



**HAL**  
open science

## Résonateurs optiques à très fort Q et applications Projets ANR-ORA et CNES-SHYRO

Khaldoun Saleh, Aurélien Coillet, Vincent Huet, Amel Ali Slimane, Rémy  
Henriet, Davor Ristic, Adrien Desmoulin, Véronique Conédéra, Luca Furfaro,  
M. Jacquot, et al.

► **To cite this version:**

Khaldoun Saleh, Aurélien Coillet, Vincent Huet, Amel Ali Slimane, Rémy Henriet, et al.. Résonateurs optiques à très fort Q et applications Projets ANR-ORA et CNES-SHYRO. Journée du Club Optique Micro-onde (JCOM 2013), Jun 2013, Paris, France. hal-00849711

**HAL Id: hal-00849711**

**<https://hal.science/hal-00849711v1>**

Submitted on 31 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.



**Journée du Club  
TRT  
Palaiseau  
20 Juin 2013**



**Résonateurs optiques à très fort Q et applications  
Projets ANR-ORA et CNES-SHYRO**

K. Saleh<sup>1,2</sup>, A. Coillet<sup>2</sup>, V. Huet<sup>3</sup>, A. Ali Slimane<sup>1</sup>, R. Henriot<sup>2</sup>, D. Ristic<sup>4</sup>, A. Desmoulin<sup>1</sup>,  
V. Conedera<sup>1</sup>, L. Furfaro<sup>2</sup>, M. Jacquot<sup>2</sup>, H. Serier-Brault<sup>5</sup>, P. Gredin<sup>5</sup>, A. Fernandez<sup>1</sup>,  
P. Salzenstein<sup>2</sup>, K. Phan Huy<sup>2</sup>, M. Chauvet<sup>2</sup>, Y. Chembo<sup>2</sup>, L. Larger<sup>2</sup>, A. Rasoloniaina<sup>3</sup>,  
Y. Dumeige<sup>3</sup>, P. Féron<sup>3</sup>, M. Ferrari<sup>4</sup>, M. Mortier<sup>5</sup>, O. Llopis<sup>1</sup>, L. Morvan<sup>6</sup>, G. Cibieli<sup>7</sup>

<sup>1</sup>LAAS, CNRS, Université de Toulouse, 7 avenue du Colonel Roche, 31031 Toulouse, France

<sup>2</sup>FEMTO-ST, CNRS, 16 route du Gray, 25030 Besançon, France

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

<sup>4</sup>IFN – CNR, CSMFO Lab., via alla Cascata 56/C Povo, 38123 Trento, Italie

<sup>5</sup>LCMCP, CNRS-UMR 7574, Chimie Paris Tech, 75231 Paris, France

<sup>6</sup>THALES R&T, Campus Polytechnique, 1 avenue Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau, France

<sup>7</sup>CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse, France

Les projets ANR ORA (Optical Resonators and Applications) et CNES SHYRO (Sources HYperfréquences à base de mini Résonateurs Optiques) visent à modéliser, réaliser et caractériser des résonateurs optiques présentant des coefficients de qualité extrêmes avec un volume de mode faible, et à mettre en valeur ces composants dans des applications, en particulier en réalisant des oscillateurs hyperfréquences à très faible bruit de phase.

Le projet ORA est aujourd'hui dans sa phase finale (3<sup>ème</sup> année). Il se situe un peu en amont des applications et se focalise sur les approches technologiques pour la réalisation des résonateurs, la modélisation de ces composants, ou encore sur la résolution des problèmes de bruit ou de non-linéarités associés à l'oscillateur. Il explore également de nouvelles voies pour la réalisation des résonateurs : résonateurs actifs, résonateurs intégrés, résonateurs non-linéaires.

Le projet SHYRO, aujourd'hui à mi-parcours, a pour objectif la réalisation d'une source hyperfréquence référencée sur un résonateur optique et présentant un très faible bruit de phase près de la porteuse (1 Hz à 10 kHz). L'objectif applicatif est donc prioritaire dans ce second projet, avec un cahier des charges difficile fixant une performance pour l'oscillateur à réaliser meilleure que celle pouvant être obtenue par des sources classiques à résonateur piezoélectrique.

