



**HAL**  
open science

## Etude du bruit de phase des oscillateurs optoélectroniques basés sur des résonateurs optiques à très forts coefficients de qualité

Aude Bouchier, Khaldoun Saleh, Pierre-Henri Merrer, Olivier Llopis, Gilles  
Cibiel

► **To cite this version:**

Aude Bouchier, Khaldoun Saleh, Pierre-Henri Merrer, Olivier Llopis, Gilles Cibiel. Etude du bruit de phase des oscillateurs optoélectroniques basés sur des résonateurs optiques à très forts coefficients de qualité. Journées Nationales de l'Optique Guidée 2010, Oct 2010, Besançon, France. 3 p. hal-00523965

**HAL Id: hal-00523965**

**<https://hal.science/hal-00523965v1>**

Submitted on 6 Oct 2010

**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.

# ETUDE DU BRUIT DE PHASE DES OSCILLATEURS OPTOELECTRONIQUES BASES SUR DES RESONATEURS OPTIQUES A TRES FORTS COEFFICIENTS DE QUALITE.

Aude Bouchier<sup>1,2</sup>, Khaldoun Saleh<sup>1,2</sup>, Pierre-Henri Merrer<sup>1,2</sup>, Olivier Llopis<sup>1,2</sup> et Gilles Cibiel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CNRS ; LAAS ; 7 avenue du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France

<sup>2</sup> Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France

<sup>3</sup> CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31410 Toulouse Cedex 4

bouchier@laas.fr

## RÉSUMÉ

Nous présentons une étude théorique de la contribution du bruit de fréquence blanc sur le bruit de phase d'un oscillateur optoélectronique basé sur des résonateurs optiques. Cette étude nous permet d'optimiser nos résonateurs optiques à très forts facteurs de qualité.

**MOTS-CLEFS :** résonateurs optiques ; opto-microonde, bruit de phase.

## 1. INTRODUCTION

De nouveaux oscillateurs hyperfréquences à haute pureté spectrale sont basés sur les atouts de l'optique qui permettent de dépasser les limites des résonateurs hyperfréquences, surtout dans le cadre de la montée en fréquence des oscillateurs. Le facteur de qualité des résonateurs hyperfréquences diminue quand la fréquence augmente, et la limite actuelle est donnée par le résonateur en saphir à modes de galerie, avec un facteur de qualité en charge de  $10^5$  à 20 GHz. Au-delà, il faut compter sur les résonateurs cryogéniques, encombrants et difficiles à mettre en œuvre.

Une solution élégante est alors de transporter l'onde hyperfréquence sur une onde de nature différente, comme une onde optique [1]. Dans ce cas, il est possible d'utiliser des résonateurs optiques à très forts facteurs de qualité et un laser comme porteuse optique des microondes. Ces résonateurs optiques génèrent alors un peigne de fréquences optiques. Le battement de ces fréquences sur un photodétecteur donne potentiellement accès aux fréquences microondes du GHz au THz. Ces résonateurs servent ainsi de support pour le développement d'oscillateurs optoélectroniques (OEO).

## 2. ANNEAUX DE FIBRE RESONANTS ET OEO

Les résonateurs optiques que nous étudions sont des anneaux de fibre résonants. Ils sont constitués de fibres monomodes à  $1,55 \mu\text{m}$  (SMF 28), reliées par des coupleurs fibrés de ratio typiques 90/10 % (Fig. 1). Leur longueur globale est de 10 à 20 m.

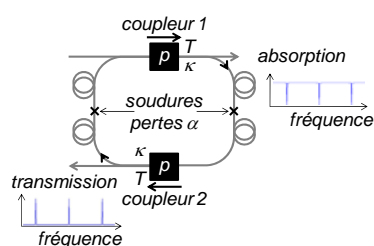


Fig. 1 : Schéma de l'anneau de fibre résonant.

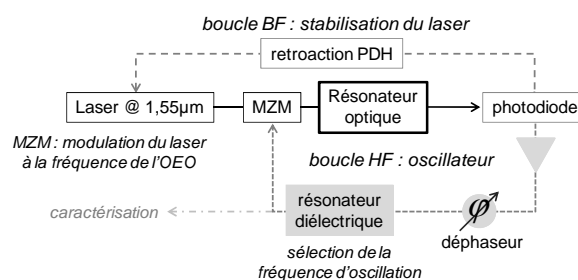


Fig. 2 : Schéma de principe de l'OEO.

Une étude préliminaire a été réalisée avec un anneau de 10 m, présentant un intervalle spectral libre (ISL) de 20 MHz et un facteur de qualité optique  $Q_{\text{opt}}$  de  $2.10^8$  à  $1,55 \mu\text{m}$ .

Le schéma expérimental de l'oscillateur basé sur ces résonateurs est présenté en Fig. 2 et est entièrement décrit dans la référence [2].

