

Sujet thèse / PhD subject 2025

<b>Titre Thèse</b> <b>Title</b>	<b>Photodétecteurs ultra rapides pour génération et détections de signaux THz à partir de lasers à fibre dopés Ytterbium</b>	
<b>Directeur</b>	Emilien Peytavit	E-mail : emilien.peytavit@univ-lille.fr
<b>Co-Directeur</b>	Ludovic Desplanque	E-mail : ludovic.desplanque@univ-lille.fr
<b>(Co)-Encadrant (s)</b>		E-mail :
<b>Laboratoire(s)</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>Financement demandé</b>	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> Yncrea <input type="checkbox"/>
	Région – Préciser : Région	Co-financement acquis Oui Préciser : ANR THERAPY
<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 :**

Les radiations térahertz (THz), qui englobent les ondes électromagnétiques dans la plage de fréquences de 0.1 à 10 THz, jouent un rôle essentiel dans de nombreuses avancées en recherche fondamentale et en ingénierie [1]. Elles ouvrent la voie à une multitude d'applications, notamment la spectroscopie de gaz, l'imagerie THz et les télécommunications sans fil [2]. Le domaine de la spectroscopie THz a connu des progrès significatifs en termes d'énergie d'impulsion, d'accordabilité, et de largeur de bande. Pour générer des impulsions THz, on peut utiliser la conversion d'impulsions laser ultra-rapides via des interactions non linéaires dans des liquides, des gaz ou des cristaux. En parallèle, des systèmes THz ont été développés en utilisant des photoconducteurs (PC) ultra-rapides, dans lesquels un semi-conducteur (SC) est intégré à une antenne métallique THz. Lorsque l'énergie des photons dépasse la bande interdite du SC, des paires électron-trou mobiles sont générées et accélérées par un champ électrique statique appliquée au SC par l'intermédiaire d'électrodes de polarisation, produisant un courant oscillant à la fréquence THz responsable du rayonnement. Des lasers femtosecondes sont généralement utilisés comme source optique pour produire des impulsions THz large bande sub-picoseconde. Il est aussi possible de générer une onde THz en régime continu (CW) en produisant un battement optique à partir de deux lasers CW superposés qui est convertit par le PC, appelé photomélangeur. À noter dans ce régime, les photodiodes (PD) ultra-rapides surpassent les PC en tant qu'émetteurs THz [3]. La technologie PC/PD, qui peut être intégrée de manière transparente avec les fibres optiques, offre des promesses substantielles en termes d'efficacité et d'intégration dans des systèmes compacts. La performance des systèmes THz est déterminée par les propriétés du convertisseur optoélectronique et du laser. La plupart des PC et PD THz ont été étudiés pour fonctionner aux longueurs d'onde laser autour de 800 nm et 1550 nm, compatibles avec les technologies les plus avancées telles que les lasers fs Ti:Sa et les lasers télécom CW.

Au cours des dernières années, les lasers fibrés à base d'ytterbium ont démontré des capacités impressionnantes en augmentant significativement le taux de répétition et en fournissant une puissance moyenne exceptionnellement élevée, atteignant plusieurs kW dans des systèmes volumineux ou ~100 W dans une chaîne fibrée [4]. Cependant, cette puissance substantielle disponible à la longueur d'onde de 1 µm doit encore être exploitée pour le développement d'émetteurs THz de haute puissance utilisant des dispositifs optoélectroniques présentant une haute efficacité de conversion optique-THz et une grande facilité d'intégration.

Jusqu'à présent, les recherches sur le développement de composants optoélectroniques THz fonctionnant à une longueur d'onde de 1 µm se sont principalement concentrées sur les photoconducteurs (PC) utilisant des matériaux ultra-rapides tels que le GaAs à croissance à basse température (LTG), le LTG-InGaAs et le GaBiAs [5]. Cependant, les PC utilisant ces matériaux, conçus pour fonctionner à une longueur d'onde de 1 µm ont présenté une efficacité médiocre jusqu'ici, parce que les alliages SC avec la bande interdite appropriée, tels que d'In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As, ne sont pas accordés en maille avec les substrats de croissance standard comme InP et GaAs, ou parce qu'ils sont composés d'alliages, tels que InGaAs ou GaBiAs, qui sont difficiles à faire croître.

