

# Soutenance de thèse

Lundi 19 septembre  
14h00  
Amphithéâtre

«*Transport électronique en régime de couplage fort lumière-matière pour les dispositifs quantiques moyen-infrarouge*»

**Mathurin LAGREE**

**Jury members :**

M. Rafaele COLOMBELLI	Université Paris-Saclay GS Sciences de l'ingénierie et des systèmes	Directeur de thèse
Mme Virginie TRINITÉ	III-Vlab	Encadrante coté III-VLab
M. Simone DE LIBERATO	University of Southampton	Rapporteur
M. Andreas WACKER	Lund University	Rapporteur
Mme Angela VASANELLI	Université Paris Cité - Campus Grands Moulins	Examinatrice
M. Roland TEISSIER	Université de Montpellier	Examineur
M. François JULIEN	Université Paris-Saclay / CNRS	Examineur
M. Alexandre DELGA		Invité

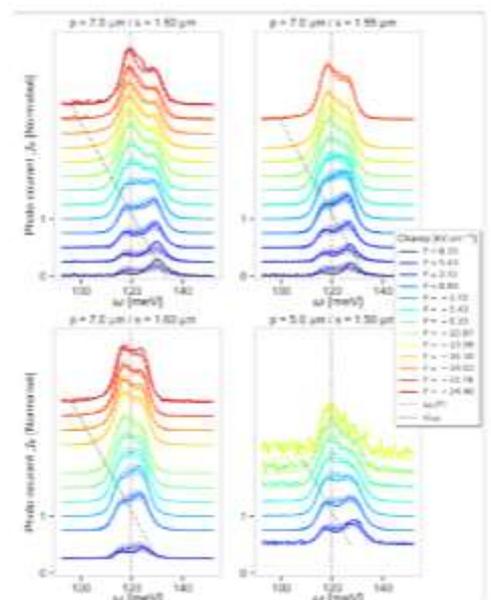
**Abstract :**

Ce travail de thèse est consacré à l'étude du transport électronique dans les photo-détecteurs inter-sousbandes (infrarouge, 10µm) dans différents régimes d'intensité de couplage lumière-matière.

Dans le domaine du moyen-infrarouge (entre 3 et 12 µm), il existe une famille de dispositifs opto-électroniques qui exploite les effets de confinement quantique pour créer des transitions électroniques au sein de la bande de conduction : les dispositifs inter-sousbandes. En plaçant un dispositif inter-sousbande dans un système optique résonnant (une cavité), il est possible d'exalter l'interaction lumière-matière entre la transition électronique du dispositif et le mode électromagnétique confiné dans la cavité optique. Cette exaltation permet d'accéder au régime de couplage fort, dont émergent deux nouveaux modes propres, les modes *polaritoniques*, issus de l'hybridation des modes électroniques et photoniques. Exploiter ce mécanisme de couplage permettrait d'envisager la conception de dispositifs opto-électroniques innovants à base de polaritons.

Cependant, la compréhension profonde de l'injection ou de l'extraction d'un courant vers ou depuis ces états polaritoniques est un problème irrésolu qui constitue un verrou fondamental pour le développement technologique et le déploiement de tels dispositifs.

Ce travail de recherche est consacré à l'étude du régime de couplage fort lumière-matière sous le prisme de l'extraction de courant, via l'étude d'un dispositif inter-sousbande en particulier : le *détecteur à cascade quantique* (QCD). Si la liberté de conception et la nature du transport électronique dans les QCDs les édifient en une plateforme



propice à l'étude fondamentale du régime de couplage fort, ce régime de fonctionnement est envisagé comme un potentiel différenciateur technologique au service des performances de ces détecteurs infrarouge.

Dans un premier temps, cette thèse introduit le fonctionnement d'un QCD en régime de couplage faible, où les quanta de lumière et de matière sont les électrons et photons. On présente en détail le procédé de conception et d'optimisation d'un tel dispositif, du dimensionnement de l'environnement électromagnétique à la conception de la zone active. On montre dans cette partie que les différents raffinements de modélisation apportés par ces travaux ont notamment permis de découpler la capacité prédictive des simulations numériques.

Dans un second temps, on propose une modélisation du transport électronique dans les détecteurs à cascade quantique en régime de couplage fort. Nos travaux présentent différentes stratégies de modélisation, de complexité croissante, dont les différences sont extensivement étudiées et discutées. Ces différents modèles mettent en évidence les modifications profondes qu'engendrent le couplage fort sur les propriétés optiques et photo-électriques de ces dispositifs. En comparant ces travaux de modélisation avec des jeux de données expérimentaux, on démontre en particulier la possibilité de concevoir une extraction résonnante et sélective d'excitations depuis les états polaritoniques vers la cascade de niveaux électroniques d'un QCD, sans intervention des états noirs (non-couplés à la lumière) dans le processus d'extraction.

*Légende : Résultats de la procédure de fit par un modèle matrice densité (traits pointillés) sur des mesures de photo-courant (traits pleins) d'un QCD en régime de couplage fort, pour différents champs appliqués  $F$  et géométries de réseaux d'antennes patchs ( $p, s$ ). Aux courbes de photo-courant calculées et mesurées, on superpose la dispersion du mode extracteur  $\omega_E$  (traits pointillés verts) et la position du mode plasmonique ISB  $\omega_{ISB}$ . Les erreurs retournées par la procédure de fit sur les paramètres sont propagées sur les spectres (zones pleines).*