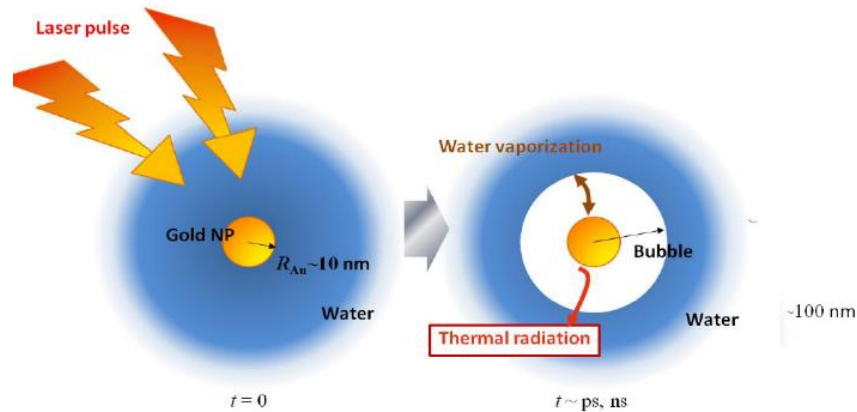


Offre de post-doctorat / Opening of a post-doctoral position (english version below)

## Rayonnement thermique en champ proche dans les nanobulles plasmoniques

### Description du sujet



L'illumination (optique) de nanoparticules métalliques en suspension dans un liquide permet de chauffer celui-ci manière ultra localisée autour des particules, sans contact. L'illumination peut se faire à l'aide d'un signal à intensité constante ou au contraire à l'aide d'impulsions brèves. Dans certains cas, elle induit aussi la génération de nanobulles autour des particules. Ce type de phénomène peut être mis à profit pour la thérapie locale par hyperthermie optique, et a aussi lieu dans certaines applications de chauffage de l'eau par la voie solaire thermique [1]. La compréhension de la dynamique de la bulle n'est pas aisée en raison des nombreux phénomènes en présence : vaporisation, transfert thermique balistique par les molécules de vapeur, diffusion multiple lorsqu'il y a un grand nombre de particules, etc. [2] Parmi tous ces phénomènes, il en est un qui n'a pas été correctement étudié jusqu'à présent : le rayonnement thermique entre les nanoparticules et le liquide. En effet, les nanoparticules étant de taille bien inférieure à la longueur d'onde caractéristique du rayonnement thermique (longueur d'onde de Wien  $\lambda_W$ ,  $10 \mu\text{m}$  à température ambiante), l'émission de rayonnement thermique ne suit pas les lois de Planck et de Stefan-Boltzmann, qui ne sont valides que pour les tailles supérieures à  $\lambda_W$ . Ce régime est appelé émission sub-longueur d'onde et des calculs détaillés d'électromagnétisme, basés sur l'électrodynamique fluctuacionnelle (d'acronyme anglais FE), sont requis pour une évaluation correcte de cette contribution à l'échange thermique particule-liquide. Il a notamment été montré que l'émissivité effective des petits objets peut dépasser l'unité [3]. D'autre part, la distance entre la nanoparticule et le fluide est également plus faible que la longueur d'onde, donc le transfert radiatif a lieu par « effet tunnel de photon », par rayonnement thermique en champ proche. L'approche FE permet de prendre en compte également ce point, bien connu pour les objets où les surfaces en regard sont plus grandes (voir [4] pour un article de revue sur les expériences qui ont démontré l'effet du rayonnement thermique en champ proche).

Ce travail de post-doctorat consistera à évaluer correctement la contribution radiative à l'échange nanoparticule-liquide, pour différentes formes de nanoparticules et d'agglomérats. La théorie de Mie pour les sphères servira de support pour les premiers développements analytiques, et les travaux réalisés pour des cylindres (nanofils) [5] pourront aussi être adaptés. Les formes plus compliquées pourront être traitées à l'aide de la méthode des éléments de frontière dans certains cas. Les résultats seront incorporés ensuite dans un code complet développé par les collaborateurs de l'Institut Lumière-Matière, également situé sur le campus de La Doua LyonTech.

