

Thèse de Master : Explorer la dynamique quantique des protéines en utilisant le couplage fort dans le domaine TéraHertz

Contexte et objectifs :

Le couplage fort se produit lorsque la lumière est si fortement liée à un matériau que des quasi-particules, mi-matière, mi-lumière, appelées polaritons, se forment. Ce phénomène a fait la renommée de la physique quantique, notamment avec des atomes froids couplés à la lumière dans des cavités très résonantes. Plus récemment, des observations surprenantes ont été faites en chimie, où le déroulement d'une réaction chimique à l'intérieur d'une cavité photonique dans l'infrarouge moyen a modifié la dynamique de la réaction, et même le rapport des produits de cette dernière. Aucun cadre théorique ne permet de rendre compte de toutes ces observations expérimentales, et des groupes dans le monde entier travaillent à clarifier les aspects expérimentaux et théoriques.

Dans notre groupe, nous poussons les expériences vers des énergies plus faibles, en explorant si de tels effets peuvent être observés sur des vibrations plus larges, moins énergétiques, comme celles délocalisées dans les protéines. Les récents progrès en spectroscopie THz ouvrent des perspectives fascinantes pour explorer ces effets dans d'autres matériaux comme les semi-conducteurs, surtout parce que, dans cette gamme de fréquences, la technologie permet un confinement extrême de la lumière, conduisant non seulement à un couplage fort, mais aussi à un couplage ultra-fort, ce qui offre la possibilité d'expériences quantiques sur des systèmes très dissipatifs. Grâce à un financement ERC, notre projet explore les vibrations de biomolécules (sucres, protéines, ADN, ARN) en utilisant un mode photonique fortement confiné (sub-100 nm). Nous pensons que le couplage de ces modes avec les vibrations des protéines pourrait modifier la dynamique quantique du système, et peut-être même altérer la fonction des protéines.

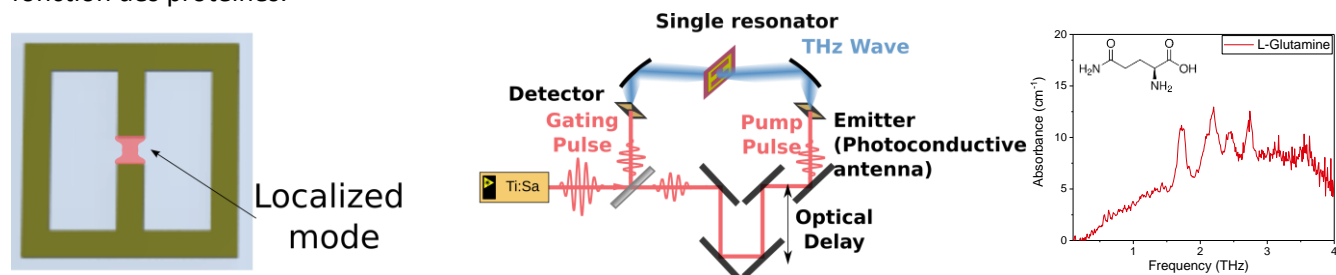


Figure 1: à gauche, schéma d'un résonateur en anneau fendu où le couplage fort se produira, au milieu, représentation d'une installation TDS typique, à droite, spectre d'un acide aminé dans la gamme THz.

Méthodes et techniques :

Nous utilisons des techniques de spectroscopie THz à l'état de l'art avec un dispositif offrant un rapport signal-bruit inégalé. Ce setup nous place parmi les deux seuls groupes au monde capables d'analyser un unique résonateur, un élément clé pour ces expériences. Grâce aux technologies de salle blanche, nous fabriquons des résonateurs en anneau fendu capables de confiner le mode photonique à l'échelle nanométrique, essentiel pour l'étude de ces échantillons délicats.

Mission :

Le stage sera principalement expérimental, avec des expériences de spectroscopie THz pour sonder les vibrations biomoléculaires. Un postdoc dirigera la phase de fabrication en salle blanche à l'IEMN, mais l'étudiant pourra s'y impliquer s'il le souhaite. L'analyse des données inclura des outils de simulation photonique pour compléter les résultats expérimentaux, offrant une expérience équilibrée entre expérimentation et modélisation

Profil recherché :

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 pour une discussion informelle avant de soumettre votre candidature. Pour postuler, envoyez votre CV et une lettre de motivation à Dr. Romain Peretti (romain.peretti@cnrs.fr) avant fin novembre.

