

Thèse de Master : Utilisation du couplage ultra-fort pour sonder les bio-molécules

Contexte et objectifs :

La gamme de fréquences TéraHertz (THz) occupe une place unique entre l'électronique et la photonique. Les transistors dans cette gamme ne sont pas suffisamment rapides et les lasers ont une énergie trop élevée pour être pleinement efficace. Cependant, les progrès technologiques récents ont ouvert un large éventail d'applications ces dernières années. En particulier, la spectroscopie THz permet de réaliser de nombreuses expériences. Parmi elles, les effets quantiques particuliers des semi-conducteurs sont extrêmement efficaces dans le domaine THz. Cette efficacité est due à la structure du semi-conducteur en couches minces qui influence fortement les propriétés de ses électrons. De tels échantillons sont largement utilisés dans de nombreuses études de transitions inter-bandes. L'un des effets à l'étude est le couplage ultra-fort. Le couplage ultra-fort est décrit comme une extension de l'effet de couplage fort quantique lorsque la constante de couplage devient de l'ordre de grandeur de la fréquence des modes impliqués. Au cours de la dernière décennie, des études expérimentales et théoriques ont exploré ce phénomène, aboutissant à une récente découverte : lorsque les ondes THz sont confinées sur une très petite échelle (< 500 nm), le moment du mode THz-photonique ne peut plus être négligé.

L'un des corollaires de cette découverte est la possibilité de sonder non seulement la fréquence d'une transition mais aussi son moment.

Ce stage s'inscrit dans le cadre d'un projet plus vaste soutenu par une bourse ERC Consolidator. Notre objectif est de tirer parti de cette découverte pour étudier les vibrations des biomolécules. Les biomolécules telles que les sucres, les protéines, l'ADN et l'ARN devraient présenter des signatures vibrationnelles spécifiques dans le domaine THz. Cependant, elles sont difficiles à mesurer en raison de leur complexité et à simuler en raison de l'importance des effets quantiques et de leur taille relativement importante. L'idée de ce stage est de mettre en œuvre la spectroscopie vibrationnelle THz de biomolécule assisté par un mode photonique confiné à une échelle inférieure à 100 nm dans un résonateur unique.

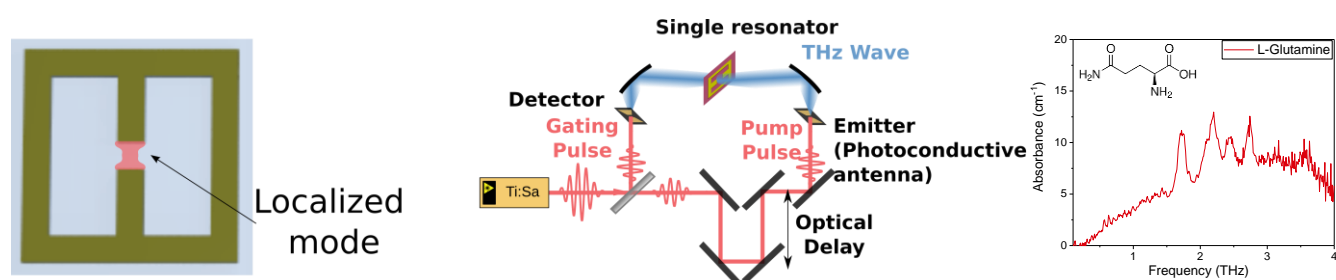


Figure 1: à gauche, schéma d'un résonateur en anneau fendu où le couplage fort se produira, au milieu, représentation d'une installation TDS typique, à droite, spectre d'un acide aminé dans la gamme THz.

Méthodes et techniques : Dans notre groupe, nous développons et utilisons la spectroscopie temporelle dans le domaine THz depuis plusieurs années. Nous avons mis en place une configuration et un traitement des données correspondant, ce qui conduit à un rapport signal/bruit inégalé. Cette haute sensibilité nous permet de viser des échantillons qui ne modifient que faiblement le signal. Grâce à notre salle blanche haut de gamme, nous avons déjà démontré des résonateurs à anneau fendu avec un espace de confinement inférieur à 50 nm et nous utiliserons ces structures pour confiner le mode dans de petits échantillons biomoléculaires.