Parmi les résultats marquants concernant les résonateurs, on pourra remarquer des approches de modélisation des résonateurs WGM, des techniques de mesure très précises des différents coefficients de qualité, l'obtention de résonateurs sphériques à base de verres dopés présentant des coefficients de qualité supérieurs ou égaux à  $10^{10}$  en régime de compensation des pertes et un gain supérieur à 20 dB en régime d'amplification sélective, la fonctionnalisation de surface de résonateurs sphériques, la réalisation de résonateurs de type disque par polissage mécanique de monocristaux de  $\text{CaF}_2$  et  $\text{MgF}_2$  présentant pour certains des coefficients de qualité supérieurs à  $10^9$ , la réalisation de résonateurs à partir de boucles fibrées présentant des coefficients de qualité supérieurs à  $10^{10}$ .

En ce qui concerne les oscillateurs électro-optiques (OEO), plusieurs systèmes ont pu être réalisés et caractérisés, certains basés sur des résonateurs fibrés, d'autres sur des mini-disques de  $\text{CaF}_2$  et  $\text{MgF}_2$ . Les problèmes de stabilisation du laser sur le résonateur par des contre-réactions appropriées ont été étudiés et résolus. Une optimisation en bruit de certains de ces systèmes a été menée, en particulier vis-à-vis des différentes contributions de bruit issues des résonateurs eux-mêmes et liés aux non-linéarités optiques. Les performances mesurées sur les OEO à résonateurs tridimensionnels restent encore modestes (de l'ordre de celles d'un oscillateur de type DRO) mais ces premiers dispositifs ont été réalisés avec des résonateurs présentant un facteur de qualité optique de l'ordre de  $10^8$ . Les performances mesurées sur un OEO à boucle fibrée résonante sont excellents, mais nécessitent d'être encore améliorés pour disposer d'un système compact et tout à fait compétitif par rapport aux oscillateurs micro-ondes basés sur des résonateurs saphir.

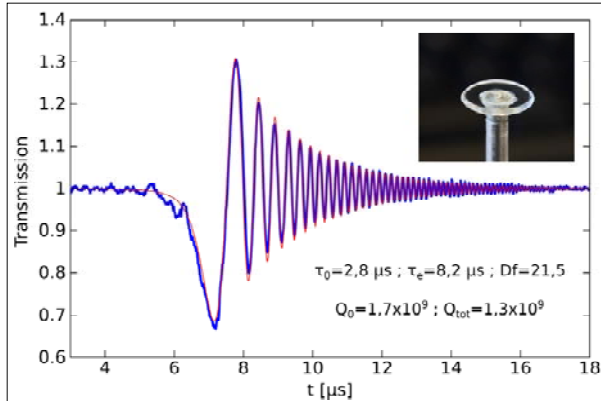


Figure 1 : Mesure par "cavity ring down" d'un résonateur disque  $\text{MgF}_2$  de  $Q = 1.7 \cdot 10^9$  (FEMTO-ST)

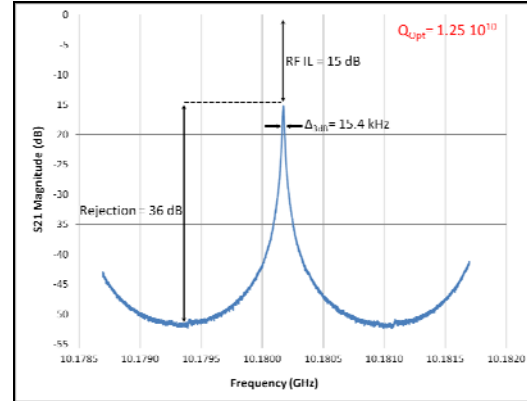


Figure 2 : Mesure par analyse fréquentielle d'une boucle fibrée de 120 m,  $Q = 1.25 \cdot 10^{10}$  (LAAS)

