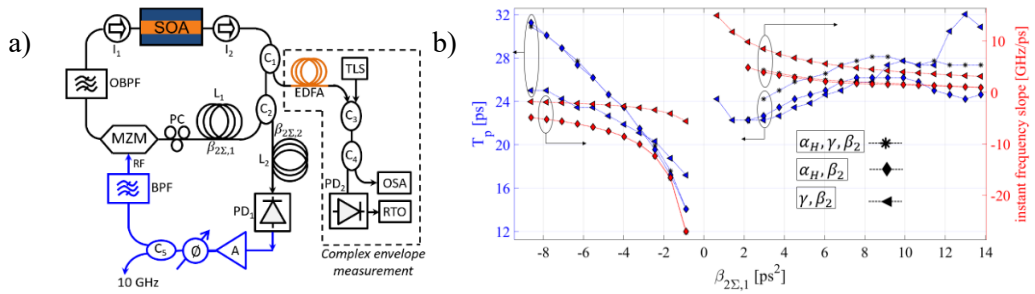

Fig 1.a) Schéma du COEO étudié incluant le système de détection hétérodyne. SOA: amplificateur à semiconducteur, MZM: modulateur Mach Zehnder, PC: contrôleur de polarisation, BPF: filtre passe-bande, I_1 I_2: isolateurs optique, PD: photodiode, Φ: déphaseur RF, C_2: coupleur RF, L_1 et L_2: bobines de fibre optique, TLS: Laser accordable, OSA : Analyseur de spectre optique, RTO : Oscilloscope à temps réel, EDFA : amplificateur à fibre dopée Erbium, $\beta_{2\Sigma,1}$: dispersion chromatique totale intra-cavité, $\beta_{2\Sigma,2}$: dispersion chromatique totale pour la compensation du chirp des impulsions. 1.b) Résultats de simulation de la cavité à verrouillage de modes donnant, en régime stabilisé, l'évolution de la largeur à mi-hauteur (T_p) et de la pente de la fréquence instantanée (chirp) des impulsions suivant la dispersion totale intra-cavité $\beta_{2\Sigma,1}$. L'impact de γ et de α_H y est montrée.

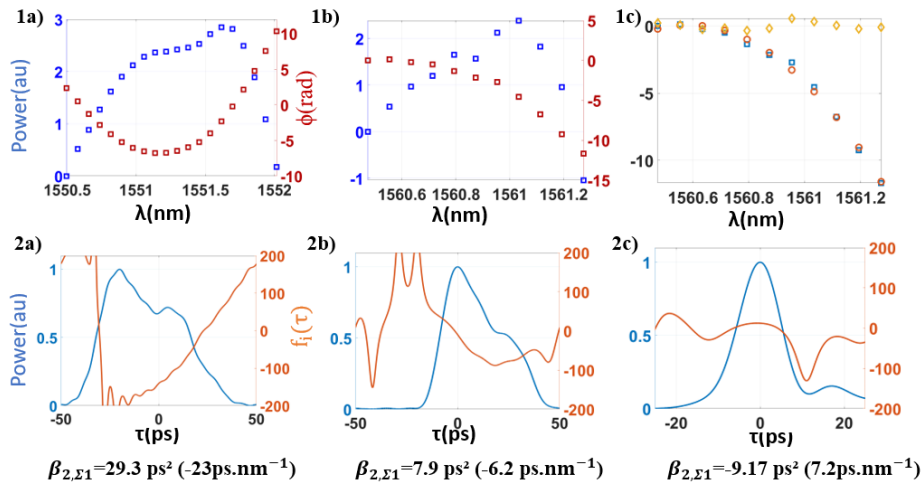

Fig 2: Résultats expérimentaux de la reconstitution d'impulsion par mesure hétérodyne. Pour chacune des dispersions intra-cavité, la première rangée affiche la densité de puissance (dsp) du peigne de fréquences mesuré (bleu) et sa phase (rouge). La seconde rangée donne alors le profil impulsionnel obtenu (bleu clair) ainsi que la fréquence instantanée associée (orange). La colonne c) donne la compensation de phase du spectre optique menant à la compression du profil impulsionnel avec en bleu la phase spectrale compensée numériquement par la phase parabolique en rouge, menant à un déphasage modal proche du zéro (jaune).

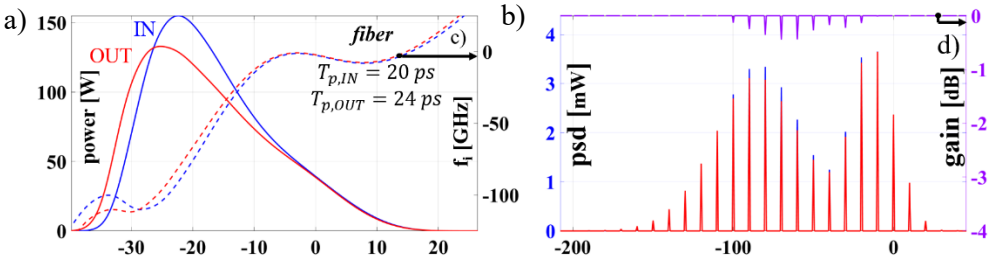

Fig 3. Résultat numérique illustrant le profil en régime stationnaire d'une impulsion optique (a) et de sa dsp associée (b)et de sa DSP associée (b) avant (IN) et après (OUT) la traversée du tronçon fibré de longueur L_1 ($\beta_{2\Sigma,1} = -0.89ps^2$) L'évolution des impulsions optiques a été étudiée de la même manière à la traversée de chacun des composants de la boucle optique (SOA, MZM, fibre dispersive, filtre passe-bande).

