



**HAL**  
open science

## Caractérisation spectro-RF d'un résonateur optique fibré

Zeina Abdallah, Yann Boucher, Arnaud Fernandez, Stéphane Balac, Olivier Llopis

### ► To cite this version:

Zeina Abdallah, Yann Boucher, Arnaud Fernandez, Stéphane Balac, Olivier Llopis. Caractérisation spectro-RF d'un résonateur optique fibré. Optique Bretagne 2015 - 35<sup>e</sup> Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'35), Jul 2015, Rennes, France. hal-01165725

**HAL Id: hal-01165725**

**<https://hal.science/hal-01165725>**

Submitted on 19 Jun 2015

**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.

# CARACTÉRISATION SPECTRO-RF D'UN RÉSONATEUR OPTIQUE FIBRÉ

Zeina Abdallah<sup>1,2</sup>, Yann G. Boucher<sup>3,4</sup>, Arnaud Fernandez<sup>1</sup>, Stéphane Balac<sup>5</sup>, Olivier Llopis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNRS LAAS, 7 Avenue du Colonel Roche, F-31031 Toulouse, France

<sup>2</sup> CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31410 Toulouse Cedex 4, France

<sup>3</sup> Laboratoire FOTON, UMR CNRS 6082, ENSSAT, CS 80518, 22305 Lannion, France

<sup>4</sup> ENIB, CS 73862, 29238 Brest Cedex 3, France

<sup>5</sup> IRMAR, UMR CNRS 6625, Campus de Beaulieu, CS 74205, 35042 Rennes, France

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

## RÉSUMÉ

L'objectif de cet article est de présenter une technique de métrologie permettant de mesurer la fonction de transfert complexe d'un résonateur optique fibré avec une résolution de l'ordre du Hz. L'interprétation des résultats expérimentaux par une modélisation analytique simple démontrera la faculté d'acquérir les différentes caractéristiques et le régime de couplage du résonateur mesuré.

**MOTS-CLEFS :** *résonateur optique, dispositif optoélectronique*

## 1. INTRODUCTION

Les résonateurs optiques de facteur de qualité  $Q$  élevé sont à ce jour largement utilisés dans de nombreuses applications telles que la synthèse microonde à faible bruit de phase, la génération de peigne de fréquences ou les capteurs. Qu'il s'agisse d'un micro-résonateur ou d'un résonateur fibré, une connaissance fine de ses propriétés s'impose afin de bien maîtriser le régime de couplage désiré et d'être à même d'introduire les paramètres du résonateur dans un modèle système. Le dispositif de mesure élaboré vise à acquérir une connaissance complète des paramètres de la fonction de transfert complexe caractérisant le résonateur optique étudié, qu'il soit constitué d'un seul coupleur ou bien de deux coupleurs (configuration *add/drop*). Nous montrerons plus particulièrement que le profil global et la pente de la transition de phase (argument de la fonction de transfert) à la résonance permettent de définir le régime de couplage et de dimensionner les paramètres essentiels du résonateur : le coefficient de transmission  $\rho$  et les pertes intra-cavité  $a$ .

## 2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

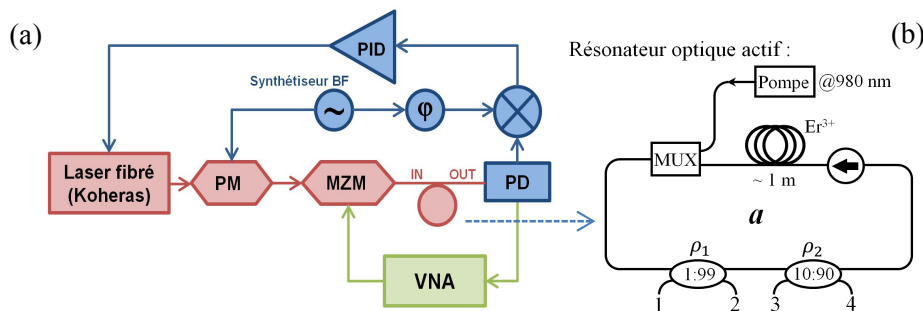


Figure 1: (a) Dispositif de métrologie "Spectro RF"; (b) Schéma du résonateur optique fibré et actif.

Le schéma du dispositif de métrologie « Spectro RF » est représenté sur la Figure 1 [1]. Par l'utilisation d'un analyseur de réseau vectoriel (Vectorial Network Analyzer : VNA), ce dispositif permet de mesurer, dans le domaine microonde, les propriétés optiques des résonateurs avec une précision pouvant atteindre 1 Hz. Le principe de cette caractérisation consiste tout d'abord à verrouiller un laser sur une fréquence de résonance du résonateur sous test à l'aide de la technique de stabilisation de Pound-Drever-Hall [2][3] (Figure 1, trait bleu) en agissant sur le composant

piézo-électrique du laser fibré. Ensuite, un signal RF ( $\sim 10$  GHz) émis par le VNA est injecté sur un modulateur électro-optique de Mach-Zehnder (MZM), générant ainsi des bandes latérales de modulation au voisinage de la porteuse optique du laser, lesquelles sont ensuite injectées dans le résonateur fibré à étudier. Le battement photodétecté est finalement récupéré au port 2 du VNA. Le module et l'argument de la fonction de transfert du résonateur optique sont affichés directement par le VNA. À partir du module, les caractéristiques classiques du résonateur optique peuvent être déterminées, comme l'intervalle spectral libre (ISL), la largeur à mi-hauteur, les pertes d'insertion et le coefficient de qualité [1]. Nous montrons par cette étude que l'argument de la fonction de transfert permet d'obtenir des caractéristiques supplémentaires, et en particulier d'étudier en détail les conditions de couplage du résonateur.