#### Références :

- [1] A. Chiasera, Y. Dumeige, P. Féron, M. Ferrari, Y. Jestin, G. Nunzi Conti, S. Pelli, S. Soria, G.C. Righini. "Spherical whispering-gallery-mode microresonators" *Laser & Photonics Reviews* 4 (2010) pp. 457-482.
- [2] K. Volyanskiy, P. Salzenstein, H. Tavernier, M. Pogurmirskiy, Y. Chembo, L. Larger, "Compact Optoelectronic Microwave Oscillators using Ultra-High Q Whispering Gallery Mode Disk-Resonators and Phase Modulation," *Optics Express* 18(21), 22358-22363 (2010).
- [3] G.C. Righini, Y. Dumeige, P. Féron, M. Ferrari, G. Nunzi Conti, D. Ristic, S. Soria., "Whispering gallery mode microresonators: fundamentals and applications", *Rivista del Nuovo Cimento* 34 (2011) pp. 435-488.
- [4] Y. Dumeige, P. Féron, "Stability and time-domain analysis of the dispersive tristability in microresonators under modal coupling", *Phys. Rev. A* Vol. 84, pp. 043847-1\_043847-5 (2011)
- [5] Y. Dumeige, P. Féron and S. Trebaol, "Coupling active microresonators improves the characteristics of slow-light systems" *SPIE Newsroom, Optoelectronics & Communications*, 18 january 2012.
- [6] K. Saleh, P.H. Merrer, O. Llopis, G. Cibiel, "Optoelectronic Oscillator Based on Fiber Ring Resonator: Overall System Optimization and Phase Noise Reduction", *IEEE Int. Freq. Control Symp.*, Baltimore, May 2012.
- [7] P.H. Merrer, K. Saleh, O. Llopis, S. Berneschi, F. Cosi, G. Nunzi Conti, "Characterization technique of optical whispering gallery mode resonators in the microwave frequency domain for optoelectronic oscillators", *Applied Optics*, Vol. 51, Issue 20, pp. 4742-4748, July 2012.
- [8] D. Ristic, A. Chiappini, A. Chiasera, C. Armellini, A. Carpentiero, M. Mazzola, E. Moser, S. Varas, S. Berneschi, G. Nunzi Conti, S. Pelli, S. Soria, G. Speranza, L. Lunelli, C. Pederzoli, F. Prudenzano, P. Féron, M. Ivanda, G. Cibiel, G. Righini, M. Ferrari, "Spherical resonators coated by glass and glass-ceramic films", *Invited paper in Proc. of SPIE Vol. 8236* (2012) pp. 82361W-1/13.
- [9] A. Rasoloniaina, S. Trebaol, V. Huet, E. Le Cren, G. Nunzi Conti, H. Serier-Brault, M. Mortier, Y. Dumeige, P. Féron, "High-gain wavelength-selective amplification and cavity ring down spectroscopy in a fluoride glass erbium-doped microsphere", *Optics Letters* Vol. 37, Iss. 22, pp. 4735-4737 (2012).
- [10] K. Saleh, P.-H. Merrer, O. Llopis, G. Cibiel, "Millimeter Wave Generation Using Brillouin Scattering in a High Q Fiber Ring Resonator", *Proc. of the 2012 IEEE MWP Conference, Noordwijk*, Sept. 2012.
- [11] P. Féron, A. Rasoloniaina, V. Huet, E. Le Cren, S. Trebaol, G. Nunzi Conti, H. Serier-Brault, M. Mortier, Y. Dumeige, "High gain selective amplification in whispering gallery mode resonators: analysis by cavity ring down method", *Proc. of SPIE Vol. 8600*, 86000G (2013).
- [12] Coillet A., Henriot H., Salzenstein P., Phan Huy K., Larger L. and Chembo Y. K., "Time-domain Dynamics and Stability Analysis of Optoelectronic Oscillators based on Whispering-Gallery Mode Resonators," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 19(5), 6000112 (2013).
- [13] Safioui J., Devaux F., Phan Huy K. and Chauvet M., "High intensity behavior of pyroelectric photorefractive self-focusing in  $\text{LiNbO}_3$ ," *Optics Communications* 294, 294-298 (2013).
- [14] Salzenstein P., Voloshinov V. B. and Trushin A. S., "Investigation in acousto-optic laser stabilization for crystal resonator based optoelectronic oscillators," *Optical Engineering* 52(2), 024603 (2013).
- [15] K. Saleh, O. Llopis, G. Cibiel, "Optical Scattering Induced Noise in Fiber Ring Resonators and Optoelectronic Oscillators", *Journal of Lightwave Tech.*, vol. 31, no. 9, pp. 1433,1446, May 1, 2013.