

Offre de thèse de doctorat / PhD thesis offer (english version below)

Etude expérimentale de la conversion d'énergie par voie thermophotonique

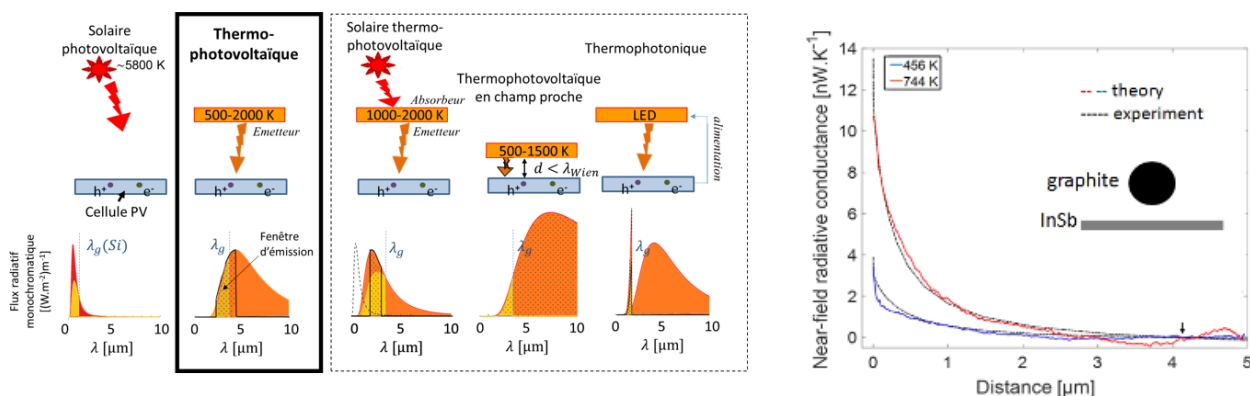
Description du sujet de thèse

Convertir de la chaleur en électricité est une manière de récupérer de l'énergie du milieu ambiant et est considéré comme une voie prometteuse pour limiter les émissions de gaz à effet de serre. Inversement, il est aussi possible de refroidir localement un milieu en lui appliquant une tension. Le principal moyen d'effectuer ces opérations est la conversion thermoélectrique, qui a lieu à travers un matériau solide. Malheureusement, la conversion thermoélectrique est peu efficace pour des températures typiques proches de l'ambiante. Une alternative est la conversion thermophotonique [1], qui fait intervenir deux éléments optoélectroniques séparés par un milieu vide (voir schéma sur la Figure 1). L'un de ces éléments peut être assimilé à une diode électroluminescente (LED), qui permet d'amplifier l'émission de lumière d'une surface pour certaines longueurs d'onde, et l'autre à une cellule photovoltaïque (PV), qui permet d'absorber la lumière pour certaines longueurs d'onde. En concevant intelligemment le système, un transfert d'énergie radiative du premier milieu vers le second a lieu, ce qui refroidit le premier milieu et réchauffe le second, tout en limitant la puissance électrique nécessaire. Les études théoriques indiquent que ce type de système pourrait être très efficace pour des différences de température de 100 K autour de la température ambiante.

L'équipe Micro et NanoThermique (MiNT) du CETHIL a démontré théoriquement [2] puis expérimentalement que les performances des dispositifs radiatifs similaires (convertisseurs thermophotovoltaïques [3]) sont fortement améliorées lorsque la distance entre la source radiative et la cellule photovoltaïque est diminuée pour atteindre le régime dit "en champ proche"; ceci est dû à un effet tunnel d'ondes. Un des points clés est d'accorder le spectre du rayonnement thermique émis par la source à celui qui peut être converti par la cellule [4,5]. Cette démonstration a été effectuée dans un cas académique simplifié avec une microsphère (voir schéma).

Cette thèse, qui est de nature essentiellement expérimentale, consiste à concevoir une configuration plus réaliste pour les applications, avec deux surfaces planes qui se font face. L'application de récupération d'énergie par voie thermophotonique et l'application de réfrigération, attrayante pour les technologies quantiques qui fonctionnent à basse température, seront testées en champ proche. Un système opérationnel hors laboratoire pourra être envisagé.

Figure 1. (gauche) La famille de concepts thermophotovoltaïques et les spectres associés ; (droite) transfert radiatif entre deux surfaces en fonction de leur distance, qui met en évidence l'augmentation du transfert « en champ proche ».