Environnement :

Le groupe Photonique THz à l'IEMN dispose d'une longue expérience dans la conception de dispositifs optoélectroniques THz. Vous aurez accès à trois dispositifs de spectroscopie THz à la pointe de la technologie avec une gamme dynamique de 100 dB, deux cryostats, et une salle blanche de 1500 m². L'IEMN est situé à Lille, une ville dynamique au carrefour de l'Europe. Plus d'informations sur notre site internet <https://www.tuscany-erc.fr/>

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: Exploring Proteins quantum dynamics by using strong coupling in the Terahertz range

Context and objectives:

Strong coupling occurs when light and matter interact so strongly that hybrid particles, half matter, half light, called polaritons form, a hallmark of quantum physics. Historically, this has been explored in cold atom systems, but recent work has extended the concept to chemistry, where reactions inside photonic cavities altered dynamics and product ratios. However, the theoretical understanding lags behind experimental observations, sparking worldwide efforts to close the gap.

Our group is pioneering experiments at lower energy scales, investigating whether strong coupling effects can be observed in biological macromolecules like proteins. Supported by an ERC Consolidator Grant, we focus on how confined THz photonic modes could alter protein quantum dynamics. The aim is to explore the effects of this coupling on protein function, adding a new layer of understanding to biomolecular behavior.

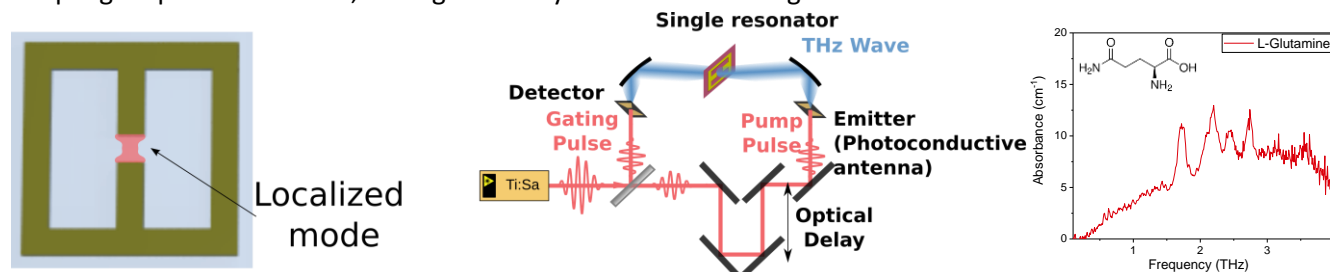


Figure 2: left, schematic of a Split ring resonator where the strong coupling will occur, middle representation of a typical TDS setup, right spectrum of an amino acid in the THz range.

Methods and techniques:

Using state-of-the-art THz time-domain spectroscopy, we have developed unique setups that allow us to study single resonators with high sensitivity. This will enable us to test protein and biomolecule dynamics under extreme confinement of the photonic mode, potentially leading to groundbreaking discoveries in protein physics.

Mission:

The primary focus of the internship will be on the experimental side, including conducting THz spectroscopy experiments to probe biomolecule vibrations. A postdoc will lead the fabrication phase using the clean-room facilities at IEMN, though the student is welcome to participate in this aspect if they are interested. Data analysis will involve photonic simulation tools to complement the experimental work, offering a well-rounded experience in both experimentation and theoretical comparison.

Profile:

We are seeking a master's student in physics or engineering with the following skills considered a plus:

- Optical experiments
- Photonics simulation
- Cryogenic experiments
- Quantum experiments interpretation

How to Apply:

Contact us informally to discuss the position. For formal applications, submit your CV and a cover letter to Dr. Romain Peretti (romain.peretti@cnr.fr) by the end of November.

Environment:

The THz-Photonics group at IEMN Laboratory is at the forefront of THz optoelectronics. You will have access to cutting-edge equipment, including high dynamic range THz spectroscopy setups and advanced fabrication facilities. The group is based in Lille, a city known for its strong academic community. More details about our research can be found on our website (<https://www.tuscany-erc.fr/>).

