



**HAL**  
open science

## Résonateur fibré de facteur Q extrême pour la réalisation d'oscillateurs optoélectroniques

Khaldoun Saleh, Arnaud Fernandez, Olivier Llopis, Gilles Cibiel

► **To cite this version:**

Khaldoun Saleh, Arnaud Fernandez, Olivier Llopis, Gilles Cibiel. Résonateur fibré de facteur Q extrême pour la réalisation d'oscillateurs optoélectroniques. Journées Nationales de l'Optique Guidée (JNOG), Jul 2013, Paris, France. pp.147-149. hal-00849377

**HAL Id: hal-00849377**

**<https://hal.science/hal-00849377>**

Submitted on 30 Jul 2013

**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.

# RESONATEUR FIBRE DE FACTEUR Q EXTREME POUR LA REALISATION D'OSCILLATEURS OPTOELECTRONIQUES

Khaldoun Saleh<sup>1</sup>, Arnaud Fernandez<sup>23</sup>, Olivier Llopis<sup>23</sup> et Gilles Cibiel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France

<sup>2</sup> CNRS LAAS, 7Avenue du Colonel Roche, F-31077 Toulouse, France

<sup>3</sup> Université de Toulouse, UPS, F-31077 Toulouse, France

<sup>4</sup> CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31410 Toulouse Cedex 4, France

[afernand@laas.fr](mailto:afernand@laas.fr)

## RÉSUMÉ

Dans cet article nous présentons la faculté d'un résonateur optique de facteur de qualité  $Q_{opt}=1,25.10^{10}$  à générer simultanément un laser continu à  $1,55 \mu\text{m}$  et un signal hyperfréquence à  $f=10 \text{ GHz}$  de haute pureté spectrale. Ce résultat a pu être rendu possible en insérant une cavité résonante fibrée de 120 m au sein d'un oscillateur optoélectronique. Le  $Q_{opt}$  a pu être mesuré de façon fiable et reproductible selon un dispositif de métrologie qui sera présenté. Ce fort  $Q_{opt}$  a contribué à l'amélioration du facteur  $Q_{RF}$  du signal hyperfréquence à 10 GHz présentant un bruit de phase de -107 dBc/Hz à 10 kHz. Cependant, à l'instar d'une cavité Fabry-Pérot, un  $Q_{opt}$  élevé s'accompagne d'une élévation de la densité d'énergie interne circulant dans la boucle fibrée, suscitant dans le guide optique la manifestation d'effets non-linéaires tel que l'effet Brillouin affectant le bruit de phase du signal hyperfréquence.

**MOTS-CLEFS :** *oscillateur optoélectronique ; non-linéarités ; bruit de phase*

## 1. INTRODUCTION

La montée en fréquence des dispositifs hyperfréquence à haute pureté spectrale a rendu nécessaire de transposer l'onde microonde sur une porteuse optique. Suite aux résultats prometteurs obtenus grâce à l'utilisation de lignes à retard optique, les résonateurs optiques sont rapidement devenus de bons candidats permettant d'accroître le facteur de qualité  $Q_{RF}$  [1]. Les résonateurs optiques déclinables sous différentes technologies (tore, disque, microsphère, boucle fibrée : [2],[3],[4]) se révèlent comme une alternative astucieuse et compacte pour améliorer le  $Q_{RF}$  proportionnellement au  $Q_{opt}$  et à la fréquence hyper  $f$  :

$$Q_{RF} = \frac{f}{\nu} Q_{opt}$$

Ce travail présentera les propriétés de notre résonateur optique fibré et le protocole de mesure de son facteur de qualité. Ensuite, les performances de l'oscillateur optoélectronique (OEO) intégrant notre boucle fibrée seront exposées. Nous poursuivrons par la présentation des non-linéarités optiques exaltées dans un tel dispositif à fort Q optique.

## 2. CARACTERISATION DU RESONATEUR OPTIQUE

Le résonateur optique fibré (Fig. 1.a) est constitué de 120 m de fibre monomode (SMF 28) lui conférant un intervalle spectral libre de 1,7 MHz. Deux coupleurs optiques 1 : 99 faibles pertes garantissent le couplage du laser incident et l'extraction du signal transmis par la cavité fibrée. Par modélisation sous ADS, une telle cavité résonante conduit à un facteur de qualité de  $1,75.10^{10}$  avec de faibles pertes d'insertion d'environ 4,5 dB.