Mission: Le travail proposé comprend une phase de fabrication qui exploite les installations de micro et nano fabrication de l'IEMN, soit par le/la candidat(e), soit par le post-doctorant responsable de la technologie du projet. Ensuite, le cœur du travail portera sur la réalisation d'expériences elle-même, suivie de l'analyse des données à l'aide d'outils de simulation photonique à des fins comparatives. Compte tenu de la quantité et de la diversité des tâches du projet, les responsabilités spécifiques de l'étudiant seront discutées et dépendront des préférences, des capacités et de la motivation du/ de la candidat(e).

Nous recherchons un(e) étudiant(e) de master en physique ou en ingénierie ou l'équivalent. Avoir l'une des compétences suivantes augmenterait considérablement les chances de succès de toute candidature :

- Expériences optiques
- Simulation photonique
- Expériences cryogéniques
- Technologie des salles blanches

Comment postuler :

N'hésitez pas à nous contacter par email pour une discussion informelle avant d'envoyer votre candidature. Nous serons heureux de répondre à toutes vos questions sur le stage ou le projet de recherche. Votre candidature officielle comprendra votre CV et une lettre de motivation détaillant votre intérêt pour le sujet et sera envoyée par email au PI avant la fin du mois de novembre.

Environnement : L'étudiant travaillera dans une équipe de chercheurs expérimentés du groupe THz-Photonique du Laboratoire IEMN (<https://www.iemn.fr/en/la-recherche/les-groupes/photonique-thz>). Le groupe a une longue expérience dans la conception et la réalisation de dispositifs optoélectroniques THz. Nous avons trois expériences de spectroscopie temporelle dans le domaine TéraHertz à l'état de l'art avec une plage dynamique de 100 dB et une résolution spectrale de 1 GHz. De plus, nous avons deux cryostats à cycle fermé disponibles pour le projet. Le laboratoire est construit autour d'une salle blanche de 1500 m² avec des installations de croissance et de fabrication du meilleur niveau européen. L'IEMN est situé à Lille, capitale des Flandres françaises, ville dynamique proche de la frontière belge à 50 min en train de l'aéroport Paris-CDG.

Allocation: 600€/mois

Key words: TéraHertz, Spectroscopies dans le domaine temporel, plasmonique couplage fort.

Contact: Dr Romain Peretti : romain.peretti@cnrs.fr

Possibilité de poursuivre avec un doctorat ?

Oui, nous recherchons deux doctorants dans le groupe l'année prochaine ; l'un d'entre eux devra traiter d'un sujet très proche.

Bourses envisagées ?

Plusieurs possibilités de bourses : **Nous avons déjà obtenu un financement** important d'Horizon Europe, y compris plusieurs bourses de doctorat. De plus, nous sommes très soutenus par l'université et les chances de succès à l'appel d'une école doctorale locale sont très élevées pour un bon candidat qui voudrait détenir une bourse en son nom propre.

Master thesis: Using Ultrastrong coupling to probe the momentum of bio molecules

Context and objectives: The Terahertz (THz) frequency range occupies a unique space between electronics and photonics. Transistors in this range are not sufficiently fast, and the lasers have too high energy. However, recent technological progress has opened up a wide range of applications in recent years. Notably, THz spectroscopy enables many experiments. Among them, peculiar Quantum effects in semiconductors are extremely efficient in the THz range. This efficiency comes from the structure of the semiconductor in thin layers that is strongly influences the properties of their electrons. Such samples are widely used in many studies of inter sub band transitions.

One of the effects under scrutiny is ultrastrong coupling. One of the probed effects is called ultra strong coupling. It is described as an extension of the quantum strong coupling effect when the coupling constant becomes of the order of magnitude of the frequency of the involved modes. Over the past decade, both experimental and theoretical studies have explored this phenomenon, culminating in a recent breakthrough: when THz waves are confined on a very small scale (< 500 nm), the momentum of the THz-photonics mode cannot be neglected any more.

One of the corollary of this discovery is the possibility of probing not only the frequency of a transition but also its momentum.