Allowance = 600€/month

Key words: TeraHertz, Strong coupling, proteins dynamics, 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.

Thèse de Master : Explorer la structure des protéines par spectroscopie THz pour des applications biomédicales

Contexte et objectifs :

Les protéines jouent un rôle clé dans la plupart des fonctions biologiques, et leur forme est essentielle à leurs interactions avec d'autres molécules. Les protéines mal repliées sont, par exemple, associées à des maladies comme Alzheimer et d'autres pathologies liées au repliement. Comprendre et influencer la dynamique des protéines à un niveau fondamental pourrait ouvrir de nouvelles voies en biologie médicale.

Les récentes avancées en spectroscopie THz, en particulier dans le cadre du fort couplage entre la lumière et la matière, offrent une nouvelle manière d'explorer les vibrations des protéines et potentiellement d'influencer leur structure. Bien que l'application à long terme de cette recherche puisse avoir des implications transformantes, allant de la compréhension des maladies au contrôle du repliement des protéines, notre travail se concentre sur les aspects expérimentaux fondamentaux. Soutenu par une bourse ERC consolidator, nous repoussons les limites de la spectroscopie THz pour étudier ces modes vibratoires et leur impact potentiel sur des échantillons biologiques.

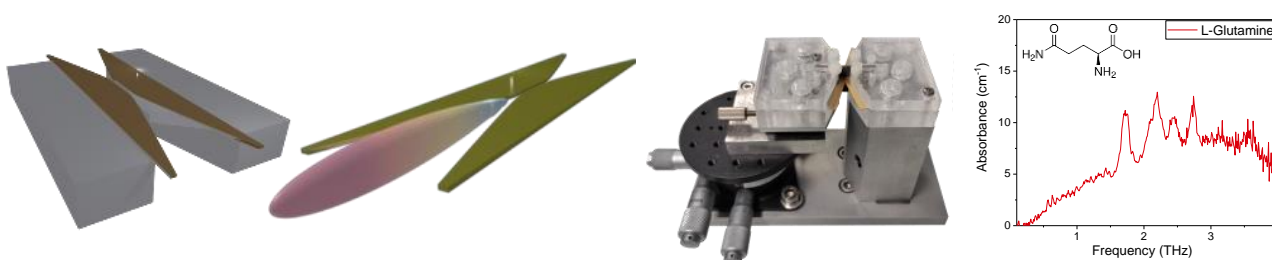


Figure 1: à gauche schéma du dispositif proposé, suivi au milieu à gauche d'une représentation de son champ lointain, au milieu à droite une photo d'une des premières réalisations, à droite un spectre d'un échantillon sub nanolitre de poudre de glutamine.

Méthodes et techniques :

En utilisant notre expérience à l'état de l'art de spectroscopie dans le domaine temporel THz, nous cherchons à analyser comment les vibrations des protéines se comportent et à découvrir des effets quantiques qui pourraient modifier la forme et la fonction des protéines. Bien que les applications médicales à long terme restent spéculatives, les expériences que nous menons aujourd'hui visent à approfondir notre compréhension des dynamiques biomoléculaires.

Mission :

Le stage est avant tout expérimental, en se concentrant sur l'analyse des protéines et des biomolécules par spectroscopie THz. Il ou elle explorera les modes vibratoires des protéines, telles que celles impliquées dans la maladie d'Alzheimer et d'autres pathologies liées au repliement. Ce stage est idéal pour les étudiant(e)s souhaitant combiner la photonique et la biologie, avec un impact potentiel futur pouvant redéfinir notre compréhension de la biologie moléculaire.

Profil recherché :

Nous recherchons un étudiant en master de physique, bioingénierie ou un domaine connexe. Les compétences suivantes sont appréciées :

- Expériences optiques
- Simulation photonique

Cité Scientifique, Avenue Poincaré - CS 60069
59652 Villeneuve d'Ascq Cedex
<http://www.iemn.univ-lille.fr>



- Expériences cryogéniques
- Technologie des salles blanches

Comment postuler :

N'hésitez pas à nous contacter pour une discussion informelle avant de soumettre votre candidature. Pour postuler, envoyez votre CV et une lettre de motivation à Dr. Romain Peretti (romain.peretti@cnrs.fr) avant fin novembre.

