



**HAL**  
open science

# Génération de signaux sub-terahertz par diodes laser à verrouillage de modes pour applications système

Friederike Brendel, Julien Poette, Beatrice Cabon

► **To cite this version:**

Friederike Brendel, Julien Poette, Beatrice Cabon. Génération de signaux sub-terahertz par diodes laser à verrouillage de modes pour applications système. journée club optique et micro-ondes JCOM, Jun 2011, Rennes, France. hal-02017390

**HAL Id: hal-02017390**

**<https://hal.science/hal-02017390>**

Submitted on 13 Feb 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Génération de signaux sub-terahertz par diodes laser à verrouillage de modes pour applications système

F. Brendel, J. Poëtte, et B. Cabon

Institut de Microélectronique, Electromagnétisme et Photonique (IMEP-LAHC), Grenoble INP, 3 parvis Louis Néel, 38016 Grenoble

brendelf@minatec.inpg.fr

Nous présentons ici les travaux de recherche en cours au sein du groupe opto-microondes de l'IMEP-LAHC qui portent notamment sur les techniques de génération de signaux dans la bande millimétrique ou sub-terahertzienne pour les futures applications dans les systèmes de communication ou de détection, ainsi que dans l'imagerie. Nous montrons l'exemple de la génération d'une porteuse radiofréquence à bas coût pour application dans un système personnel sans fil (*wireless personal area network*, WPAN) autour de 60 GHz. La génération électrique de signaux à cette fréquence est généralement coûteuse et difficile à réaliser. En conséquence, des techniques par voie optique permettant des systèmes de plus bas coût sont recherchées [1].

Une solution prometteuse nous est donnée par les diodes laser à verrouillage de modes (*Mode-Locked Lasers*, MLL). Ces lasers sont caractérisés par leur large spectre optique dont les nombreux modes présentent un verrouillage en phase inhérent. Ils permettent de générer des signaux électriques à haute fréquence par le battement des modes lors de la détection incohérente sur un photo-détecteur rapide. En choisissant un intervalle spectral libre ISL (*Free Spectral Range*, FSR) du laser approprié, des signaux électriques à des fréquences  $f_c$  correspondantes à cet ISL peuvent être générés, pendant que les harmoniques  $n \cdot f_c$  peuvent être supprimées en limitant la bande passante du photo-détecteur. Le principe est illustré dans le schéma simplifié dans la figure 1 où 3 modes optiques sont présents.

Dans le cadre du projet ANR Teldot, nous étudions les performances systèmes des diodes MLL à boîtes quantiques. Ce sont des structures qui se prêtent facilement à l'intégration grâce à leurs dimensions réduites (<1mm) et ne nécessitent qu'une alimentation électrique continue [2]. Ce MLL génère un signal électrique à 58.4 GHz et peut en conséquence servir comme générateur du signal porteur dans la bande 57 – 66 GHz dans un WPAN, utilisant une architecture de fibre optique.

Nous nous intéressons aux propriétés ayant un impact direct sur la qualité de transmission, quantifié par l'amplitude du vecteur d'erreur (*error vector magnitude*, EVM), le rapport signal à bruit du signal (SNR) électrique mais aussi la stabilité en fréquence, caractérisé par son bruit de phase. La modulation externe, où la diode MLL est utilisée comme générateur d'un signal porteur qui sera ensuite modulé par un modulateur électro-optique externe, s'est avéré plus performant que la modulation directe, dans lesquelles la diode MLL joue le double rôle du générateur et du convertisseur électro-optique [3].

La performance du MLL en modulation directe est liée à deux caractéristiques principales: sa bande passante limitée (<4 GHz), et son efficacité de modulation. Comme pour un laser monomode, celle dernière est liée à la pente de la courbe P-I au point de polarisation. Ce point est choisi en fonction de la stabilité en fréquence maximale du battement électrique (bruit de phase réduit). Pour la diode MLL présentée, il se trouve à 258 mA dans la zone non-linéaire de la courbe P-I, comme la figure 2 (courbe rouge) le montre.

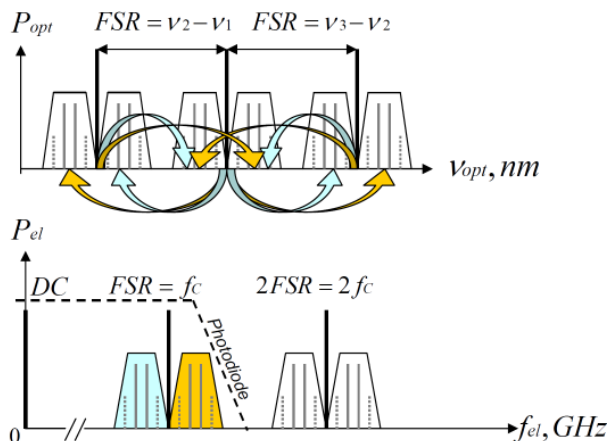


Figure 1: Principe d'opération pour une diode MLL à 3 modes optiques

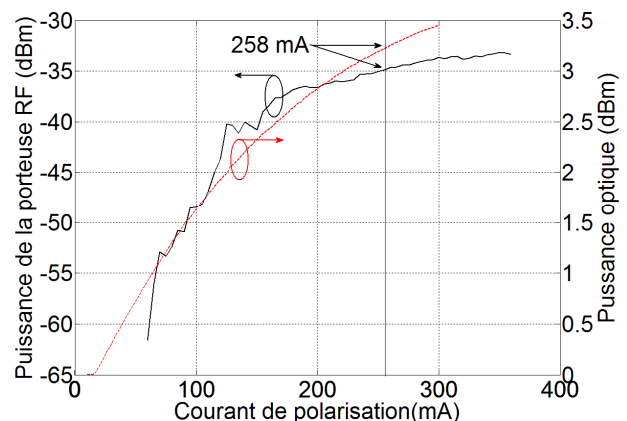


Figure 2: Courbe P-I (rouge) et PRF- I (noire) d'une diode MLL à 58.4 GHz. Point de polarisation I = 258 mA

Tableau 1 : Comparaison des performances des techniques de modulation.

