

# Bienvenue sur le dokuwiki du projet SHYRO



▸ Le projet SHYRO est cofinancé par le CNES dans le cadre de la R&T <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7438-recherche-et-technologie-des-systeme-s-orbitaux.php> et de deux thèses cofinancées avec la région Franche-Comté et Midi-Pyrénées <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7418-bourses-de-recherche.php>  
 ▸ Il s'intitule : “Sources HYperfréquences à très haute pureté spectrale à base de mini-Résonateurs Optique : Phase de démonstration de la performance” Action : R-S10/LN-0001-004

```

<flash left 1400x500 https://wiki.univ-rennes1.fr/foton/lib/plugins/flash/visorFreemind.swf>
initLoadFile https://wiki.univ-rennes1.fr/foton/lib/exe/fetch.php?media=:projets:shyro:shyro.mm
quality high openUrl _blank startCollapsedToLevel 1 </flash>
  
```

## Partenaires du projet

- Foton
- Femto-ST
- LAAS
- CNR IFN
- CNES



# Publications

## Congrès internationaux

Mini and micro-resonators for the generation of high spectral purity microwave signals, proceedings p.124/228

Spherical resonators coated by glass and glass-ceramic films

Whispering gallery modes in coated silica microspheres

High gain selective amplification in whispering gallery mode resonators: analysis by cavity ring down method

Tailored spectroscopic and optical properties in rare earth-activated glass-ceramics planar waveguides

Design of Rare-Earth Doped Microspheres Lasers

Glass-Based Sub-Wavelength Photonic Structures

Light coupling between the whispering gallery modes of a coated microsphere and a tapered fiber

International Workshop Silicon & Photonics June 11-12, 2013 (Rennes, France)

Transparent Optical Networks (ICTON), 2014 16th International Conference on

Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2014 37th International Convention on

## Articles

High-gain wavelength-selective amplification and cavity ring down spectroscopy in a fluoride glass erbium-doped microsphere

Time-Domain Dynamics and Stability Analysis of Optoelectronic Oscillators Based on Whispering-Gallery Mode Resonators

About the role of phase matching between a coated microsphere and a tapered fiber: experimental study

Controlling the coupling properties of active ultrahigh-Q WGM microcavities from undercoupling to selective amplification

Analytical model for the coupling constant of a directional coupler in terms of slab waveguides

Whispering gallery mode profiles in a coated microsphere

High quality-factor optical resonators

[Tailoring of the free spectral range and geometrical cavity dispersion of a microsphere by a coating layer](#)

[Analysis of third-order nonlinearity effects in very high-Q WGM resonator cavity ringdown spectroscopy](#)

[Coupled optical microresonators for microwave all-optical generation and processing](#)

[Photoluminescence and lasing in whispering gallery mode glass microspherical resonators](#)

[Theoretical and experimental analysis of rare earth whispering gallery mode laser relative intensity noise](#)

## Congrès nationaux

- [3eme\\_rencontres\\_foton-irmar.pdf](#)
- [coloq\\_13\\_-\\_op2013.pdf](#)
- [gdr\\_2013\\_foton.pdf](#)
- [ora\\_shyro\\_jcom2013.pdf](#)
- [aisem2015\\_ristic.pdf](#)
- [coloq2015.pdf](#)
- [jnco2015.pdf](#)

## Thèses

[Thèse de M. Alphonse Rasoloniaina](#)

[Thèse de M. Jean-Baptiste CEPPE](#)

[Projet TIC-THAQ](#)

# Présentation

## Résumé

L'optique constitue aujourd'hui une voie alternative aux approches micro-ondes et radiofréquences pour la génération de fréquence à haute pureté et haute stabilité. Depuis une dizaine d'années, les performances de l'Oscillateur Ultra Stable (OUS) à quartz semblent se tasser vers  $1\text{E-}13$  (en variance d'Allan à quelques s). Même si l'on arrive à réaliser des sources à très haute pureté spectrale à base d'OUS à quartz ( $-65\text{ dBrad}^2/\text{Hz}$  à  $1\text{ Hz}$  de la porteuse  $10\text{ GHz}$  - PHARAO), l'environnement du quartz haute performance n'est pas rassurant quant à son avenir (pérennité du fabricant du matériau, scientifiques impliqués sur le sujet, difficultés à pérenniser la fabrication des oscillateurs haute performance). Même si la fin du quartz n'est pas encore annoncée (des études sont menées pour essayer de comprendre et réduire le bruit du résonateur et les sensibilités thermique,

accélérométrie, aux radiations), il semble important dès à présent de proposer une ou plusieurs autres voies de ruptures technologiques pour son éventuel remplacement à long terme, pas avant 2020/2025). Une solution consisterait à réaliser un oscillateur ultra stable miniature aux fréquences micro-ondes. Le candidat potentiel pour ce type de solution est le mini-résonateur optique (sphère, disque ou bien anneau fibré).

Au niveau international, une équipe américaine (NASA-JPL Pasadena) est très avancée, en particulier sur les approches « mini-résonateur ». Elle est intimement associée à une start-up (OEwaves) qui tente de commercialiser ce savoir-faire original. Depuis peu, cette société communique sur une gamme de produits compacts : COEO (performance), TOEO (synthèse et accordabilité), OEO miniature (performance et compacité). Ces dispositifs à résonateurs étant développés pour le moment dans le cadre de contrats avec la DARPA impliquant, on peut le supposer, des clauses de confidentialité rigoureuses. L'action de R&T CNES (R-S06/LN1-004) qui a impliqué le LAAS-CNRS, FEMTO-ST et l'ENSSAT a permis l'identification des verrous technologiques au travers de la réalisation de maquettes d'oscillateurs optoélectroniques à base de résonateurs optiques (disques et anneaux fibrés). Une autre action de R&T CNES (R-S09/LN1-004) s'est focalisée sur les parties les plus critiques : les résonateurs (passif ou actif) et le couplage. Elle a été menée par l'ENSSAT en collaboration avec un laboratoire italien IFN (Trento). Enfin, deux thèses CNES sont actuellement en cours au LAAS et FEMTO-ST grâce au cofinancement respectifs des régions Midi-Pyrénées et Franche-Comté.