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

L'évolution du chirp et de la largueur à mi-hauteur des impulsions optiques (Fig 1. b) indique qu'une valeur de dispersion intra-cavité proche de zéro est à favoriser pour la génération d'impulsions courtes. Plus particulièrement, les valeurs de dispersion faiblement négatives ou positives permettent la génération d'impulsions à faible largueur à mi-hauteur avec un chirp élevé. La recompression des impulsions sera d'autant plus efficace que le chirp est élevé. N'ayant pas à disposition les valeurs dispersives de bobines de fibres permettant une recompression optimisée des impulsions mesurées expérimentalement, il a été choisi d'effectuer une numériquent cette opération permettant la compensation exacte du chirp des impulsions et simulant ainsi les effets de la bobine L_2, de dispersion $\beta_{2\Sigma,2}$ optimale (Fig3.c). Les résultats expérimentaux et numériques s'accordent pour montrer que l'optimum de compression des impulsions est alors atteint pour de faibles valeurs de dispersion chromatique intra-cavité, auxquelles sont associées une maximisation du chirp impulsionnel.

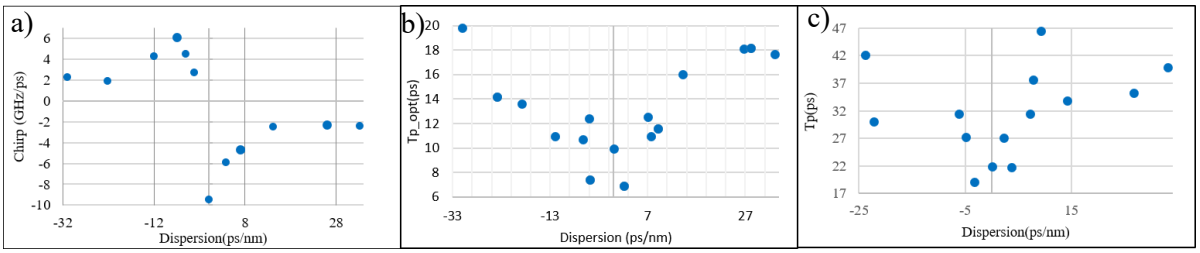

Fig 3. Evolution des propriétés impulsionnelles suivant la dispersion intra-cavité optique ($\beta_{2\Sigma,1}$) : a) chirp impulsionnel, b) largueur à mi-hauteur des impulsions optiques avant compensation de dispersion, c) largueur à mi-hauteur après compensation optimale du chirp par la bobine L_2 ($\beta_{2\Sigma,2}$).

4. CONCLUSION

L'existence d'un régime dispersif intra-cavité optimal permettant un maximum de compression des impulsions photo-détectées a donc été déterminé expérimentalement et numériquement. Cet optimum est associé à la maximisation du chirp impulsionnel, obtenu pour des valeurs de dispersion chromatique $\beta_{2\Sigma,1}$ proche du zéro de dispersion. Dans le contexte du COEO, cet optimum de dispersion chromatique permet alors la réduction du bruit de phase RF à facteur de qualité optique équivalent. Cette dernière relation entre réduction de bruit de phase RF et compression des impulsions optiques photo-détectées se fera dans le prolongement de cette étude.

5. REMERCIEMENTS

Cette étude fait l'objet d'une thèse CNES-Région Occitanie et a reçu le soutien de la DGA.

REFERENCES

[1] Ly, A., Auroux, V., Khayatzadeh, R., Gutierrez, N., Fernandez, A., Llopis, O. (2018). Highly spectrally pure 90 GHz signal synthesis using a coupled optoelectronic oscillator. *IEEE Photonics Technology Letters*.

[2] Matsko, A.B., Eliyahu, D., Koonath, P., Seidel, D. and Maleki, L., 2009. Theory of coupled optoelectronic microwave oscillator I: expectation values. JOSA B, 26(5), pp.1023-1031.

[3] Matsko, Eliyahu, D. and Maleki, L., 2013. Theory of coupled optoelectronic microwave oscillator II: phase noise. JOSA B, 30(12), pp.3316-3323.

[4] M. Korti et al., "Fast-Recovery of the Amplitude and Phase of Short Optical Pulses Using a Frequency-Swept Source Based Heterodyne Measurement," in IEEE Photonics Journal, vol. 10, no. 3, pp. 1-7, June 2018, Art no. 3200407, doi: 10.1109/JPHOT.2018.2842298.

[5] N. Gutierrez, A. Fernandez, O. Llopis, S. Calvez and S.Balac, "Numerical study on Kerr frequency comb generation in Si3N4 microresonators with frequency-dependent access coupler properties", JOSA B, 36(10), 2019.