Sujet de thèse

Titre du sujet : Investigation sur l'origine du bruit des résonateurs ultra-stable à ondes élastiques, applications aux matériaux de pure synthèse ($GaPO_4$, LGT, LGS).

Laboratoire d'accueil : FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, Dept. Temps-Fréquence, 26 Chemin de l'Epitaphe, 25030 Besançon cedex.

Directeur de thèse : F. Sthal, 03.81.40.28.31, fsthal@femto-st.fr
Co-encadrants : J. Imbaud, 03 81 40 28 39, joel.imbaud@ens2m.fr
M. Devel, 03 81 40 28 68, michel.devel@femto-st.fr

Financement : Bourse ministérielle (MESR), durée 3 ans, montant mensuel brut : 2014,63 €.

Description du sujet :

Les applications spatiales de localisation précise/altimétrie, navigation, télécommunication et sciences nécessitent des stabilités de fréquence et de pureté spectrale de plus en plus grandes, pour atteindre les objectifs retenus. Les stabilités de fréquence recherchées sont demandées aussi bien pour les oscillateurs ultra-stables (OUS) à quartz que pour les horloges atomiques dans lesquelles l'OUS donne la limitation de stabilité sur les temps cours. Dans chacun des cas, il y a lieu de disposer d'un oscillateur très peu bruyant, et pour cela il faut maîtriser et réduire au maximum les sources de bruit du résonateur. Il subsiste encore des effets indésirables perceptibles et nuisibles aux performances des OUS dont les causes sont maintenant clairement attribuées au résonateur mais ne sont pourtant pas explicitées. D'autres matériaux de synthèse comme le $GaPO_4$ et Langatate (LGT) ont montré leurs potentialités dans ces domaines d'applications. Aujourd'hui, la modélisation et l'étude du bruit propre de ces types de résonateurs sont globalement inexistantes.
Fort de son expertise, le département Temps-Fréquence est le seul laboratoire au monde à développer et utiliser les bancs de mesure de bruit propre des résonateurs à ondes de volume. Ces outils performants offrent un champ d'investigations expérimentales très intéressant pour la comparaison avec les mesures en oscillateurs. Il est cependant nécessaire de compléter cette approche d'un point de vue plus fondamental.
La thèse proposée sera donc focalisée sur la modélisation du bruit des résonateurs ultra-stables à partir des données expérimentales du bruit du résonateur seul, en boucle ouverte et de l'oscillateur incluant le résonateur testé. Les données cristallographiques et l'ensemble du procédé d'usinage seront bien sûr pris en compte. L'étude portera notamment sur la comparaison entre les matériaux de synthèse précités et le quartz.
Une étude bibliographique préliminaire commentée sur l'état des connaissances actuelles concernant le bruit des résonateurs et des oscillateurs ainsi que les outils d'analyse sera engagée. Une attention particulière sera prêtée à l'inventaire des mécanismes physiques susceptibles d'être à l'origine des bruits observés. Ainsi, des comparaisons entre des modélisations de type mécanique des milieux continus et de type dynamique moléculaire seront menées, afin de mieux cerner l'origine physique des paramètres macroscopiques et d'estimer les limites ultimes de chaque matériau.
Cette étude permettra d'établir un plan d'expérience destiné à identifier les causes de bruit des résonateurs. Ce plan concernera :

- les matériaux de base (condition de croissance, défauts macroscopiques et microscopiques),
- le type de résonateur et sa technologie de fabrication (coupe, modes de vibration et couplages, technique de piégeage, électrodes, défauts de surface…),
- l'environnement (limitations thermiques, mécaniques, …)

Les campagnes de mesures engagées à température d'inversion et éventuellement cryogénique alimenteront et valideront les hypothèses émises sur l'influence des paramètres retenus sur les résonateurs de production industrielle et spécifiques. Ces mesures permettront de déterminer l'influence paramétrique de la fonction de transfert du résonateur (modèle R, L, C, C_0) ainsi que d'élaborer un modèle pratique en privilégiant les paramètres maîtrisables durant le processus de fabrication.
Le candidat sera en relation avec les principaux industriels européens du domaine durant la durée de sa thèse de doctorat.

Profil du candidat : Master à dominante matériaux, physique du solide.