- [1] [Plasmonic nanobubbles as transient vapor nanobubbles generated around plasmonic nanoparticles](#), E. Lukianova-Hleb, Y. Hu, L. Latterini, L. Tarpani, S. Lee, R.A. Drezek, J.H. Hafner, D.O. Lapotko, ACS Nano 4 (4), 2109-2123 (2010)
- [2] [Strong and fast rising pressure waves emitted by plasmonic vapor nanobubbles](#), J. Lombard, J. Lam, F. Detcheverry, T. Biben, S. Merabia, Physical Review Research 3, 023231 (2021)
- [3] [Temperature-dependent and optimized thermal emission by spheres](#), K.L. Nguyen, O. Merchiers, P.-O. Chapuis, Applied Physics Letters 112, 111906 (2018)
- [4] [Radiative heat transfer at nanoscale: experimental trends and challenges](#), C. Lucchesi, R. Vaillon, P.-O. Chapuis, Nanoscale Horizons 6, 201 (2021)
- [5] *Radiative heat transfer in concentric cylinders from far to near field*, A. Alwakil, O. Merchiers, P.-O. Chapuis, to appear

### **Contexte de travail**

Le travail de post-doctorat sera réalisé dans l'équipe "Micro et NanoThermique" (MiNT) du Centre d'Energétique et de Thermique de Lyon (CETHIL), sur le campus La Doua-LyonTech à Villeurbanne. L'équipe MiNT, composée d'une quinzaine de personnes dont 5 chercheurs et enseignants-chercheurs, est spécialiste de rayonnement thermique dans les nanostructures.

### **Informations complémentaires**

Le travail de post-doctorat sera réalisé dans le cadre du projet ANR [CASTEX](#) dédié à la compréhension de la cavitation associée aux nanoparticules dans les liquides. Le projet commence au printemps 2022. Ce projet fait également intervenir deux équipes de l'Institut Lumière-Matière (ILM) située sur le même campus.

**Lieu de travail** : Campus La Doua LyonTech

**Nom des responsables scientifiques** : Olivier MERCHIERES ([olivier.merchiers@insa-lyon.fr](mailto:olivier.merchiers@insa-lyon.fr), [web](#)), P-Olivier CHAPUIS ([olivier.chapuis@insa-lyon.fr](mailto:olivier.chapuis@insa-lyon.fr), [web](#))

:

**Type de contrat** : CDD post-doctorant (18 mois) CNRS

**Date de début du contrat**: été 2022 (au plus tard le 1er octobre 2022), en fonction de la disponibilité du candidat sélectionné.

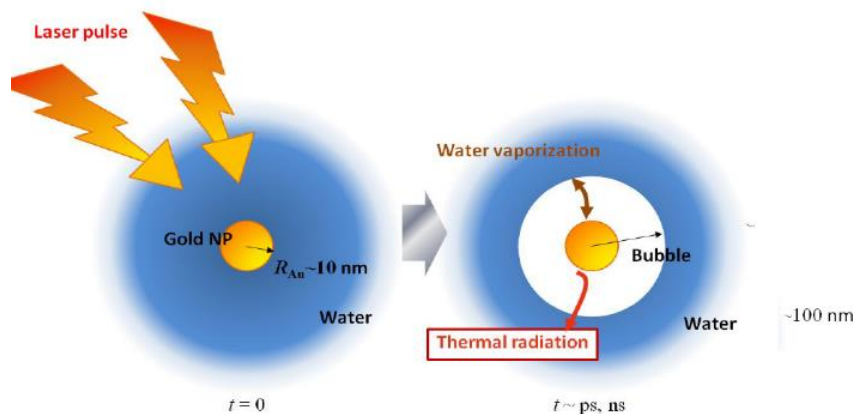
*Merci de postuler avec un CV détaillé, une lettre de motivation, le dossier académique des 3 dernières années (notes) et d'indiquer les noms de trois références (encadrants de stage ou responsables de parcours).*

---

**PhD thesis offer** (french version above)

**Near-field thermal radiation in plasmonic nanobubbles**

**Description of the topic**



Ultra-localized heating in a liquid, without contact, is possible by injecting metallic nanoparticles into the liquid and illuminating them. The illumination can be carried out in steady state or using short pulses. In some cases, the local heating also induces the generation of nanobubbles around the particles. This type of phenomenon can be used for local therapy by optical hyperthermia, and also occurs in certain water heating applications using solar thermal technology [1]. Understanding the dynamics of the bubble is not easy because of the many phenomena that take place: vaporization, ballistic heat transfer by vapor molecules, multiple scattering when there is a large number of particles, etc. [2]

