
PhD proposal - version française ci-dessous

Laboratory: Institut Fresnel

PhD supervisor : Jérôme WENGER

Email : jerome.wenger@fresnel.fr

Address : Institut Fresnel, Domaine Universitaire de Saint Jérôme, 13397 Marseille

Phone : +337 86 39 18 49

Title : **Optically-controlled thermal nanotweezers to manipulate single nano-objects**

Description :

Optical tweezers offer a versatile approach to manipulate living cells and other micron-sized objects with minimal invasiveness. However, due to the diffraction limit, objects with sizes below 100 nm are nearly impossible to trap using conventional microscopes. To overcome this limitation, nanophotonics allows to concentrate light well below the diffraction limit. The nano-optical tweezers enable efficient trapping of nanoscale objects that would otherwise be too small or too transparent to be manipulated using conventional optical tweezers. However the plasmonic nanotweezers using optical resonances in metal nanogaps come with their own issues: the fabrication is complex and expensive, the control and reproducibility is often poor for gap sizes below 20 nm, and the range of action is limited, requiring long waiting times of several minutes to trap a particle.

A paradigm change is needed to overcome the limitations in the manipulation of nano-objects. Here we propose to use thermal gradient forces instead of optical gradient forces. Temperature gradients at the micro/nanoscale can induce forces by thermos-osmosis and thermophoresis, which will be combined in this PhD project to trap of single nano-objects as small as 5 nm with an action range larger than 500 nm.

Thanks to the large range of thermal forces, a single nanoparticle can be trapped within a few seconds after the infrared beam is switched on, even at sub-nanomolar concentrations. We target a localization accuracy sufficiently below the spatial resolution of the optical microscopes used for the different applications. As nanometer gaps are not required, the fabrication remains cost-effective and easily scalable for highly parallel operation.

The manipulation of single nano-objects (nanoparticles, quantum dots, proteins, viruses...) is a key element for various areas of nanosciences, multiplying the potential impact of optically-controlled thermal tweezers. Manipulating single nano-objects is highly cross-disciplinary at the interface between photonics, biophysics and nanotechnology. This innovative approach will enable the exploration of a brand new territory of optical tweezers down to the single molecule level. The outcomes of this PhD project will further advance the fields of nano-optical trapping, nanophotonics and single-molecule biophysics, and will benefit a wide range of sensing applications.

Recent relevant publications:

- Q. Jiang, P. Roy, J.-B. Claude, J. Wenger, *Single Photon Source from a Nanoantenna-Trapped Single Quantum Dot*, Nano Lett. 21, 7030 – 7036 (2021). ArXiv 2108.06508
- Q. Jiang, J.-B. Claude, J. Wenger, *Plasmonic nano-optical trap stiffness measurements and design optimization*, Nanoscale 13, 4188-4194 (2021). ArXiv 2102.05381
- Q. Jiang, B. Rogez, J.-B. Claude, G. Baffou, and J. Wenger, *Quantifying the Role of the Surfactant and the Thermophoretic Force in Plasmonic Nano-optical Trapping*, Nano Lett. 20, 8811–8817 (2020). ArXiv 2011.10263
- Q. Jiang, B. Rogez, J.-B. Claude, G. Baffou, J. Wenger, *Temperature Measurement in Plasmonic Nanoapertures Used for Optical Trapping*, ACS Photonics 6, 1763-1773 (2019). ArXiv 1906.01947.

Sujet de thèse

Laboratoire: Institut Fresnel

Directeur de thèse : Jérôme WENGER

Email : jerome.wenger@fresnel.fr

Adresse : Institut Fresnel, Domaine Universitaire de Saint Jérôme, 13397 Marseille

Tel : 07 86 39 18 49

Titre : **Nanopinces thermiques contrôlées optiquement pour manipuler des nano-objets individuels**

Description :

Les pinces optiques offrent une approche polyvalente pour manipuler des cellules vivantes et d'autres objets microscopiques avec un minimum d'invasivité. Cependant, en raison de la limite de diffraction, les objets dont la taille est inférieure à 100 nm sont presque impossibles à piéger à l'aide de microscopes conventionnels. Pour pallier cette limitation, la nanophotonique permet de concentrer la lumière bien en dessous de la limite de diffraction. Les pinces nano-optiques permettent un piégeage efficace d'objets nanométriques qui seraient autrement trop petits ou trop transparents pour être manipulés à l'aide de pinces optiques conventionnelles.

Les nanopinces plasmoniques utilisées actuellement sont basées sur des résonances optiques dans des nanogaps métalliques. Cependant, ces nanogaps plasmoniques présentent leurs propres problèmes : la fabrication est complexe et coûteuse, le contrôle et la reproductibilité sont souvent médiocres pour des tailles de gap inférieures à 20 nm, et le rayon d'action est limité, nécessitant de longs temps d'attente de plusieurs minutes pour piéger une particule.

Un changement de paradigme est nécessaire pour dépasser les limites de la manipulation des nano-objets. Ici, nous proposons d'utiliser des forces de gradient thermique au lieu de forces de gradient optique. Les gradients de température à l'échelle micro/nano peuvent induire des forces par thermos-osmose et thermophorèse, qui seront combinées dans ce projet doctoral pour piéger des nano-objets uniques aussi petits que 5 nm avec une plage d'action supérieure à 500 nm.

Grâce à la large gamme de forces thermiques, une seule nanoparticule peut être piégée en quelques secondes après l'activation du faisceau infrarouge, même à des concentrations sub-nanomolaires. Nous visons une précision de localisation suffisamment inférieure à la résolution spatiale des microscopes optiques utilisés pour les différentes applications. Comme des gaps nanométriques ne sont pas nécessaires, la fabrication reste aisée et facilement évolutive pour un fonctionnement hautement parallèle.

La manipulation de nano-objets uniques (nanoparticules, boîtes quantiques, protéines, virus...) est un élément clé pour divers domaines des nanosciences, multipliant l'impact potentiel des pinces thermiques à commande optique. La manipulation de nano-objets uniques est hautement interdisciplinaire à l'interface entre la photonique, la biophysique et les nanotechnologies. Cette approche innovante permettra d'explorer un tout nouveau territoire de la pince optique jusqu'au niveau de la molécule unique. Les résultats de ce projet de doctorat feront progresser les domaines du piégeage nano-optique, de la nanophotonique et de la biophysique des molécules uniques, et bénéficieront à un large éventail d'applications de détection.

Sélection de publications récentes :

- Q. Jiang, P. Roy, J.-B. Claude, J. Wenger, *Single Photon Source from a Nanoantenna-Trapped Single Quantum Dot*, Nano Lett. 21, 7030 – 7036 (2021). ArXiv 2108.06508
 - Q. Jiang, J.-B. Claude, J. Wenger, *Plasmonic nano-optical trap stiffness measurements and design optimization*, Nanoscale 13, 4188-4194 (2021). ArXiv 2102.05381
 - Q. Jiang, B. Rogez, J.-B. Claude, G. Baffou, and J. Wenger, *Quantifying the Role of the Surfactant and the Thermophoretic Force in Plasmonic Nano-optical Trapping*, Nano Lett. 20, 8811–8817 (2020). ArXiv 2011.10263
 - Q. Jiang, B. Rogez, J.-B. Claude, G. Baffou, J. Wenger, *Temperature Measurement in Plasmonic Nanoapertures Used for Optical Trapping*, ACS Photonics 6, 1763-1773 (2019). ArXiv 1906.01947.
-