Environnement :

Le groupe Photonique-THz de l'IEMN est reconnu pour son expertise en spectroscopie THz et dispose d'équipements de pointe pour les mesures dans le domaine temporel. Les étudiants seront intégrés dans une équipe poussant les limites de la recherche sur les biomolécules à l'aide de techniques de confinement nanométrique. Le laboratoire IEMN est situé à Lille, une ville dynamique et un centre scientifique important. Pour plus d'informations, consultez notre site <https://www.tuscany-erc.fr/>.

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: THz-Photonics in Biomolecular Research

Context and objectives:

Proteins are key to most biological functions, with their shape playing a crucial role in how they interact with other molecules. Misfolded proteins, for example, are linked to diseases like Alzheimer's and other foldopathies. Understanding and influencing protein dynamics at a fundamental level could open new avenues in biomedicine. Recent advancements in THz spectroscopy have opened new avenues for exploring quantum effects in semiconductors, particularly ultrastrong coupling in thin-layered materials. These developments allow us to probe both the frequency and momentum of transitions, presenting exciting applications in biomolecular studies. Supported by an ERC consolidator grant, our project focuses on investigating biomolecule vibrations (sugars, proteins, DNA, RNA) using a highly confined photonic mode (sub-100 nm). The complexity of these molecules, coupled with significant quantum effects, presents both experimental and theoretical challenges.

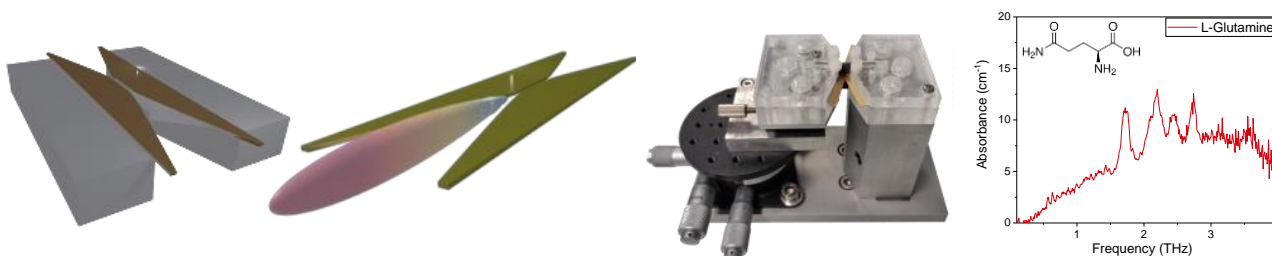


Figure 2: left, schematic of the proposed device, middle left representation of its far field, middle right the first realization more details here [1], right L glutamine spectrum performed on a sub nano liter sample.

Methods and techniques:

We utilize state-of-the-art THz time-domain spectroscopy, with a robust setup offering an unparalleled signal-to-noise ratio. Leveraging clean-room technologies, we fabricate split-ring resonators capable of confining the photonic mode to the nanometric scale, crucial for studying these delicate samples.

Mission:

The student will be involved in experimental work, focusing on protein and biomolecule analysis using THz spectroscopy. They will explore the vibrational modes of proteins like those involved in Alzheimer's or related diseases. This is an ideal opportunity for students interested in combining photonics and biology, where the potential future impact could redefine our understanding of molecular biology.

profile

We are seeking a master's student in physics, bioengineering, or a related field. The following skills are beneficial:

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

How to Apply:

Contact us informally to discuss the position. For formal applications, submit your CV and a cover letter to Dr. Romain Peretti (romain.peretti@cnr.fr) by the end of November.

Environment:

The THz-Photonics group at IEMN Laboratory has a long-standing reputation for pioneering THz optoelectronic devices. Students will have access to three advanced time-domain spectroscopy setups with a dynamic range of 100 dB, two cryostats, and a 1500m² clean-room. The IEMN laboratory is located in Lille, a dynamic city at the heart of Europe, known for its academic vibrancy. Visit our website (<https://www.tuscany-erc.fr/>) for more information on the group's activities.

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.