L'objectif de cette thèse est de faire progresser les émetteurs THz optoélectroniques en utilisant trois stratégies distinctes : la première approche repose sur l'utilisation de cavités plasmoniques, déjà développées dans le groupe Photonique THz pour améliorer l'absorption optique dans les dispositifs ultra-rapides [7]. Ici, nous visons à exploiter la faible absorption de la lumière à 1  $\mu\text{m}$  dans le LTG-GaAs en l'intégrant dans une cavité optique à haut facteur de qualité. La deuxième approche implique le développement sur substrat GaAs d'une structure multicouche qui intégrerait des couches fines d'absorption en  $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  insérées entre deux couches de capture de porteurs en LTG-GaAs. Une couche de matériau phosphoré serait également intégrée à chaque période afin de compenser la contrainte compressive dans les couches d'InGaAs. La dernière approche concerne le développement de photodiodes PIN ultra-rapides optimisées pour un fonctionnement à 1  $\mu\text{m}$ , utilisant une couche d'absorption basée sur l'alliage quaternaire InGaAsP sur une plateforme InP. Inspirés par des recherches récentes [8] et capitalisant sur les réalisations précédentes de photodiodes fonctionnant à 1,55  $\mu\text{m}$  au sein du groupe Photonique THz, le doctorant concevra des structures épitaxiales et des topologies de dispositifs pour atteindre une large bande passante et des photomélangeurs à haute puissance utilisant des hétérostructures InGaAsP/InP. Dans un dernier temps, des réseaux linéaires de photodétecteurs seront étudiés pour atteindre des puissances THz de l'ordre du mW en tirant partie de l'énorme réserve de puissance des lasers Ytterbium.

## REFERENCES :

- [1] A. Leitenstorfer et al. "The 2023 THz Science and Technology Roadmap" J. Phys. D. 56, 223001 (2023).
- [2] D. Bigourd et al. "Detection and quantification of multiple molecular species in mainstream cigarette smoke by continuous-wave terahertz spectroscopy" Opt. Lett. 31, 2356 (2006); N. V. Petrov et al. "Terahertz phase retrieval imaging in reflection," Optics Letters, vol. 45, p. 4168–4171, 2020;
- A. Kumar et al. "Phototunable chip-scale topological photonics: 160 Gbps waveguide and demultiplexer for THz 6G communication" Nature communications 13 (1), 5404 (2022).
- [3] P. Latzel et al., "Generation of mW Level in the 300-GHz Band Using Resonant-Cavity-Enhanced Unitraveling Carrier Photodiodes," IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol. 7, 800 (2017).
- [4] J-P. Negelet al. "Ultrafast thin-disk multipass laser amplifier delivering 1.4 kW (4.7 mJ, 1030 nm) average power converted to 820 W at 515 nm and 234 W at 343 nm" Opt. Express 23, 21064 (2015); F. Röser et al. Opt. Lett. 32, 2230 (2007).
- [5] A. Arlauskas et al. "GaAsBi Photoconductive THz Detector Sensitivity at Long Excitation Wavelengths" Appl. Phys. Express 5, 022601 (2012); V. Pačebutas et al. "THz time-domain-spectroscopy system based on femtosecond Yb: fiber laser and GaBiAs photoconducting components" Appl. Phys. Lett 97, 031111 (2010); R. J. B. Dietz et al. "Low Temperature Grown Be-doped InGaAs/InAlAs Photoconductive Antennas Excited at 1030 nm" J. Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 34, 231 (2013); K. Kitahara et al. "Development of a high resolution and wide band THz spectrometer based on a 1  $\mu\text{m}$ -band external cavity diode laser," Rev. Sc. Instr. 84, 126102 (2013).
- [6] E. Peytavit et al. "THz Photomixers," in Fundamentals of THz Devices and Applications, John Wiley&Sons, Ltd, p 137–186 (2021)
- [7] E. Peytavit et al., "Milliwatt-level output power in the sub-terahertz range generated by photomixing in a GaAs photoconductor," Appl. Phys. Lett. 99, 223508 (2011); M. Billet et al. "Resonant cavities for efficient LT-GaAs photoconductors operating at  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ ," APL Photonics 1, 076102 (2016).
- C. Tannoury et al., "Photonic THz mixers based on iron-doped InGaAs embedded in a plasmonic microcavity", APL Photonics 8, 116101 (2023)
- [8] Y. Peng et al. "High-Speed and High-Power MUTC Photodiode Working at 1064 nm," Phot. Technol. Lett. 31, 1584 (2019).