Among all these phenomena, there is one that has not been properly studied until now: thermal radiation between the nanoparticles and the liquid. Indeed, the nanoparticles being of size well below the characteristic wavelength of thermal radiation (Wien's wavelength  $\lambda_W$  is  $10 \mu\text{m}$  at room temperature), the emission of thermal radiation does not follow Planck's and Stefan-Boltzmann's laws, which are only valid for sizes greater than  $\lambda_W$ . This regime is called sub-wavelength thermal-radiation emission and detailed electromagnetism calculations, based on fluctuational electrodynamics (FE), are required for a correct assessment of this contribution to particle-liquid heat exchange. In particular, it has been shown that the effective emissivity of small objects can exceed unity [3]. On the other hand, the distance between the nanoparticle and the fluid is also lower than Wien's wavelength, so the radiative transfer takes place by "photon tunneling", i.e. by thermal radiation in the near field. The FE approach makes it possible to also take into account this point, which is well known for objects where the facing surfaces are larger (see [4] for a review article on the experiments that demonstrated the effect of near-field thermal radiation).

This post-doctoral work will consist in correctly evaluating the radiative contribution to the nanoparticle-liquid exchange, for different forms of nanoparticles and agglomerates. Mie's theory for spheres will serve as a support for the first analytical developments, and the work carried out for cylinders (nanowires) [5] could also be adapted. More complicated shapes will be dealt with using the boundary element method in some cases. The results will then be incorporated into a complete code developed by the collaborators of the Institut Lumière-Matière (ILM), also located on the La Doua LyonTech campus.

[1] [Plasmonic nanobubbles as transient vapor nanobubbles generated around plasmonic nanoparticles](#), E. Lukianova-Hleb, Y. Hu, L. Latterini, L. Tarpani, S. Lee, R.A. Drezek, J.H. Hafner, D.O. Lapotko, ACS Nano 4 (4), 2109-2123 (2010)

[2] [Strong and fast rising pressure waves emitted by plasmonic vapor nanobubbles](#), J. Lombard, J. Lam, F. Detcheverry, T. Biben, S. Merabia, Physical Review Research 3, 023231 (2021)

[3] [Temperature-dependent and optimized thermal emission by spheres](#), K.L. Nguyen, O. Merchiers, P.-O. Chapuis, Applied Physics Letters 112, 111906 (2018)

[4] [Radiative heat transfer at nanoscale: experimental trends and challenges](#), C. Lucchesi, R. Vaillon, P.-O. Chapuis, Nanoscale Horizons 6, 201 (2021)



[5] *Radiative heat transfer in concentric cylinders from far to near field*, A. Alwakil, O. Merchiers, P.-O. Chapuis, to appear

### **Work context**

The post-doctoral work will be carried out in the "Micro and Nanoscale Heat Transfer" (MiNT) team at the Centre for Energy and Thermal Science of Lyon (CETHIL), on the La Doua-LyonTech campus in Villeurbanne. The MiNT team, made up of about fifteen people including 5 permanent researchers and faculties, specializes in thermal radiation in nanostructures..

### **Further information**

The post-doctoral work will be carried out within the framework of the CASTEX project funded by the French National Research Agency (ANR), which is dedicated to the understanding of cavitation associated with nanoparticles in liquids. The project begins in Spring 2022. This project also involves two teams from the Institut Lumière-Matière (ILM) located on the same campus.

**Location:** National Institute for Applied Sciences (INSA), Campus La Doua LyonTech, Lyon (France)

**Supervisor:** Olivier MERCHIERS ([olivier.merchiers@insa-lyon.fr](mailto:olivier.merchiers@insa-lyon.fr), [web](#)), P-Olivier CHAPUIS ([olivier.chapuis@insa-lyon.fr](mailto:olivier.chapuis@insa-lyon.fr), [web](#))

:

**Type of contract:** Fixed-term (CDD) post-doctoral researcher contract (18 months) at CNRS

**Starting date of the PhD thesis:** Summer 2022 (October 1, 2022 at the latest), depending on the selected candidate's availability.

*Applications should include a detailed resume, a letter of motivation, the academic file (grades) of the 3 last years, and please provide also the names of three references (previous advisor, head of studies,...).*