

## **Application des peignes de fréquence optiques miniatures à la génération hyperfréquence à haute pureté spectrale**

Les oscillateurs électro-optiques, ou OEOs, constituent aujourd'hui une classe importante de sources de fréquence lorsqu'on vise des applications à faible bruit de phase. Ils sont particulièrement bien adaptés pour l'obtention de performances extrêmes dans la gamme micro-onde et millimétrique, à condition de viser une application à une fréquence suffisamment élevée. La stabilisation de l'oscillation micro-onde s'effectue dans ces systèmes soit sur une ligne à retard fibrée, soit sur un élément résonant passif à très fort facteur de qualité (boucle fibrée résonante, disque ou sphère à modes de galerie), soit sur un résonateur actif (cas du laser à blocages de modes ou COEO). Toutefois, chacune de ces techniques présente des inconvénients : la ligne à retard est volumineuse, difficile à stabiliser en température et induit des modes parasites près de la porteuse, l'OEO à résonateur nécessite une stabilisation laser-résonateur complexe et qui peut induire des conversions de bruit non négligeables, le COEO présente de bonnes performances en termes de bruit de phase et de « spurious » mais reste difficile à assembler dans un volume réduit.

En parallèle au développement de ces systèmes, de nombreuses études portent aujourd'hui sur le déclenchement de peignes de fréquence dans des résonateurs optiques compacts. La détection sur une photodiode des battements de ces peignes, lorsqu'ils sont obtenus avec des résonateurs à très fort  $Q$ , peut conduire à la génération directe de signaux hyperfréquences de très haute pureté spectrale, comme cela a pu être démontré par deux équipes différentes. Toutefois, tous les régimes non-linéaires dans les micro ou mini résonateurs ne conduisent pas à des signaux de haute pureté et le contrôle et le choix du laser de pompe restent des paramètres complexes à maîtriser pour l'obtention de bonnes performances.

Dans le cadre de cette thèse, nous souhaitons travailler sur des systèmes hybrides couplant les possibilités des peignes optiques intégrés à des sources hyperfréquences (oscillateur à contre-réaction). Il s'agit en d'autres termes d'explorer une approche de COEO intégré, ou du moins compact, où le laser fibré à modes verrouillés est remplacé par un résonateur non-linéaire. L'utilisation d'une contre réaction hyperfréquence permettra de stabiliser les modes optiques du résonateur et, si nécessaire, de les déclencher sur des fréquences plus élevées que l'intervalle spectral libre naturel du résonateur. Il est difficile de prévoir les performances en bruit de phase d'un tel système. Le choix de l'amplificateur optique sera déterminant, tout comme notre capacité à obtenir des résonateurs avec un fort  $Q$  et/ou un seuil de déclenchement des effets non-linéaires faible. Dans tous les cas, on peut espérer améliorer les performances du COEO en conservant son volume actuel ou réduire son volume si le résonateur optique présente un  $Q$  suffisant.

Cette thèse fait l'objet d'un financement du CNES. Elle sera suivie par le département temps-fréquence du CNES, qui s'intéresse à ces dispositifs pour améliorer les horloges embarquées. Elle entre également dans le cadre d'actions menées avec THALES, qui pourra valoriser le travail réalisé en cas de succès dans le cadre de ses dispositifs radars ou pour des convertisseurs de fréquence en gamme millimétrique.

Le candidat devra avoir effectué un master ou une école d'ingénieur avec idéalement une fin de parcours en optique et micro-ondes, ou tout au moins en optique.

Laboratoire d'accueil : Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS, LAAS-CNRS (UPR-CNRS 8001), 7 av. du Colonel Roche, 31031, Toulouse.

<http://www.laas.fr>

Directeur de thèse : Olivier LLOPIS

Email : [llopis@laas.fr](mailto:llopis@laas.fr)

Tel : 05 61 33 78 11

Co-directeur de thèse : Arnaud FERNANDEZ

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

Tel : 05 61 33 78 47

Financement : CNES + Région Occitanie (ou DGA)