

## Sujet 1 : Le comportement d'une source lumineuse à proximité d'une nanostructure

Dans un atome, lorsqu'un électron passe d'un état excité à un état de plus basse énergie en émettant un photon, on parle d'émission spontanée. Cette source de photon est (généralement) simplifiée en électromagnétisme par une source ponctuelle dipolaire, que l'on appelle dipôle. L'intensité de cette source dépend fortement de son environnement : dans un cas idéal (sans perte), on pourrait concevoir une nanostructure qui empêcherait totalement son émission ! De plus, si un autre atome similaire est proche de la source, il peut y avoir un transfert d'énergie entre les deux atomes.

Contrôler le taux d'émission d'un émetteur par son environnement est très intéressant pour de nombreuses applications. Par exemple, dans le domaine des senseurs et des imageurs, on peut détecter la présence d'une molécule en mesurant le changement d'émission du dipôle. Plus impressionnant encore, un contrôle avancé de l'environnement pourrait permettre l'avènement de sources deux-photons intriqués efficaces, nécessaires pour le développement d'ordinateurs quantique ! D'autres applications sont aussi possibles comme le contrôle de réactions chimiques, l'amélioration des cellules solaires, le développement de vitres intelligentes, etc.

Le but du stage sera donc de calculer les taux d'émission de dipôles proches de différentes structures nanophotoniques [1], ainsi que le transfert d'énergie entre deux atomes en présence de structures nanophotoniques. Pour cela, vous utiliserez une technique récemment mise au point [2], qui calcule l'environnement de l'atome (c'est-à-dire la fonction de Green) à partir de modes de la structure calculés numériquement par un programme de simulation par éléments finis (Comsol).

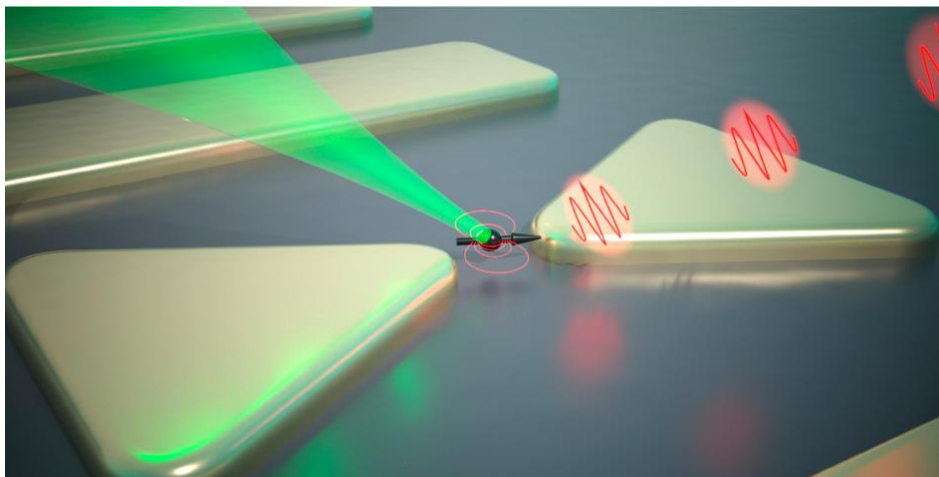


Figure 1 Dipôle proche d'une structure nanophotonique, composée ici d'un dimer de triangle d'or [3].

[1] Light emission in nanogaps: overcoming quenching, Jianji Yang, Rémi Faggiani and Philippe Lalanne, *Nanoscale Horiz.*, 1, 11, 2016.

[2] Generalizing normal mode expansion of electromagnetic Green's tensor to open systems, Parry Y. Chen, David J. Bergman, and Yonatan Sivan, *Phys. Rev. Applied*, accepted, 2018.

[3] Single-Photon Nanoantennas, A. Femius Koenderink, *ACS Photonics* 4, 710, 2017.

**Sujet 2 : Influence des modes de surfaces sur le rayonnement thermique en champ proche**

Il est bien connu que lorsqu'on souhaite étudier le spectre d'émission d'un corps, la loi de Planck est une excellente forme analytique du spectre réel. Cependant cette loi suppose que la distance à laquelle on se place de l'objet est grande devant la longueur d'onde dominante (champ lointain) donnée par la loi de Wien. Lorsque l'on considère des distances inférieures, les modes de surfaces du matériau commencent à avoir une influence (champ proche). En effet, ces modes étant évanescents, ils ne contribuent pas pour de grandes distances mais ne peuvent être négligés dans le cas contraire. Dans ce projet, nous proposons d'étudier l'influence de ces modes de surfaces dans le cas de carbure de silicium (SiC). À l'interface de ce matériau polaritonique, un phonon optique peut coupler avec un champ électromagnétique pour former un phonon-polariton de surface. Ces modes peuvent être excités dans le domaine thermique (infra-rouge) et présentent donc un grand intérêt dans l'étude du transfert de chaleur en champ proche.

