

TeraHertz et métrologie

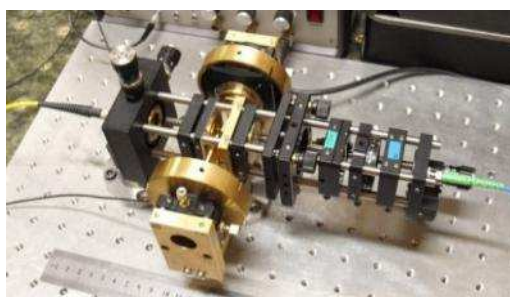
L'objectif de cette thématique de recherche est de proposer des moyens optiques permettant de générer des références de fréquences de très grande pureté spectrale dans la gamme teraHertz, avec une stabilité de fréquence record. Les applications de ce type de références sont la spectroscopie teraHertz ultra-résolue, la métrologie teraHertz et la détection hétérodyne de signaux THz à température ambiante.

Les activités menées dans ce domaine rejoignent les études conduites en **Dynamique des lasers** et constituent une extrapolation dans le millimétrique et les THz des activités en **Optique hyperfréquence**.

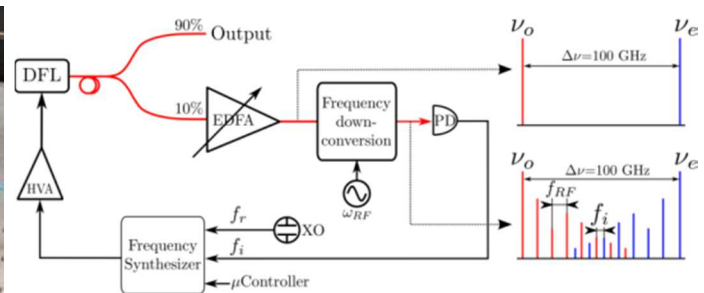
Asservissement par boucle à verrouillage de phase opto-électronique

Au sein de cette thématique de recherche, différentes solutions optiques ont été mises au point en vue de réaliser des oscillateurs ultra-stables dans les domaines de fréquences micro-onde, millimétrique et THz. Ces techniques sont fondées sur la stabilisation de la fréquence du battement, produit à la sortie d'une cavité laser bifréquence, et oscillant à la différence des fréquences des deux ondes optiques produites par le laser. L'asservissement de ce battement sur une référence de fréquence externe permet de reporter la stabilité de celle-ci sur la fréquence de battement, bien que les deux fréquences optiques présentent chacune des stabilités fréquentielles moindre.

Dans ce cadre, nous avons récemment démontré un nouveau concept de descente en fréquence opto-électronique en générant, par modulation optique du signal de battement, un peigne de fréquences autour de chacune des deux porteuses optiques. L'entrelacement de ces deux peignes produit alors un signal intermédiaire basse fréquence (dans la gamme MHz-GHz) dont le spectre est une réplique de celui présent au voisinage du battement THz. Lorsque le battement millimétrique ou THz est produit par un laser bifréquence, le signal intermédiaire porte le bruit de phase du battement. Nous avons montré qu'il était alors possible d'obtenir le verrouillage de phase du battement THz en utilisant uniquement des composants dans le domaine microonde et une électronique d'asservissement basse fréquence standard. Cette technique de verrouillage de phase, que nous avons baptisée OEPLL pour "OptoElectronic Phase Locked Loop", offre de surcroît une accordabilité continue du signal verrouillé en phase avec une électronique de verrouillage de phase fonctionnant à fréquence fixe [Rol11a].



(a)



(b)

Fig. 1 : (a) Photographie du laser Er:Yb bifréquence à 1,55 μm . (DFL) (b) Schéma expérimental de l'OEPLL. (DFL, laser bifréquence; EDFA, amplificateur à fibre dopée Erbium; PD, photodiode; HVA, amplificateur haute tension; XO, oscillateur à quartz 10 MHz). Les spectres schématisés à droite représentent le spectre optique à la sortie du laser bifréquence, respectivement avant (haut) et après (bas) l'étage de descente en fréquence.

Cette technique a été appliquée dans un premier temps à un microlaser (microchip) présentant une accordabilité du battement de 10 à 60 GHz [Rol11b], puis à un oscillateur THz constitué d'un laser bifréquence à 1,5 μm à états de polarisation séparés [Rol11a]. L'oscillateur optoélectronique ainsi réalisé est aujourd'hui continûment accordable de quelques MHz à 380 GHz et présente une largeur de raie inférieure au Hz. L'extrapolation des spectres de bruit de phase permet d'estimer que la stabilité atteinte est de l'ordre du mHz. La descente en fréquence par mélange à quatre ondes vient aussi d'être obtenue récemment, permettant de réaliser des OEPLL efficaces avec des composants du commerce uniquement [Rol14a].