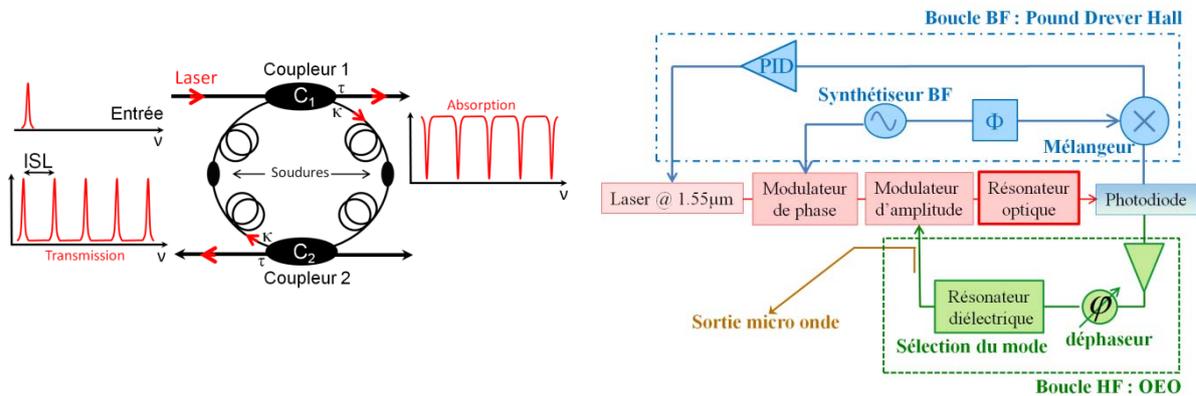


Fig. 1 : a) Schéma du résonateur optique fibré. b) Schéma synoptique de l'oscillateur optoélectronique.

Au travers d'une technique d'asservissement basse fréquence (technique de Pound Drever Hall : PDH) nous avons verrouillé la porteuse optique du laser fibré (Koheras) sur le maximum de l'une des raies de transmission du peigne du résonateur optique (Fig. 1.b). Cette étape essentielle nous permet de mesurer la fonction de transfert du résonateur fibré à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel (ARV) commandant un modulateur électro-optique de Mach-Zehnder. Le balayage en fréquence opéré par l'ARV autour de 10 GHz sur une plage de quelques MHz nous donne accès à une mesure précise et reproductible du facteur de qualité, des pertes d'insertion, du taux de réjection et de la bande passante du résonateur fibré.

Comme le présente le résultat expérimental de la Fig. 2, l'obtention d'un facteur  $Q_{opt}$  de  $1,25 \cdot 10^{10}$  à  $1,55 \mu\text{m}$  a été obtenu en minimisant les pertes intra-cavité dues aux soudures. Les pertes d'insertion optiques sont quant à elles de 7,5 dB soit légèrement dégradées par rapport aux performances prédites par simulation, sans doute à cause de pertes en excès un peu sous estimées pour les coupleurs.

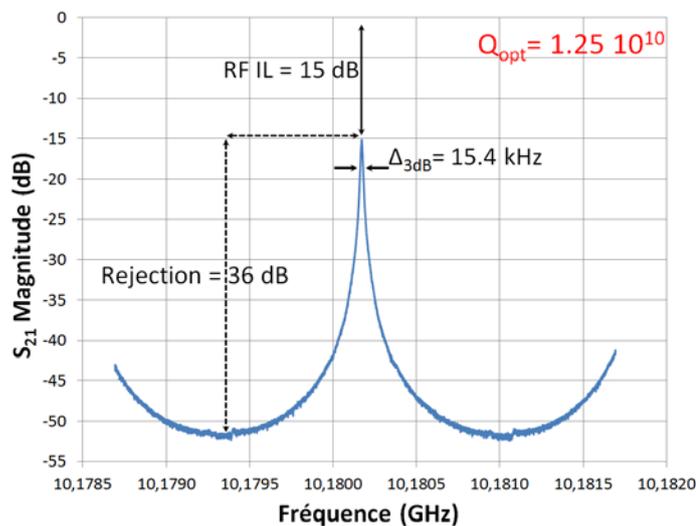


Fig. 2 : Mesure d'une résonance au voisinage de 10 GHz du résonateur fibré de 120 m.

### 3. PERFORMANCES DE L'OSCILLATEUR OPTOELECTRONIQUE

Le résonateur fibré de 120 m a été utilisé dans notre système OEO. La stabilisation du laser demeure la même que pour la mesure des paramètres S, et une boucle hyperfréquence est ajoutée comprenant une mise en série d'amplificateurs RF large bande à faible bruit de phase (Fig. 1.b). La

performance mesurée est présentée en Fig. 3.a pour deux réglages différents des paramètres de boucle. Le bruit de phase est en effet très dépendant des nombreux paramètres du système, que ce soit ceux de la boucle basse fréquence du PDH (gain, bande ...) ou ceux de la boucle hyperfréquence (phase RF en particulier).