Configuration	EVM (%) mesuré	Perte du lien minimale (dB)	SNR maximal (dB)	Puissance reçue maximale, bande latérale supérieur (dBm)
Mod. Directe 18 Mbps QPSK	17.5	-49	38.7	-33.0
Mod. Externe 18 Mbps QPSK	16.7	-34	46.7	-17.8

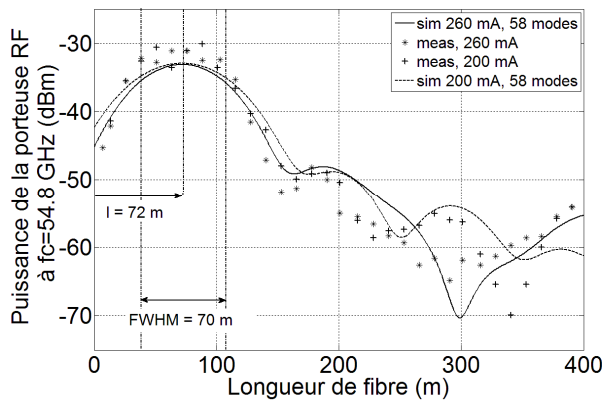


Figure 3: Simulation et mesures de la puissance RF

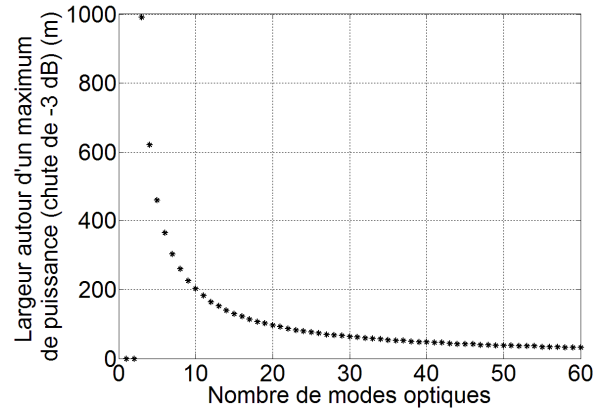


Figure 4: Impact de la largeur du spectre optique

Le choix de point de polarisation limite l'efficacité de modulation. Elle est réduite notamment par rapport à l'efficacité de modulation maximale possible que l'on obtient pour une modulation externe où le modulateur est polarisé dans sa zone linéaire. Le tableau 1 résume les performances types des deux techniques de modulation étudiées. Il est à noter que l'amélioration de la valeur d'EVM reste faible avec le SNR, ce qui nous amène à présumer qu'une limitation principale du système en termes d'EVM est donnée par le bruit de phase du laser présent. Une étude est en cours afin de mettre en évidence ce phénomène.

Un dernier aspect que nous allons présenter ici concerne la propagation du signal par fibre optique. La fibre étant un milieu dispersif, la propagation donne à des effets souvent indésirables comme une chute de la puissance reçue sur le photo-détecteur liée à la dispersion chromatique d'un champ optique multi-chromatique, tel que le signal du MLL. Cette chute se produit lors d'une interférence destructive des battements entre les modes. La variation de la puissance RF détectée est périodique de telle manière que le deuxième maximum apparaît déjà après 2180 m de propagation environ. La figure 3 montre les simulations et les mesures effectuées sur des courtes distances (0 – 400m) que l'on considère réaliste pour les architectures fibrées à l'intérieur d'un bâtiment. Les maxima représentent ainsi les longueurs de fibre possibles pour l'architecture du système. Les largeurs des plages de longueurs de fibre utilisable (puissance de la porteuse RF à -3 dB) seront autant plus importantes que le nombre de modes présents dans le spectre optique est faible, comme le montre la simulation montrée dans la figure 4.

Nous soulignons que les techniques de génération montrées ici sont a priori applicables pour une très large gamme de fréquences que s'étendra facilement aux ondes THz car il suffit de choisir la séparation de deux modes optiques du spectre MLL de sorte que la différence en fréquence correspond à la fréquence désirée. Dans la pratique, nous serons néanmoins limités par la détection de ces signaux puisque les photo-détecteurs disponibles aujourd'hui atteignent leurs limites autour de quelques centaines de GHz. Pour cette raison, nous envisageons d'explorer non seulement la génération, mais aussi les techniques de détection des signaux à très haute fréquence dans des futurs projets.

#### Références:

- [1] Chang, G.-K. et al.: "Architectures and Enabling Technologies for Super-Broadband Radio-over-Fiber Optical-Wireless Access Networks", Proc. IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics, 2007, 24-28
- [2] Lelarge, F. et al.: "Recent Advances on InAs/InP Quantum Dash Based Semiconductor Lasers and Optical Amplifiers Operating at 1.55  $\mu\text{m}$ " IEEE J.Sel. Topics Quant. Elec., 13 (2007), pp. 111 – 124
- [3] Brendel, F. et al.: "Low-cost analog fiber optic links for in-house distribution of millimeter-wave signals", Cambridge Presse/EuMA Int. J. Microwave/Wireless Technol., DOI: 10.1017/S1759078711000031 published online in February 2011