- [1] [Thermophotonic cooling with light-emitting diodes](#), T. Sadi, I. Radevici, J. Oksanen, Nature Photonics 14, 205 (2020)
- [2] [Micron-sized liquid nitrogen-cooled indium antimonide photovoltaic cell for near-field thermophotovoltaics](#), R. Vaillon, J.-P. Perez, C. Lucchesi, D. Cakiroglu, P.-O. Chapuis, T. Taliercio, E. Tournié, Optics Express 24, 347515 (2019)
- [3] [Thermophotovoltaïque : des cellules PV pour convertir le rayonnement thermique](#), P.O. Chapuis, C. Lucchesi et R. Vaillon, Photoniques 105, 37 (2020)
- [4] [Near-field thermophotovoltaic conversion with high electrical power density and efficiency above 14%](#), C. Lucchesi, D. Cakiroglu, J.-P. Perez, T. Taliercio, E. Tournié, P.-O. Chapuis, R. Vaillon, Nano Letters 21, 4524 (2021). Version préliminaire disponible librement : [ArXiv](#).
- [5] Communiqué de presse CNRS, juin 2021 : [Convertir un rayonnement thermique en électricité : un cap franchi](#)

Contexte de travail

La thèse sera réalisée dans l'équipe "Micro et NanoThermique" (MiNT) au Centre d'Energétique et de Thermique de Lyon (CETHIL), sur la campus La Doua-LyonTech à Villeurbanne. L'équipe MiNT, composée d'une quinzaine de personnes dont 5 chercheurs et enseignants-chercheurs, est notamment pionnière au niveaux européen et mondial pour la microscopie AFM thermique.

Informations complémentaires

La thèse sera réalisée dans le cadre du projet européen [OPTAGON](#) dédié à la réfrigération solide. Le consortium implique des chercheurs finlandais, néerlandais et français. Le projet commence à l'automne 2021 et est financé dans le cadre du Conseil Européen de l'Innovation (EIC). Une partie du projet pourra aussi être réalisée dans le cadre du projet [TPX-Power](#) avec les mêmes partenaires.

Lieu de travail : Campus La Doua LyonTech

Nom du responsable scientifique : P-Olivier CHAPUIS (olivier.chapuis@insa-lyon.fr, [web](#))

Type de contrat : CDD Doctorant/Contrat doctoral (36 mois)

Date de début de la thèse : 1er octobre 2021

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 deux références (encadrant de stage ou responsable de parcours).

PhD thesis offer (french version above)

Experimental study of thermophotonic energy conversion

Description of PhD thesis topic

Converting heat into electricity is one way to recover energy from the surrounding environment, which is seen as a promising way to limit greenhouse gas emissions. Conversely, it is also possible to locally cool a medium by applying a voltage to its ends. The main way to perform these operations is thermoelectric conversion, which takes place in a solid material. Unfortunately, thermoelectric conversion is inefficient near room temperature. An alternative is thermophotonic conversion [1], which involves two optoelectronic elements separated by vacuum (see schematic in Figure 1). One of these elements can be assimilated to a light-emitting diode (LED), which amplifies the emission of light from a surface for certain wavelengths, and

the other to a photovoltaic cell (PV), which absorbs light for certain wavelengths. By appropriately designing the system, a transfer of radiative energy from the first medium to the second one takes place, which cools the first medium and heats the second one while limiting the required electrical power. Theoretical studies indicate that this type of system could be very efficient for temperature differences of 100 K around room temperature.

The Micro and Nanoscale Heat Transfer (MiNT) team at CETHIL has demonstrated theoretically [2] and experimentally that the performance of similar radiative devices (thermophotovoltaic converters [3]) is greatly improved when the distance between the radiative source and the photovoltaic cell is reduced in order to reach the so-called ‘near-field’ regime; this increase is due to wave tunneling. One of the key points is to match the spectrum of thermal radiation emitted by the source to that which can be converted by the cell [4,5]. This demonstration was carried out in a simplified academic case with a microsphere (see diagram).

This PhD thesis project, which is essentially experimental, consists in designing a more realistic configuration for applications, with two plane surfaces facing each other. The thermophotonic energy recovery application and the refrigeration application, attractive to quantum technologies that operate at low temperatures, will be tested in the near field. An operational system outside the laboratory could be considered.

