



# 2 PhD positions : Exploring Proteins Structure with THz Nanotechnology



**Fully funded (~26 000 €/year gross salary) PhD by an ERC consolidator grant**

## Context and objectives:

Proteins perform the essential functions of living organisms, from oxygen transport to photosynthesis. Their intricate nano-structure dictates this function. Modifications to this structure can have devastating consequences, as in Alzheimer's and Parkinson's diseases. This highlights the need for techniques that can probe protein nano-structure. Nevertheless, existing techniques face limitations when operated in a realistic environment in realistic conditions.

Vibrational spectroscopy in the Terahertz (THz) range emerges as a promising alternative. Analogously to musical instruments producing sounds of frequencies dependent on their size; the frequency of vibrations depends on the size of the object supporting it, and the THz range corresponds actually to nanometric sizes.

In this PhD work, the candidate will first design, and implement electromagnetic concentrator in the Terahertz range to study biological samples from the amino acids to the protein microcrystals, a form used in their structural studies. The candidate will use a dedicated cryostat to unravel vibrational properties of protein from 4K to body temperature.

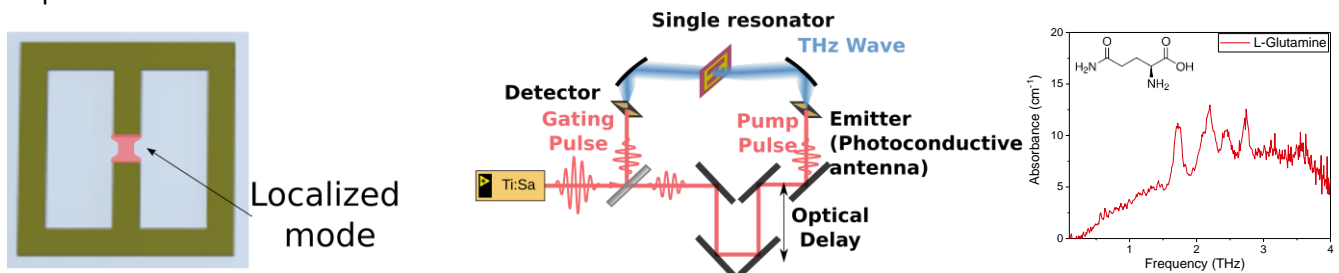


Figure 1: left, schematic of a Split ring resonator to enhance the light matter interactions, middle representation of a typical TDS setup, right spectrum of an amino acid in the THz range.

Specifically, THz spectroscopy probe matter non-invasively, making it a valuable tool for the identification of material, especially in biological samples. THz waves can be used to study the structure and dynamics of biological molecules, and can also detect various types of biological cells and tissues. However, the study of biological samples in their natural state is limited by their small size. Most biological objects such as proteins, DNA strands, viral capsids, cells, or bacteria are much smaller than THz wavelengths. This size mismatch prevents the use of propagative techniques to analyze a single object. Our group is developing novel THz devices based on a metallic hollow waveguide to overcome this limitation that has already shown promising results. With a prestigious ERC Consolidator Grant, we are taking this research to the next level by developing new techniques for analyzing macromolecules like proteins in the THz range. TUSCaNy project aim at exploring the hidden world of biological molecules with dedicated TeraHertz technology

The TeraHertz range, located between optics and electronics, the Institute of Electronics, Microelectronics, and Nanotechnologies (IEMN) is conducting research in the TeraHertz range using state-of-the-art TeraHertz-time-domain spectrometry (THz-TDS) to analyze solid samples (semiconductors, insulators), liquids (aqueous solutions, solvents), and gases. The team aims to develop new tools and methodology to enable THz wave investigation of the structures and functions of biological molecules such as proteins and DNA.

**Missions:** Your main mission will be to design and optimize the performance of the cutting-edge device using advanced numerical methods, such as FDTD. You will then participate to the fabrication of the sample using our cutting-edge micro and nano fabrication facilities. Once fabricated, you will validate the electromagnetic performances of the device in terms of field confinement and coupling. Finally, you will operate the device in broadband THz spectroscopy with various macromolecular samples under different conditions, ranging from cryogenic temperatures in a specialized cryostat to microfluidic environments. Your ultimate goal will be to obtain high-quality data that can be used to better understand the structures and functions of biological molecules.

**Environment:** Our team of experienced researchers at IEMN Laboratory in Lille, France, offers a vibrant environment for conducting cutting-edge research in the TeraHertz range. As part of our THz-Photonics group, you will have access to our state of the art nano fabrication facilities in our 1500m<sup>2</sup> clean room, as well as fully equipped experimental facilities. With our long-standing expertise in THz optoelectronic device conception and realization, you will work alongside our team to design and conduct innovative THz biophotonics experiments.

We are seeking a physics or engineering master graduate, or equivalent, with expertise in experimental optics, spectroscopy, electromagnetism, or Python coding. The exact tasks will be tailored to your capacities and interests, and we encourage you to contact us today to learn more about this exciting opportunity!

**Key words:** *TeraHertz, spectroscopy, antenna, wave propagation, Microfluidics*

**Contact:** Dr Romain Peretti : [romain.peretti@cnrs.fr](mailto:romain.peretti@cnrs.fr) . Do not hesitate to contact me informally before any formal application. The beginning date is flexible.