### 3. RESONATEUR OPTIQUE ET SIMULATION DU BRUIT DE FREQUENCE BLANC

Au vu du niveau de bruit de phase relativement élevé de l'oscillateur basé sur notre anneau de 10 m (Fig. 5), nous avons étudié théoriquement l'influence du bruit blanc de fréquence lié au résonateur optique sur le bruit de phase de l'oscillateur. D'après la relation (1) [3], ce bruit dépend du facteur de qualité du résonateur  $Q_{opt}$ , de la fréquence optique  $f_{opt}$  et de la fréquence RF  $f_m$ , ainsi que du rapport bruit sur signal (NCR), qui contient les bruits d'intensité du laser, de grenaille, et thermique :

$$L(f_m) = 20 \cdot \log \left( \frac{f_{opt}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot Q_{opt} \cdot f_m} \right) + 10 \cdot \log(NCR) \quad (1)$$

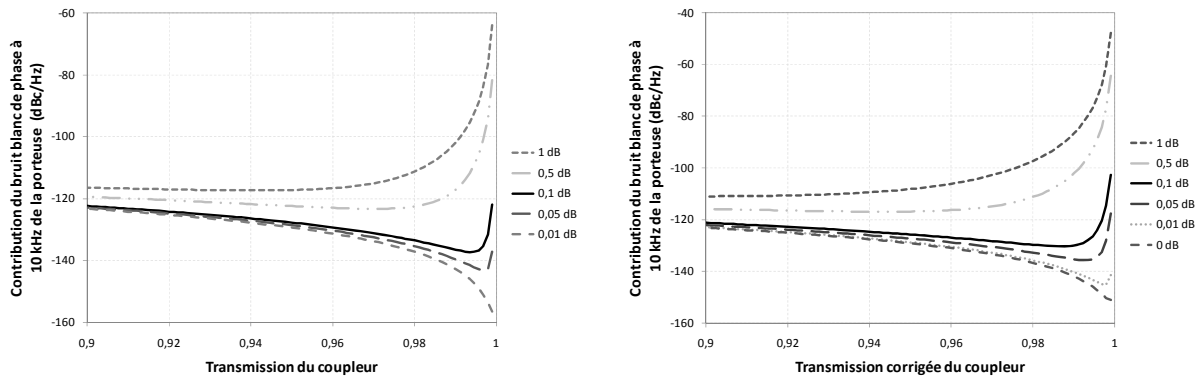
Le résonateur est modélisé en prenant en compte les valeurs de transmission  $T$ , couplage  $\kappa$  et pertes  $p$  de ses coupleurs, ainsi que les pertes aux soudures  $\alpha$  de la boucle elle-même (Fig. 1). Il est alors possible de prédire son ISL,  $Q_{opt}$  ainsi que sa transmission au pic de résonance, et d'utiliser ces valeurs pour déterminer son influence sur la contribution en bruit de fréquence blanc au bruit de phase de l'OEO.

Dans le domaine de validité du modèle, la comparaison entre le bruit de phase simulé de l'OEO et sa valeur expérimentale permet de déterminer les coefficients des coupleurs ainsi que les pertes aux soudures. L'unicité du résultat est obtenue en ajoutant la comparaison du facteur de qualité optique simulé à la valeur mesurée. Cette approche nous a permis de caractériser intégralement notre anneau de fibre résonant. Une étude de l'influence des pertes de ces résonateurs est alors possible, ce qui permet d'optimiser le résonateur pour diminuer le bruit de phase de l'oscillateur.

### 4. OPTIMISATION D'UN RESONATEUR OPTIQUE

Les pertes du résonateur optique vont jouer directement sur son facteur de qualité, mais aussi sur son influence sur la contribution en bruit de fréquence blanc du système sur le bruit de phase de l'OEO.

Nous pouvons voir, que ce soit dans le cas des pertes internes de la boucle (Fig. 3a) ou des pertes des coupleurs (Fig. 3b), qu'il existe une valeur optimale de la transmission des coupleurs pour avoir le bruit de phase de l'OEO le plus faible possible. Par exemple, pour des pertes aux soudures de 0,1 dB (Fig. 3a), le coupleur optimal est un coupleur 99,8/0,2 %. Quand les pertes augmentent, ce ratio diminue jusqu'à une valeur de 94/6 % pour 1 dB de pertes dans la boucle.



(a) Influence des pertes internes  $\alpha$  de la boucle, les coupleurs étant supposés sans pertes.

(b) Influence des pertes internes  $p$  des coupleurs pour des pertes internes de la boucle de 0,02 dB.

Fig. 3 : Influence des pertes sur le choix de la transmission  $T$  des coupleurs.

Avec des pertes aux soudures de 0,02 dB, les pertes internes influent de la même façon que les pertes aux soudures sur le choix du coupleur (Fig. 3b). Pour des pertes internes des coupleurs de 0,1 dB, le ratio optimal est de 98,5/1,5 %. Ce ratio diminue à 90/10 % pour des pertes de 1 dB.