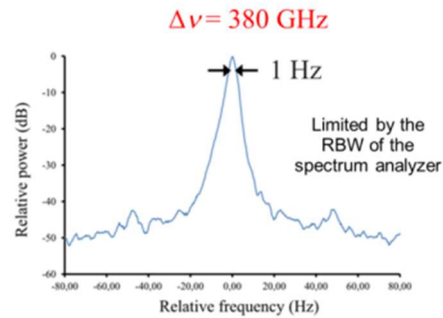
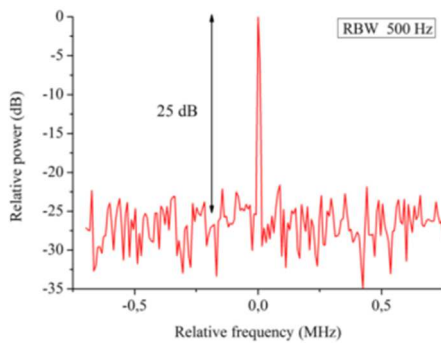
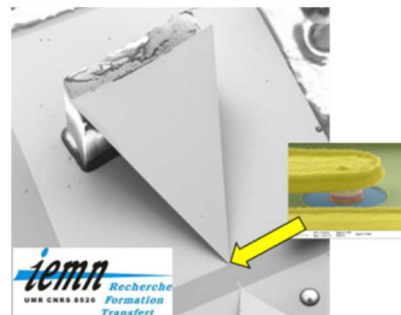


Fig. 2 : Spectre du battement stabilisé à 380 GHz présentant une largeur de raie inférieure au Hertz (limitation de l'instrument de mesure).

Par ailleurs, une collaboration avec l'IEMN de Lille a également permis d'utiliser ces sources pour générer un rayonnement millimétrique continu à 1 THz au moyen de photodiodes UTC développées par l'IEMN, couplées à des antennes cornet [Rol14b]. La pureté spectrale obtenue permet une détection hétérodyne THz à température ambiante avec un rapport signal à bruit d'une soixantaine de dB à 300 GHz et d'une vingtaine de dB à 1 THz.



(a)



(b)

Fig. 3 : a) Photodiode UTC et antennes cornet développées à l'IEMN de Lille (Photographie IEMN) ; b) Un rapport signal à bruit supérieur à 20 dB a été obtenu sur le spectre du rayonnement à un teraHertz généré en couplant un laser bi-fréquence à 1,55 μm conçu à l'IPR et une photodiode UTC de l'IEMN.

Sélection de publications :

[Rol11a] A. Rolland, G. Loas, M. Brunel, L. Frein, M. Vallet, M. Alouini, "Non-linear optoelectronic phase-locked loop for stabilization of opto-millimeter waves: towards a narrow linewidth tunable THz source," *Optics Express*, 19 (19), 17944-50 (2011).

[Rol11b] A. Rolland, M. Brunel, G. Loas, L. Frein M. Vallet, M. Alouini, "Beat note stabilization of a 10-60 GHz dual-polarization microlaser through optical down conversion," *Optics Express* 19, 4399-4404 (2011).

[Rol14a] A. Rolland, *et al.*, "Narrow Linewidth Tunable Terahertz Radiation By Photomixing Without Servo-Locking," *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 4 (2), 260-266 (2014).

[Rol14b] A. Rolland, L. Pouget, M. Brunel, M. Alouini, "Terahertz Optoelectronic Down-Conversion and Phase-Locking Through Four-Wave Mixing," *IEEE Photonics Technology Letters*, 26, 1944-1947 (2014).

Synthèse de signaux hyperfréquence/terahertz à très bas bruit de phase sur porteuse optique à 1,5 μm

Réalisation d'une source optique compacte de rayonnement hyperfréquence

Source THz continue par photomélangement à 800 nm à cavité bifréquence Titane-Saphire

Spectroscopie TeraHertz dans le domaine temporel

Thèses en lien avec cette thématique (passées/en cours) :

Antoine Rolland, « Oscillateurs ultrastables millimétrique et teraHertz par boucle à verrouillage de phase optoélectronique », 2013

Gwennaél Danion, « Oscillateur micro-onde à teraHertz ultra-stable », 2015

Joachim Boerner, « Theoretical and experimental study of ultrastable solid-state laser delivering millimeter wave and teraHertz signals »

Ayman Hallal, « Laser impulsionnel à faible gigue »

Collaborations :

Institut d'Electronique, de Microélectronique et Nanotechnologie – IEMN (Lille)

Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules – Phlam (Lille)

Thales Research and Technology (Palaiseau)

Observatoire de Nice-Côte d'Azur

Institut de Sciences Chimiques de Rennes

Resolution spectra systems

Menlo Systems

Contacts :



M. Alouini



F. Bondu



G. Loas



M. Romanelli



M. Vallet

Équipe FOTON-DOP

Responsable d'équipe : François BONDU

Tel : +33 223 235 156

francois.bondu@univ-rennes1.fr

Site web : <http://foton.cnrs.fr/v2016/spip.php?rubrique111>

Institut FOTON - Équipe DOP
Université de Rennes 1 – CNRS UMR 6082
Campus de Beaulieu – Bat 11B
263 avenue du Général Leclerc
35042 RENNES CEDEX



UNIVERSITÉ DE
RENNES 1

INSA