This internship is part of a broader project supported by an ERC consolidator grant. Our goal is to leverage this discovery to investigate the vibrations of biomolecules. Biomolecules such as sugars, proteins, DNA, and RNA are expected to exhibit specific vibrational signatures in the THz range. However, they are challenging to measure due to their complexity and to simulate because of the importance of quantum effects and their relatively large scale. We aim to implement THz spectroscopy of biomolecule vibrations using a photonic mode confined to a scale below 100 nm by a single resonator.

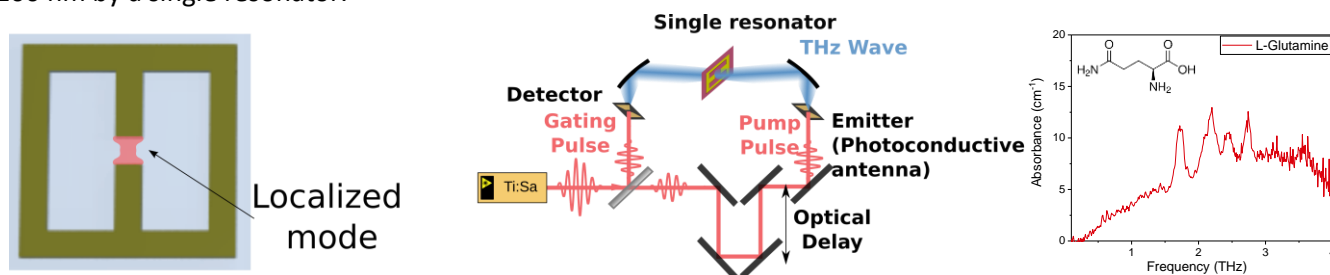


Figure 2: left, schematic of a Split ring resonator where the strong coupling will occur, middle representation of a typical TDS setup, right spectrum of an amino acid in the THz range.

Methods and techniques:

In our group, we have developed and utilized THz time domain spectroscopy for several years. We have established a set up and corresponding data processing, which leads to an unequaled signal-to-noise ratio. This high sensitivity allows us to aim at samples that only faintly modify the signal. Thanks to our high-end clean-room we already demonstrate split ring resonators with a confining gap below 50 nm and we will use these structures to confine the mode into small bimolecular samples.

Mission:

The proposed work encompasses a fabrication phase that leverages micro and nano fabrication facilities at IEMN, either by the applicant or the postdoc responsible for the project's technology. Subsequently, the main focus will be on conducting experiments, followed by data analysis using photonic simulation tools for comparative purposes.

Given the quantity and diversity of tasks in the project, the specific responsibilities of the student will be discussed and will depend on the candidate's preferences, capabilities, and motivation.

We are looking for a physics or engineering master student or equivalent. Having one of the following skills would greatly increase the chance of success of any application:

- Optical experiments
- Photonics simulation
- Cryogenic experiments
- Clean Room technology

How to Apply:

Do not hesitate to contact us by email for an unformal discussion before sending your application. We are happy to answer any questions you may have about the internship or the research project. Your formal application will include your resume and a cover letter detailing your interest for the subject and be sent by email to the PI before the end of November.

Environment : The student will work in a team of experienced researchers in the THz-Photonics group at IEMN Laboratory (<https://www.iemn.fr/en/la-recherche/les-groupes/photonique-thz>). The group has a long lasting experience in the conception and realization of THz optoelectronic devices. We have three state-of-the-art time domain spectroscopy setups with a dynamic range of 100 dB and a spectral resolution of 1 GHz. Additionally, we have two closed-cycle cryostats available for the project. The Laboratory hosts a 1500m2 clean-room with state of the art growth and fabrication facilities. IEMN is located in Lille, the capital of French Flanders, a vibrant city close to the Belgian border at 50 min by train from Paris-CDG airport.

Allowance = 600€/month

Key words: TeraHertz, Strong coupling, plasmonics, metasurfaces, Time domain spectroscopy.

Contact: Dr Romain Peretti : romain.peretti@cnrs.fr

Possibility to go on with a PhD ?

Yes, this subject is a perfect introduction to a larger project that will be pursued in the group for the next years and we are looking for two PhD students on this topic in the group next year.

Envisaged fellowship?

We already secured an important funding from the Horizon Europe including several PhD fellowship on this topic.