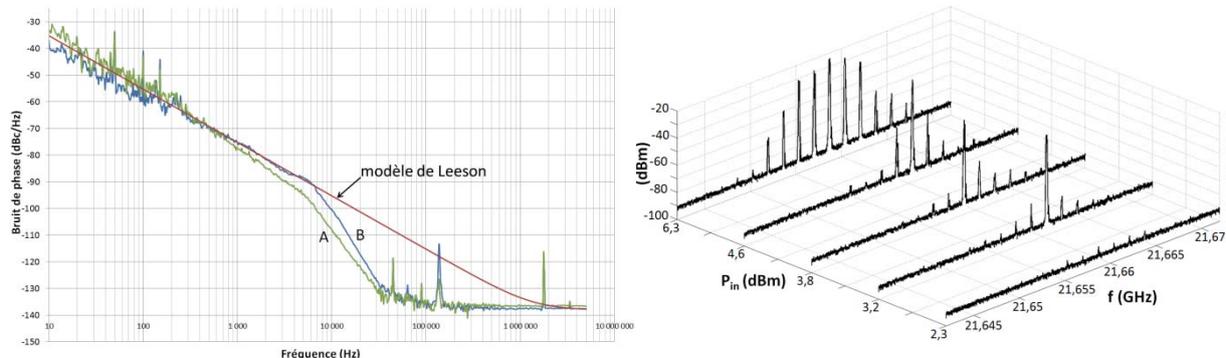


Fig. 3 : a) Mesure du bruit de phase de l'OEO à 10,2 GHz référencé sur un résonateur à  $Q_{opt}=1,25 \cdot 10^{10}$ . Les courbes A et B correspondent à deux réglages différents de l'asservissement du PDH et de la contre-réaction hyperfréquence. b) Observation d'émission Brillouin d'ordre 2 en fonction de la puissance laser injectée dans la boucle résonante.

Malgré l'augmentation du facteur Q, le bruit de phase à 10 Hz se révèle plus élevé que dans nos réalisations précédentes : -40 dBc/Hz @ 10 Hz (contre -52 dBc/Hz @ 10 Hz [4]). Un autre fait remarquable est la chute brutale de bruit de phase aux limites de la demi bande du résonateur (~ 7 kHz). Un tel bruit de phase n'a pu être simulé à ce jour par un modèle de type Leeson [5], nous pensons donc que ce bruit intra bande provient très certainement du résonateur lui-même. Un autre fait notable est la pente relativement faible de ce bruit près de la porteuse, qui semble plus proche du 20 dB/dec que du 30 dB/dec. Nous pensons que la dégradation du bruit de phase est causée par la génération de non-linéarités Brillouin sur plusieurs modes adjacents du résonateur optique. La non-linéarité Brillouin d'ordre 2 a pu ainsi être observée sur un analyseur de spectre électrique. Ces résultats expérimentaux montrent que celle-ci s'amplifie à mesure que l'on augmente la puissance du laser injecté dans le résonateur fibré.

## CONCLUSION

Les résonateurs optiques fibrés constituent une alternative élégante et efficace pour réaliser à moindre coût des cavités résonantes de facteurs  $Q_{opt}$  extrêmes. Nous avons démontré la faisabilité et les performances d'un tel dispositif. Néanmoins, afin de mieux identifier toutes les contributions au bruit de phase, il est nécessaire de tenir compte des non-linéarités optiques.

## REFERENCES

- [1] X.S. Yao and L. Maleki, 2004 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (IEEE, 2004), pp. 287-290.
- [2] D.K. Armani, T.J. Kippenberg, S.M. Spillane et K.J. Vahala, "Ultra-high Q toroid microcavity on a chip," Nature, vol. 421, February 2003.
- [3] K.J. Vahala, "Optical microcavities," Nature, vol. 424, August 2003.
- [4] K. Saleh, O. Llopis et G. Cibiel, "Optical scattering induced noise fiber ring resonators and optoelectronic oscillators," Journal of Lightwave Technology, vol. 31, n°9, pp. 1433-1446, 2013.
- [5] D.B. Leeson, "A simple model of feedback oscillator noise spectrum," Proceedings of the IEEE, vol. 54, n°2, pp. 329-330, 1966.