

## Sujet thèse / PhD subject 2024

<b>Titre Thèse</b>	Prochaine génération de Photodiodes télécom distribuées ultra-rapides pour la génération RF&THz	
<b>(Co)-Directeur</b>	Emilien Peytavit	E-mail : emilien.peytavit@univ-lille.fr
<b>(Co)-Directeur</b>		
<b>(Co)-Encadrant (s)</b>		E-mail :
<b>Laboratoire</b>	IEMN	Web : <a href="http://www.iemn.fr">www.iemn.fr</a>
<b>Groupe(s)</b>	Photonique THz	Web : <a href="#">THz Photonics group</a>
<b>Projet phare (principal)</b>	Micro&NanoDevices	
<b>Demande thèse labélisée IEMN (Materials ou IoT Make Sense)</b>	<b>Non</b>	
<b>Financement demandé</b>	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région – Autre <input type="checkbox"/> Préciser :	Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, acquis ou pas) :
<b>Financement acquis</b> <input type="checkbox"/> <b>Financement partiellement acquis</b> <input type="checkbox"/>	Contrats de Recherche <input type="checkbox"/> Préciser :	Autre <input type="checkbox"/> Préciser :

**Résumé :**

L'une des sources THz les plus prometteuses, fonctionnant en régime continue et à température ambiante, est basée sur la photodétection du battement de fréquence générée par la superposition spatiale de deux lasers infrarouges. Le photomélange consiste à faire une transposition de fréquences en partant des fréquences très élevées (~ 300 THz) des lasers infrarouges pour aller vers des fréquences plus basses, de l'ordre de 1 THz. Cela confère au photomélange un caractère intrinsèquement large bande. De plus, les sources basées sur le photomélange sont potentiellement compactes grâce à l'utilisation de diodes lasers et d'amplificateurs à semi-conducteurs mais souffrent d'un manque de puissance générée, environ 10  $\mu$ W à 1 THz. La puissance de sortie est en effet limitée par le compromis entre la taille réduite du photo-détecteur (photodiode, photoconducteur) afin de réduire au minimum sa capacité électrique et le photocourant nécessaire pour générer une puissance THz élevée. La densité de photocourant est donc le facteur clé pour améliorer la puissance de sortie. Les meilleurs photomélangeurs présentent des photocourants atteignant environ 200 kA/cm<sup>2</sup>, ce qui est seulement dix fois inférieurs à ceux obtenus sur les meilleurs dispositifs électroniques alors qu'ils ne sont pas pompés optiquement. Un nouveau type de photomélangeur est donc nécessaire afin d'atteindre le milliwatt jusqu'à 1 THz.

Dans le cadre de cette thèse, il sera étudié l'IEMN des structures originales de photodiodes rapides à haut courant de saturation compatibles avec les lasers telecom 1550nm capables de répondre à ces besoins. Ces structures seront basées sur les photodiodes PIN à transport unipolaire modifiées dans laquelle la zone d'absorption est partiellement dopée afin d'optimiser le compromis entre bande passante et linéarité à haut régime optique[1][2]. Il sera par exemple étudié des structures à cavité résonnantes[3], des structures à guide d'ondes et surtout des structures distribués sur un guide d'onde THz. En effet, pour les photodiodes conventionnelles, la puissance de sortie est proportionnelle au carré du photocourant,  $I$ , créé par la puissance de la pompe optique. Cependant, un dispositif unique n'est pas suffisant pour atteindre une puissance THz élevée. Ici nous allons développer un émetteur intégré basé sur l'excitation de  $N$  photodiodes intégrés à un guide d'onde THz et espacés de quelques dizaines de  $\mu$ m. Le courant accumulé qui en résultera se propagera le long du guide THz qui se terminera par une antenne THz. Le courant total généré est proportionnel à  $NxI$ , ce qui entraîne une augmentation de la puissance THz de  $\sim(NxI)^2$ , à condition que les courants soient en phase. Par exemple, un faisceau d'entrée d'environ 4 W peut être démultiplexé en  $N=128$  canaux à l'aide de réseaux de guides d'ondes (AWG), chaque canal ayant une puissance optique d'environ 30 mW. Chacun de ces canaux optimisés est capable de générer une  $PTHz=100$  nW-1 $\mu$ W. L'alignement en phase des courants accumulés peut produire un niveau de puissance totale  $N^2.PTHz\sim 1,6-16$  mW sur une large bande passante, s'étendant potentiellement jusqu'à 1 THz. Ce niveau est généralement difficile à obtenir en régime permanent et rivalise avec la valeur obtenue en mode pulsé avec des cristaux. Dans cette thèse, nous sélectionnerons le photomélangeur unitaire le plus prometteur afin d'obtenir un composant distribué aux performances optimisées.

Le doctorant réalisera les simulations optoélectronique et électromagnétique des structures (SILVACO, CST, HFSS), fabriquera les composants en salle blanche et effectuera les caractérisations THz avec l'aide des chercheurs du groupe Photonique THz ainsi que du personnel technique des plateforme de caractérisation.

- [1] M. Grzeslo *et al.*, "High saturation photocurrent THz waveguide-type MUTC-photodiodes providing mW output power in the WR3 band," *Opt. Express*, vol. 31, no. 4, pp. 6484–6498, 2022, doi: 10.1364/oe.475987.
- [2] Z. Li, H. Pan, H. Chen, A. Beling, and J. C. Campbell, "High-saturation-current modified uni-traveling-carrier photodiode with cliff layer," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 46, no. 5, pp. 626–632, 2010, doi: 10.1109/JQE.2010.2046140.
- [3] C. Tannoury *et al.*, "Photonic THz mixers based on iron-doped InGaAs embedded in a plasmonic microcavity," *APL Photonics*, vol. 8, no. 11, p. 116101, Nov. 2023, doi: 10.1063/5.0153046.