### 3. MODÈLE ANALYTIQUE SIMPLIFIÉ

En régime linéaire un résonateur optique est idéalement caractérisé [4] par trois paramètres :  $\rho$  la transmission directe du coupleur (supposé idéal, symétrique et sans pertes) ;  $\varphi$  la phase sur un tour d'anneau ; et  $a$  le coefficient (réel positif) d'atténuation ou d'amplification, en amplitude, sur un même tour. La dépendance temporelle est prise en  $e^{+j\omega t}$ . Ainsi la fonction de transfert en amplitude complexe s'écrit [4]:  $A(\varphi) = |A|e^{-j\phi} = \frac{\rho - a e^{-j\varphi}}{1 - a\rho e^{-j\varphi}}$

Une représentation de  $|A(\varphi)|^2$  en fonction des différents régimes de couplage possibles est donnée dans la Figure 2.

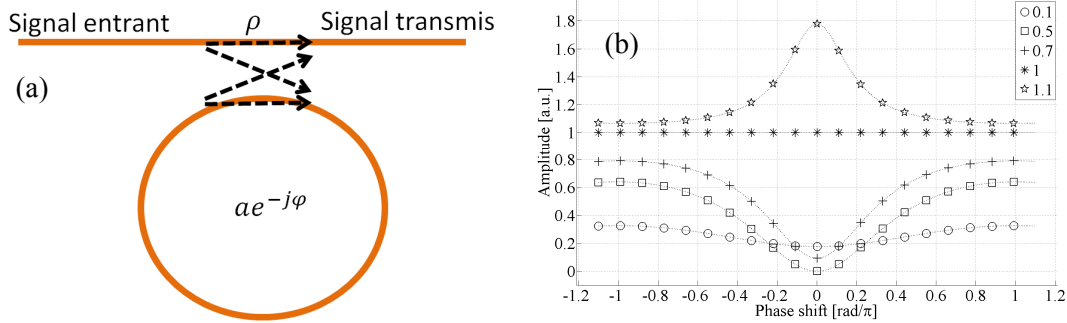


Figure 2: (a) Schéma du résonateur à un coupleur étudié. (b)  $|A(\varphi)|^2$  en fonction du coefficient  $a$  pour un coefficient de transmission du coupleur  $\rho=0.5$ . Régime de sous couplage :  $a = 0.1$  ; couplage critique :  $a= 0.5$  ; sur-couplage :  $a = 0.7$  ; transparence :  $a = 1$  ; amplification sélective :  $a = 1.1$ .

Il est intéressant d'exprimer l'argument de  $A(\varphi)$  noté  $\phi(\varphi)$  et plus précisément la valeur de sa pente de phase à la résonance notée  $F_D$  ou facteur de dispersion :

$$\phi(\varphi) = \text{atan}\left(\frac{a\rho \sin(\varphi)}{1 - a\rho \cos(\varphi)}\right) - \text{atan}\left(\frac{a \sin(\varphi)}{\rho - a \cos(\varphi)}\right) + cte$$

$$F_D = \left. \frac{d\phi(\varphi)}{d\varphi} \right|_{\varphi=0} = \frac{a(1 - \rho^2)}{(1 - a\rho)(a - \rho)}$$

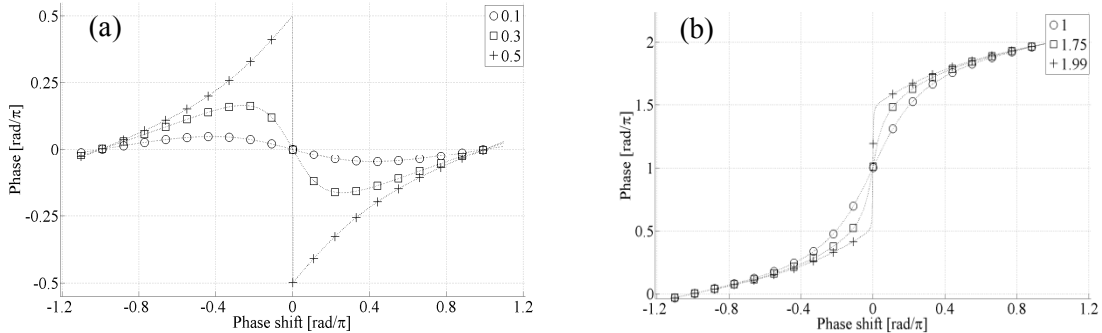


Figure 3: Représentation de  $\phi(\varphi)$  en fonction de  $a$  pour  $\rho = 0.5$  avec (a)  $\rho \geq a$ . (b)  $\rho < a < 1/\rho$

Notons que sur la Figure 3 est représenté le profil caractéristique de  $\phi(\varphi)$  pour les cas  $\rho > a$  et  $\rho < a < 1/\rho$ . Pour  $\rho = a$ ,  $F_D$  n'est pas défini car  $\phi(\varphi)$  est discontinue en  $\varphi = 0$ .