Le facteur de qualité diminue rapidement quand les pertes augmentent, passant d'un maximum de  $5.10^9$  environ, pour un anneau quasi sans pertes (0 dB pour les coupleurs et 0,01 dB pour les soudures) composé de coupleurs 99/1 %, à  $0,1.10^9$  pour ce même coupleur avec des pertes de 1 dB pour les coupleurs ou les soudures. Ces courbes montrent aussi que les meilleurs niveaux de bruit de phase ne correspondent pas forcément aux facteurs de qualité les plus élevés. Il y a donc un compromis à trouver entre ces deux performances. Cette analyse nous permet de déterminer les caractéristiques d'un anneau optimisé.

## 5. NOUVEL OEO BASE SUR UN RESONATEUR OPTIMISE

Ce nouvel oscillateur est basé sur un anneau de 20 m utilisant des coupleurs 99/1 %, réalisé par IDIL. La mesure de la largeur de la résonance de cet anneau (Fig. 4) correspond à un facteur de qualité de  $5.10^9$  à  $1,55 \mu\text{m}$ . Cette mesure nous permet d'évaluer les pertes internes de la boucle à 0,01 dB et celles des coupleurs à 0,04 dB. Avec ces valeurs, nous attendons une contribution du bruit de fréquence blanc au bruit de phase de l'OEO de -120 dBc/Hz à 10 kHz de la porteuse.

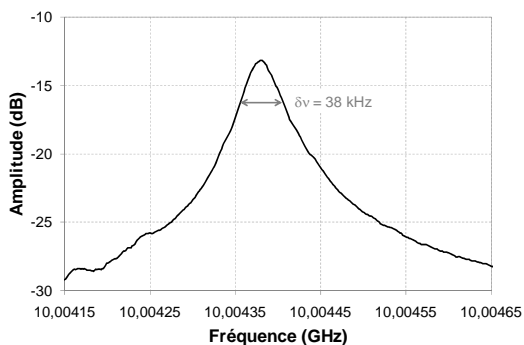


Fig. 4 : Largeur de la résonance.

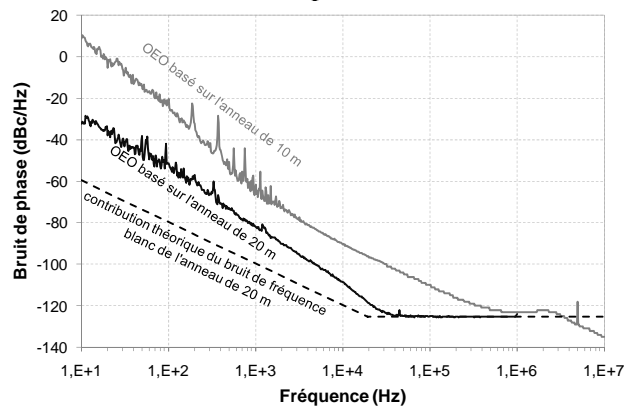


Fig. 5 : Comparaison des bruits de phase des OEO basés sur les anneaux de 10 m (en gris) et 20 m (en noir).

La mesure expérimentale présentée en Fig. 5 nous permet de constater que nous avons bien amélioré le bruit de phase de l'OEO avec un niveau de -110 dBc/Hz à 10 kHz de la porteuse. Mais la contribution du bruit de fréquence blanc n'est plus prédominante si on regarde la comparaison entre les valeurs simulées et la courbe de bruit expérimentale. Le bruit de fréquence en  $1/f$  est bien plus important et nous allons l'étudier afin de comprendre son origine et de pouvoir améliorer les anneaux pour diminuer le bruit de phase des OEO.

## CONCLUSION

Les résonateurs optiques à très forts facteurs de qualité permettent donc l'élaboration de nouvelles sources hyperfréquences avec de très bonnes performances en bruit. Néanmoins pour améliorer ces performances, il est nécessaire de comprendre l'influence des paramètres de la boucle sur les différentes contributions en bruit de l'oscillateur. Nous avons montré que cette étude nous a permis d'améliorer les performances de l'OEO, que l'étude du bruit proche d'un bruit en  $1/f$  est essentielle à l'amélioration du système.

## RÉFÉRENCES

- [1] L. Maleki, S. Yao, Y. Ji and V. Ilchenko, "New schemes for improved opto-electronic oscillator," *International Topical Meeting on Microwave Photonics*, vol. 1, pp. 177–180, 1999.
- [2] P. H. Merrer, A. Bouchier, H. Brahim, O. Llopis, and G. Cibiel, "High-Q Optical Resonators for Stabilization of High Spectral Purity Microwave Oscillators," *Proc. of the 2009 IEEE EFTF-IFCS*, pp. 866–869, 2009.
- [3] D.B. Leeson, "A simple model of feedback oscillator noise spectrum," *Proc. of the IEEE*, vol. 54, no. 2, pp. 329-330, 1966.