**Contexte et Objectifs** : Les protéines assurent les fonctions essentielles du vivants, du transport de l'oxygène à la photosynthèse. Leur nano-structure complexe dicte cette fonction. Les modifications de cette structure peuvent avoir des conséquences dévastatrices, comme dans les maladies d'Alzheimer et de Parkinson. D'où la nécessité de disposer de techniques permettant de sonder la nano-structure des protéines. Néanmoins, les techniques existantes se heurtent à des limites lorsqu'elles sont utilisées dans un environnement et des conditions réalistes. La spectroscopie vibrationnelle dans la gamme des TeraHertz (THz) apparaît comme une alternative prometteuse. Comme les instruments de musique qui produisent des sons dont la fréquence dépend de leur taille, la fréquence des vibrations dépend de la taille de l'objet qui les supporte, et le domaine THz correspond justement à des tailles nanométriques.

Dans le cadre de son doctorat, le candidat participera à la conception et à la mise en œuvre de concentrateurs électromagnétiques dans la gamme des TeraHertz pour étudier des échantillons biologiques, des acides aminés aux microcristaux de protéines, une forme utilisée dans leurs études structurales.

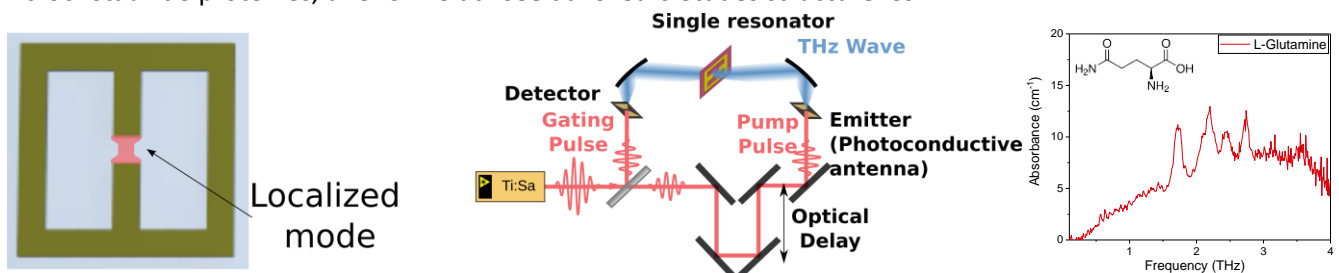


Figure 2 : A gauche, schéma d'un résonateur à anneau fendu pour l'augmentation d'interactions lumière matière, au milieu, représentation d'une installation TDS typique, à droite, spectre d'un acide aminé dans la gamme THz.

Plus précisément, la spectroscopie THz est une technique non invasive pour sonder la matière. Cela en fait un outil précieux pour l'identification des matériaux, en particulier dans les échantillons biologiques. Cependant, l'étude des échantillons biologiques dans leur état naturel est limitée par leur petite taille. La plupart des objets biologiques, y compris les protéines, les brins d'ADN, les capsides virales, les cellules ou les bactéries, sont beaucoup plus petits que les longueurs d'onde THz. Ce décalage de taille rend impossible l'utilisation de techniques propagatives pour analyser un objet unique. Pour relever ce défi, des résonateurs peuvent être utilisés pour concentrer le champ électromagnétique. Ces résonateurs, comme celui illustré à la figure 2, appelés résonateurs à anneau fendu, sont bien connus de la communauté. Cependant, ils sont la plupart du temps utilisés dans les métasurfaces, qui se composent de centaines d'entre eux. Nous avons développé une méthodologie qui permet l'étude d'un seul résonateur. Dans le cadre de ce doctorat, nous exploiterons cette méthodologie pour analyser un échantillon unique placé dans la fente de ces résonateurs.

**Missions** : Nos premiers résultats nous ont motivés à poursuivre l'optimisation du dispositif à la fois par des méthodes numériques, telles que la FDTD, et par des mesures expérimentales, telles que la spectroscopie et les mesures de rayonnement en champ lointain. Nous nous concentrerons sur la compréhension du couplage entre la lumière entrante et le mode du résonateur. Enfin, vous ferez fonctionner le dispositif en spectroscopie THz à large bande avec divers échantillons macromoléculaires dans différentes conditions. Le but ultime de ce projet est d'obtenir des données de haute qualité qui peuvent être utilisées pour mieux comprendre les structures et les fonctions des molécules biologiques.

**Environnement** : Notre équipe de chercheurs expérimentés au Laboratoire IEMN à Lille, France, offre un environnement dynamique pour mener des recherches de pointe dans la gamme TeraHertz. En tant que membre de notre groupe Photonique THz, vous aurez accès à des installations expérimentales entièrement équipées (spectromètre THz dans le domaine temporel de dernière génération, caméra et laser THz à l'état de l'art technologique). Grâce à notre expertise de longue date dans la conception et la réalisation de dispositifs optoélectroniques THz, vous travaillerez avec notre équipe pour concevoir et réaliser des expériences innovantes en biophotonique THz dans le cadre d'un ambitieux projet européen de l'ERC.

Nous recherchons un étudiant en master de physique ou d'ingénierie, ou équivalent, ayant la volonté d'apprendre l'optique expérimentale, la spectroscopie, l'électromagnétisme, ou le codage Python. Les tâches spécifiques seront adaptées à vos capacités et à vos intérêts, et nous vous encourageons à nous contacter dès aujourd'hui pour en savoir plus sur ces travaux!

Mots clés : TeraHertz, spectroscopie, antenne, propagation des ondes

Contact : Dr Romain Peretti : [romain.peretti@cnrs.fr](mailto:romain.peretti@cnrs.fr) . N'hésitez pas à me contacter de manière informelle avant toute candidature formelle. La date de début est flexible.