

SYNTHÈSE OPTIQUE D'ONDES HYPERFRÉQUENCES ET MILLIMÉTRIQUES À TRÈS BAS BRUIT DE PHASE : RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

Gwennaël Danion¹, Goulc'hen Loas¹, Ludovic Frein¹, Cyril Hamel¹, Anthony Carré¹, Mehdi Alouini¹, François Bondu¹, Alain Brillet², Jean-Pierre Coulon², Frédéric Cleva², Mourad Merzougui², Alexandre Beck³, Guillaume Ducournau³, Jean-François Lampin³, Mohamed Zaknune³, Christophe Coinon³, Xavier Wallart³, Emilien Peytavit³, Tahsin Akalin³, Grégoire Pillet⁴, Loïc Morvan⁴, Ghaya Baili⁴ and Jérôme Bourderionnet⁴

¹ Département Optique et Photonique, IPR, Université Rennes 1 CNRS, Rennes, France

² ARTEMIS, Observatoire de la Côte d'Azur CNRS, Nice, France

³ Groupe photonique THz, IEMN, Université de Lille CNRS, Villeneuve d'Ascq, France

⁴ Thales Research and Technology, Palaiseau, France

francois.bondu@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

Nous avons conçu et construit un système optique de synthèse d'ondes hyperfréquences, millimétriques et submillimétriques à très bas bruit de phase. Les résultats préliminaires montrent une densité spectrale de bruit de phase à 10 kHz de la porteuse d'une onde à 9 GHz limitée par l'appareil de mesure. Pour les bruits plus près de la porteuse, le bruit de phase est limité par une modulation d'amplitude résiduelle : le système est en cours de modifications.

MOTS-CLEFS : *synthèse optique ; térahertz ; stabilisation de fréquence optique*

1. PRÉSENTATION DU DISPOSITIF

Un dispositif de synthèse de fréquence optique est constitué d'un laser bi-fréquence à état solide, un amplificateur optique, une cavité optique de grande stabilité dimensionnelle en matériau ULE ; la puissance et la fréquence de chacune des porteuses optiques sont asservis avec une grande précision [1].

Nous avons développé un laser bi-fréquence bi-polarisation Er:Yb:verre à 1550 nm présentant 800 Hz de largeur de raie sur 1 μ s [2]. Les deux porteuses optiques partagent la même cavité, le même milieu à gain. Un chemin optique spécifique à chacune des porteuses permet l'ajustement grossier de l'écart de fréquence entre 0 et 850 GHz par un étalon, tandis que l'ajustement fin est réalisé par le contrôle de la tension aux bornes d'un cristal électro-optique et de la température. La bande passante disponible pour la correction électrique de fréquence est supérieure à 10 MHz.

Nous avons développé un amplificateur optique qui agit séparément sur chacune des polarisations [3] avec un EDFA suivi d'un SOA. Cette combinaison permet de bénéficier du facteur de bruit favorable de l'EDFA ; de réduire passivement les fluctuations entrantes de puissance lumineuse par oscillations cohérentes de population ; de stabiliser la puissance avec une grande bande passante par correction du courant de pompe du SOA ; de délivrer 12 mW par porteuse optique, permettant ainsi la réduction du bruit de photons.

Les fréquences optiques sont asservies indépendamment sur la cavité ULE par la technique Pound-Drever-Hall avec une grande précision : le signal d'erreur, calibré en bruit de phase, présente un bruit de -160 dBc/Hz à 10 kHz de la porteuse. Les porteuses ont des polarisations orthogonales dans la cavité : cela permet une séparation des faisceaux avec un bruit de photon diminué par rapport à des polarisations colinéaires. L'état de polarisation dans la cavité varie à la fréquence d'écart des porteuses optiques, mais pas la puissance lumineuse : la fraction de lumière absorbée ne varie donc pas au premier ordre à la fréquence de battement, réduisant les fluctuations induites de

longueur de la cavité. Les puissances lumineuses sont également stabilisées en sortie de cavité, avec une mesure hors boucle de -150 dBc/Hz à 2 Hz de la porteuse. L'écart de fréquence est transformé en variation de puissance lumineuse en aval de la cavité par un polariseur, puis cet écart est capté par une photodiode rapide : Discovery pour une mesure à 10 GHz, Finisar à 100 GHz, puis développée à l'IEMN à 300 GHz.

2. RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

Nous avons comparé les performances d'un dispositif avec un PN9000 dans la gamme hyperfréquence. Le bruit de fond du PN9000 est mesuré avec un synthétiseur bas bruit de phase. Les résultats sont présentés en figure 1.

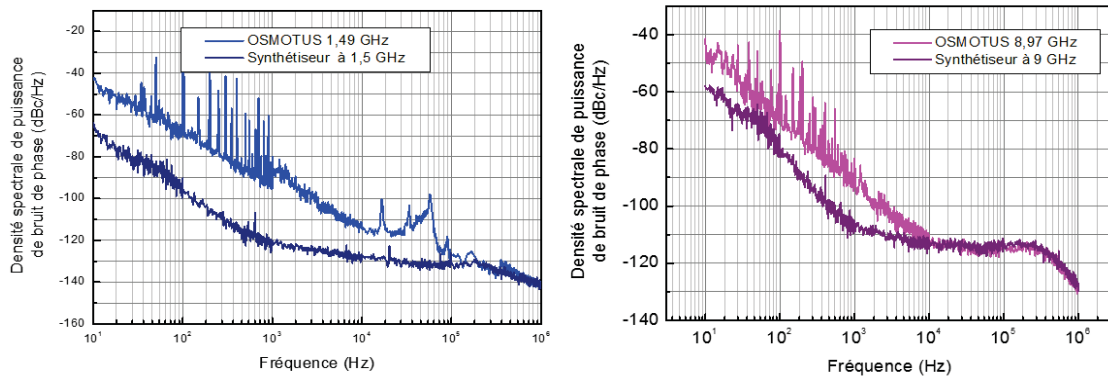


Fig. 1 : Mesures préliminaires de bruit de phase à 1.5 et 9 GHz.

Une estimation des performances à partir des bruits fondamentaux prévoit une densité spectrale de bruit de phase indépendante de la fréquence, limitée par le bruit de photons optiques jusqu'à 10 kHz de la porteuse. Le bruit de longueur de la cavité, de mode commun, devrait être quasiment invisible jusqu'à plusieurs centaines de GHz.

Pour la génération du signal Pound-Drever-Hall, nous avons modulé les faisceaux en phase par le cristal électro-optique dans la cavité laser à 10 MHz. Nous mesurons en fait une modulation parasite d'amplitude, avec un coefficient non maîtrisé variable dans le temps [4]. Ce bruit parasite produit un bruit de phase proportionnel à la fréquence de la porteuse hyperfréquence.

3. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le bruit de phase mesuré est de -110 dBc/Hz à 10 kHz d'une porteuse à 9 GHz, meilleur que la mesure d'un synthétiseur électronique commercial bas bruit de phase mesuré par un PN9000.

Le bruit est pour le moment limité par un bruit de modulation d'amplitude résiduel. Nous modifions le système en installant des modulateurs de phase en aval des amplificateurs optiques.

Un deuxième dispositif est mis en place. Un battement entre les deux dispositifs permettra de réduire le seuil de bruit de mesure.

RÉFÉRENCES

- [1] Corning, *ULE Material properties*.
- [2] G. Danion, C. Hamel, L. Frein, F. Bondu, G. Loas, et M. Alouini, « Dual frequency laser with two continuously and widely tunable frequencies for optical referencing of GHz to THz beatnotes », *Opt. Express*, vol. 22, n° 15, p. 17673- 17678, juill. 2014.
- [3] G. Danion, F. Bondu, G. Loas, et M. Alouini, « GHz bandwidth noise eater hybrid optical amplifier: design guidelines », *Opt. Lett.*, vol. 39, n° 14, p. 4239- 4242, juill. 2014.
- [4] E. A. Whittaker, M. Gehrtz, et G. C. Bjorklund, « Residual amplitude modulation in laser electro-optic phase modulation », *J Opt Soc Am B*, vol. 2, n° 8, p. 1320-1326, 1985.