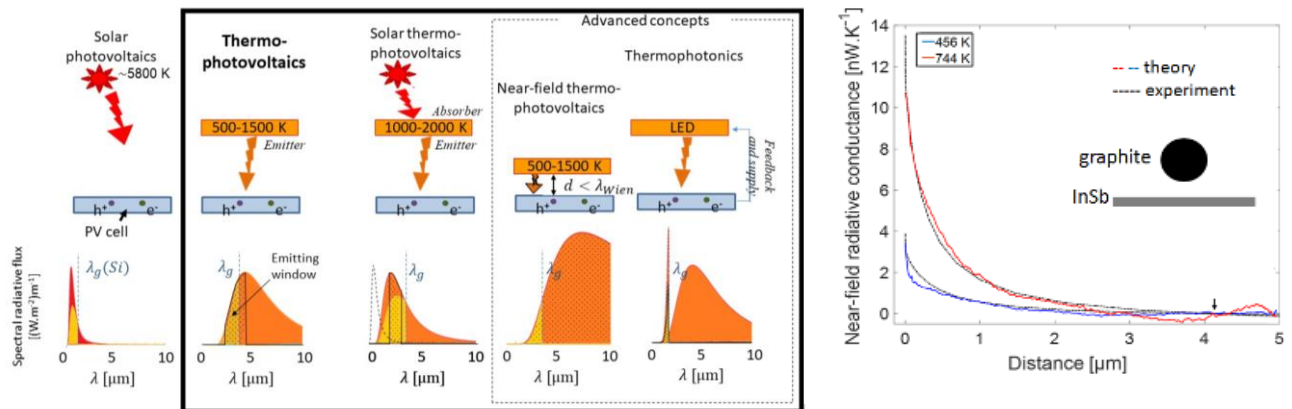
[1] [Thermophotovoltaïque : des cellules PV pour convertir le rayonnement thermique](#) (in French), P.O. Chapuis, C. Lucchesi et R. Vaillon, *Photoniques* 105, 37 (2020). See also the [Wikipedia page](#).

[2] [Micron-sized liquid nitrogen-cooled indium antimonide photovoltaic cell for near-field thermophotovoltaics](#), R. Vaillon, J.-P. Perez, C. Lucchesi, D. Cakiroglu, P.-O. Chapuis, T. Taliercio, E. Tournié, *Optics Express* 24, 347515 (2019)

[3] [Near-field thermophotovoltaic conversion with high electrical power density and efficiency above 14%](#), C. Lucchesi, D. Cakiroglu, J.-P. Perez, T. Taliercio, E. Tournié, P.-O. Chapuis, R. Vaillon, *Nano Letters* 21, 4524 (2021). Early version available freely on the [ArXiv](#) preprint server.

[4] CNRS press release, june 2021 : [Convertir un rayonnement thermique en électricité : un cap franchi](#). EN version on the CETHIL website: [Converting thermal radiation into electricity : a milestone is reached](#).

Figure 1. (left) The family of thermophotovoltaic concepts and the associated spectra; (right) radiative transfer between two surfaces as a function of their distance, which shows the increase in the ‘near field’



[1] [Thermophotonic cooling with light-emitting diodes](#), T. Sadi, I. Radevici, J. Oksanen, *Nature Photonics* 14, 205 (2020)

[2] [Micron-sized liquid nitrogen-cooled indium antimonide photovoltaic cell for near-field thermophotovoltaics](#), R. Vaillon, J.-P. Perez, C. Lucchesi, D. Cakiroglu, P.-O. Chapuis, T. Taliercio, E. Tournié, *Optics Express* 24, 347515 (2019)

[3] [Thermophotovoltaïque : des cellules PV pour convertir le rayonnement thermique](#) (in French), P.O. Chapuis, C. Lucchesi et R. Vaillon, *Photoniques* 105, 37 (2020). See also the [Wikipedia page](#).

[4] [Near-field thermophotovoltaic conversion with high electrical power density and efficiency above 14%](#), C. Lucchesi, D. Cakiroglu, J.-P. Perez, T. Taliercio, E. Tournié, P.-O. Chapuis, R. Vaillon, *Nano Letters* 21, 4524



(2021). Early version available freely on the [ArXiv](#) preprint server.

[5] CNRS press release, june 2021 : [Convertir un rayonnement thermique en électricité : un cap franchi](#). EN version on the CETHIL website: [Converting thermal radiation into electricity : a milestone is reached](#).

Work context

The PhD thesis 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 around fifteen people including 5 permanent researchers and faculties, is a pioneer for thermal AFM microscopy at European and global levels.

Further information

The PhD thesis will be carried out within the framework of the European project [OPTAGON](#) dedicated refrigeration by thermophotonics. The consortium involves Finnish, Dutch and French researchers. The project will start in September 2021 and is funded in the frame of the European innovation Council. Part of the work may also be performed within the frame of EU project [TPX-Power](#) involving the same partners.

Location: Campus La Doua LyonTech

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

Type of contract: Fixed-term (CDD) PhD student contract (3 years)

Starting date of the PhD thesis: October 1, 2021

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 two references (head of studies, previous advisor, ...).