#### 4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Afin de démontrer la possibilité de retrouver les propriétés d'un résonateur avec le dispositif « Spectro-RF », nous avons mis au point une cavité optique fibrée dite active (Figure 1(b)) en insérant un amplificateur à fibre dopée Erbium dans un résonateur constitué de deux coupleurs (10:90 et 1:99). En jouant sur le courant du laser de pompe, il est possible de varier les pertes intra-cavité i.e. de modifier le paramètre  $a$ .

Les résultats d'acquisition au VNA de l'argument de  $A(\varphi)$  pour différents courants de pompe sont illustrés par la Figure 4. Ces résultats illustrent bien qu'à faible courant de pompe ( $I = 46$  mA, Figure 4(a)), le résonateur est en régime de sous-couplage ( $a < \rho$ ) comme illustré en Figure 3(a) avec une excursion de phase  $\phi$  limitée au domaine  $[-\pi/2, \pi/2]$  et un facteur de dispersion  $F_D$  négatif dont la mesure nous indique une valeur du paramètre  $a$  inférieure à 1. Pour des courants plus élevés, le profil de phase traduit bien le changement de régime de couplage avec une excursion de phase de  $2\pi$  sur un ISL et  $F_D$  positif qui augmente avec le courant de pompe (Figure 4(b)).

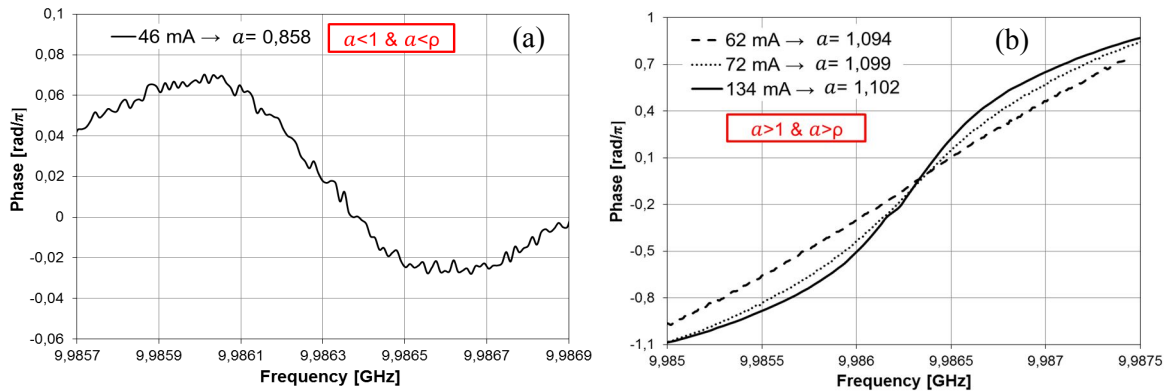


Figure 4 : Mesure de l'argument de la fonction de transfert : (a) régime de sous-couplage (b) régime d'amplification sélective.

#### CONCLUSION

Nous avons montré l'intérêt de la technique « Spectro RF » dans sa capacité à mesurer la fonction de transfert d'une cavité résonante. De plus, l'adéquation des mesures avec un modèle analytique simple s'avère encourageante pour une détermination plus précise de tous les paramètres d'un dispositif résonant.

#### RÉFÉRENCES

- [1] P. H. Merrer, K. Saleh, O. Llopis, S. Berneschi, F. Cosi, and G. Nunzi Conti, "Characterization technique of optical whispering gallery mode resonators in the microwave frequency domain for optoelectronic oscillators", *Appl. Opt.* 51, pp. 4742-4748, 2002.
- [2] R. W. P. Drever, J. L. Hall, F. V. Kowalski, J. Hough, G. M. Ford, A. J. Munley, and H. Ward, "Laser phase and frequency stabilization using an optical resonator", *Appl. Phys. B*, vol. 31, pp. 97-105, 1983.
- [3] P. H. Merrer, O. Llopis, and G. Cibiél, "Laser Stabilization on a Fiber Ring Resonator and Application to RF Filtering", *Photonics Technology Letters, IEEE*, vol. 20, n°16, pp. 1399-1401, Aug. 2008.
- [4] A. Yariv, "Universal relations for coupling of optical power between microresonators and dielectric waveguides", *Electronics Letters*, vol. 36, n° 14, pp. 321-322, 2000.

**Remerciements** : Cette étude est soutenue par la région Midi-Pyrénées (contrat Optomilliref), le CNES et la DGA (contrat EDA Hippomos).