

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

Etude numérique d'architectures photoniques optimisées pour la conversion d'énergie 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.

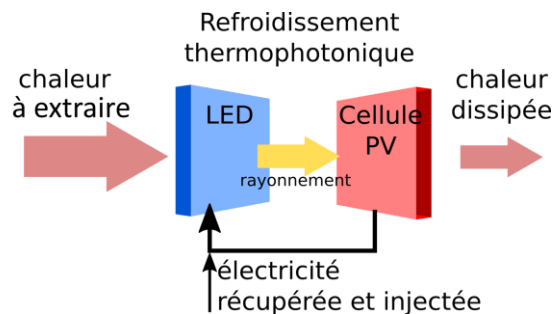


Figure 1. Concept de refroidissement thermophotonique : un matériau à refroidir est couvert par une structure LED, qui émet de la lumière plus intense quand on lui applique une tension. La lumière rayonnée permet de transférer de la chaleur et donc de refroidir la LED. La cellule PV, quant à elle, transforme la lumière reçue pour fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement de la LED.

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]. Des travaux ont également montré que refroidir en champ proche est maintenant possible [6].

Cette thèse, qui est de nature essentiellement numérique, consiste à comprendre et optimiser le comportement radiatif d'un dispositif thermophotonique constitué d'une LED et d'une cellule PV, afin de maximiser l'effet de refroidissement en jouant sur les propriétés géométriques, optiques et électriques. Il s'agira de comprendre les mécanismes physiques à l'œuvre, et de proposer des structures photoniques innovantes permettant un meilleur contrôle du couplage radiatif entre la LED et la cellule PV. Nous analyserons la possibilité de contrôler spatialement le

refroidissement, car ceci permettrait de générer des « points froids » ou d'éviter l'apparition de « points chauds » (hot spots) sur les surfaces, qui perturbent le fonctionnement de nombreux dispositifs notamment en électronique. L'application de réfrigération, attrayante pour les technologies quantiques qui fonctionnent à basse température, sera testée en champ proche.

Ce travail se fera en collaboration proche avec les autres membres de l'équipe MiNT travaillant sur la partie expérimentale afin de guider les choix de conception et fabrication.

- [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](#)
- [6] [Near-field photonic cooling through control of the chemical potential of photons](#), L. Zhu, A. Fiorino, D. Thompson, R. Mittapally, E. Meyhofer, P. Reddy, Nature 566, 239 (2019)

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 spécialiste de rayonnement thermique dans les nanostructures.

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 : Olivier MERCHIERS (olivier.merchiers@insa-lyon.fr, [web](#))

Autre contact : 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 novembre 2021 ou avant, 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 deux références (encadrant de stage ou responsable de parcours).

PhD thesis offer (french version above)

Numerical study of optimized photonic architectures for 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 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]. Interestingly, another work has showed that cooling with near-field configurations is now possible [6].

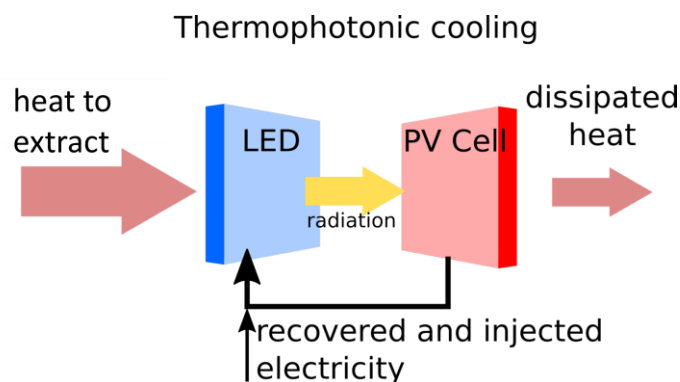


Figure 1. Concept of thermophotonic cooling: a surface is coated with an LED structure, which allows to emit more light (electromagnetic radiation) when a voltage is applied. The radiative power transferred allows cooling the hot object in contact with the LED. The PV cell transforms part of the received radiation into electricity that is reused to power the LED.

This PhD thesis project will require mostly numerical and theoretical work. It will consist in understanding and optimizing the radiative transfer modes of a device made of an LED coupled with a PV cell to maximize its cooling capabilities by changing optical, geometrical and electrical properties. The work will focus on understanding the physical mechanism and finding new photonic structures enabling a better control of the radiative coupling between the LED and the PV cell. In particular, we will study the possibility to provide spatial control of cooling. This would allow to generate ‘cool spots’ or avoid the presence of ‘hot spots’ on surfaces, which are

known to be detrimental to the operation of numerous devices, especially in electronics. The thermophotonic refrigeration application, attractive to quantum technologies that operate at low temperatures, will be tested in the near field.

This work will be performed in close collaboration with other MiNT team members, working on the experimental part of the project, by testing and proposing design solutions.

- [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](#).
- [6] [Near-field photonic cooling through control of the chemical potential of photons](#), L. Zhu, A. Fiorino, D. Thompson, R. Mittapally, E. Meyhofer, P. Reddy, Nature 566, 239 (2019)

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 expert in thermal radiation of nanostructures.

Further information

The PhD thesis will be carried out within the framework of the European project [OPTAGON](#) dedicated to 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: National Institute for Applied Sciences (INSA), Campus La Doua LyonTech, Lyon (France)

Supervisor: Olivier MERCHIERS (olivier.merchiers@insa-lyon.fr, [web](#))

Other contact person: 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: November 1, 2021, with some flexibility 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 two references (head of studies, previous advisor, ...).