Deux ANR sont actuellement en cours sur ce même sujet : [ORA](#) et MINOTOR.

En Europe, d'autres équipes s'intéressent à ce problème notamment dans le cadre de programme Européen de défense.

Il est important de se fixer un objectif qui doit refléter notre volonté de développer une solution alternative à l'OUS à base de quartz: -70 dBrad<sup>2</sup>/Hz à 1 Hz de la porteuse 10 GHz ou ramené à 10 GHz.

Cet objectif peut faire débat. Pourtant, si on prend en compte les données actuelles, une telle performance est atteignable si on s'en donne les moyens, et c'est bien l'objectif de cette étude. D'autant plus que dans le cadre de cette étude on ne s'intéresse pas au bruit loin de la porteuse. Donc un bruit de phase dont l'objectif sera atteint mais avec une performance en bruit de phase médiocre loin de la porteuse, aura répondu pleinement aux attentes de cette étude.

Pour obtenir un tel bruit phase il est nécessaire de concentrer les efforts sur :

- le résonateur : large augmentation du coefficient de qualité optique
- la boucle : réduction drastique du bruit

Si on s'appuie sur l'approche de Leeson, on a la décomposition suivante :

porteuse [GHz]	S <sub>φ</sub> (f)[dBrad <sup>2</sup> /Hz]	Q <sub>optique</sub> /Q <sub>microondes</sub>	Bruit Résiduel [dBrad <sup>2</sup> /Hz]
10	-70	1×10 <sup>11</sup> / 5×10 <sup>6</sup>	-130
30	-60	1×10 <sup>11</sup> / 1.5×10 <sup>7</sup>	-120
10	-70	1×10 <sup>12</sup> / 5×10 <sup>7</sup>	-110
30	-60	1×10 <sup>12</sup> / 1.5×10 <sup>8</sup>	-100

S<sub>φ</sub>(f) représente la densité spectrale de bruit de phase de l'oscillateur à 1Hz de la porteuse attendue, soit -70 dBc/Hz à 10 GHz et -60 dBc/Hz à 30 GHz. Ainsi pour cette spécification et avec un coefficient de qualité optique à 1.55 μm, Q<sub>optique</sub>, de 1×10<sup>11</sup> à 1×10<sup>12</sup>, on peut estimer le bruit résiduel de la boucle à 10 GHz et 30 GHz limite pour atteindre la spécification en bruit de phase. Le coefficient de qualité, Q<sub>microondes</sub>, représente le coefficient de qualité optique à 1.55 μm, Q<sub>optique</sub>, ramené aux fréquences microondes, 10 et 30 GHz.

Ainsi qu'il s'agisse du résonateur ou du bruit de la boucle, plusieurs voies sont envisageables. Tout d'abord la montée en fréquence, dans le tableau ci-dessus, on voit le bénéfice que l'on peut en tirer tant sur l'augmentation du coefficient de qualité que sur la réduction du bruit de la boucle. Ensuite, au niveau du résonateur on peut noter les pistes suivantes : dans le cas des anneaux fibrés, le passage à des tailles plus importantes permet un gain conséquent sur le coefficient de qualité ; dans le cas des sphères, l'application de couches additives (e.g. Hafnia) au Si permet également un gain substantiel (étude avec le CNR-IFN et l'ENSSAT, R-S09/LN1-004) ; pour ce qui concerne les disques, la maîtrise de fabrication semble être la clé (qualité du matériau, usinage, pollution) pour atteindre les limites prometteuses de certains matériaux (e.g.  $MgF_2$  et  $CaF_2$ ) ; de plus d'autres solutions en actif sont possibles. Enfin, le bruit des boucles actuelles n'a pas fait l'objet d'une grande attention jusqu'à présent, ainsi la marge de progression est bien réelle d'autant plus que les modélisations en bruit de tels oscillateurs ont bien avancé et que des solutions d'annulation ou de limitation peuvent être envisagées.

L'étude se décompose en cinq tâches :

- Tâche 1 : Démonstration de la performance résonateurs optiques.
- Tâche 2 : Identification, quantification, compréhension et modélisation des sources de bruit dans une boucle OEO à base de mini-résonateurs.
- Tâche 3 : Caractérisation d'oscillateurs hyperfréquences à très haute pureté spectrale à base de mini-résonateurs optiques.
- Tâche 4 : Expertise industrielle des solutions retenues dans la réalisation d'une source hyperfréquences à très haute pureté spectrale à base de mini résonateurs optiques.
- Tâche 5 : Identification et évaluation de solutions prospectives dans la réalisation d'oscillateurs hyperfréquences à très haute pureté spectrale à base de mini-résonateurs optiques.

---

Vous n'avez pas les droits pour ajouter une page

From:

<https://wiki.univ-rennes1.fr/foton/> - **Wiki UR1 de l'UMR Institut Foton**

Permanent link:

<https://wiki.univ-rennes1.fr/foton/doku.php?id=projets:shyro:accueil&rev=1558099843>

Last update: **2019/05/17 15:30**