Le projet consiste en l'étude numérique de l'influence de la distance à la surface sur la densité d'énergie radiée. Pour ce faire on considérera une interface plane séparant le carbure de silicium du vide. Le but est de montrer que cette densité d'énergie peut être bien supérieure (plusieurs ordres de grandeur !) en champ proche qu'en champ lointain et pourrait donc drastiquement augmenter le transfert de chaleur. On montrera également que le spectre d'énergie peut devenir quasiment monochromatique lorsqu'on est proche de l'interface grâce à l'excitation des modes de surfaces, un effet qui est maintenant activement recherché pour les applications thermiques nanométriques.

Plus d'informations dans [\*Surface Science Reports\*, 57, pp. 59-112 \(2005\)](#)

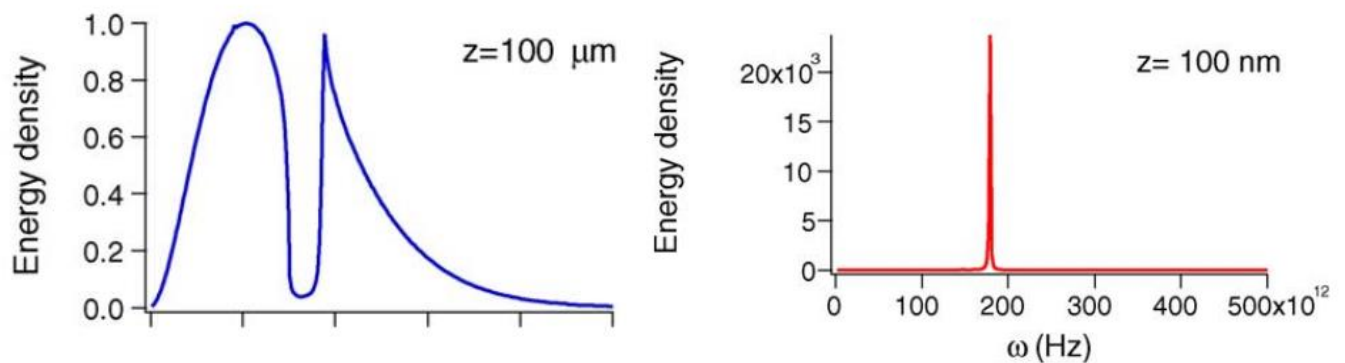


Figure 1 Densité d'énergie électromagnétique totale au-dessus d'une interface séparant du SiC à 300K et le vide à 0K : champ lointain à gauche, champ proche à droite.

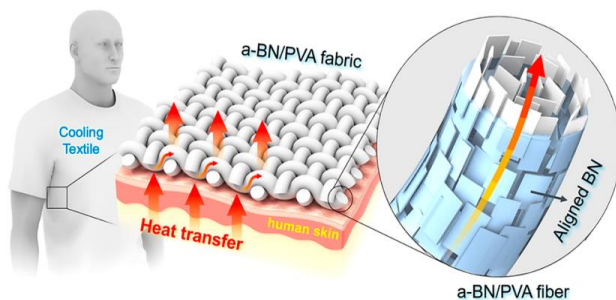
### Sujet 3 : Nanophotonic thermal management (“Heat is the new light”)

Thermal radiation transfer has been a subject of fundamental importance due to its broad application in many engineering areas, such as solar thermophotovoltaics, passive daytime radiative cooling, smart textiles, and so on. From these applications, smart textiles and radiative cooling systems stimulated a particular research interest. The former, due to the ability to regulate the temperature of an individual, rather than controlling the air of a large space. The latter, due to its significant potential for energy saving, owing to the ability to function without power input.

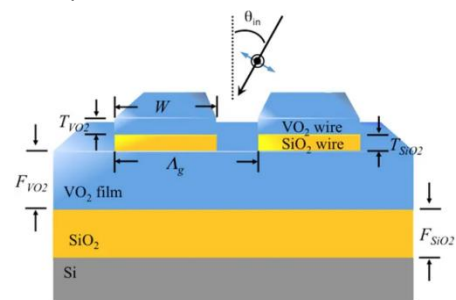
Nanophotonic structures were discovered to be an efficient way to manipulate heat transfer for the use of smart textiles and passive radiative cooling [1,2]. Smart fabrics operate by allowing heat to radiate out through the textile, rather than remaining trapped inside (or the other way around). These designs exploit a frequency selective filtering of light and heat, which is enabled by scattering on micro- to nano-size obstacles. In comparison with traditional textiles, these thermally engineered fabrics can provide entirely passive means of cooling or warming of the human body regardless of the person’s level of physical activity. On the other hand, passive radiative cooling systems mainly operate using a strong infrared emitter layer, which allows strong IR emission in the atmospheric window, while reflecting in the visible range. Using nanophotonics to design the emitter layer is a very efficient and novel approach. By optimizing various parameters of the structure, one can control the emissivity/absorptivity of the cooling system to achieve desirable characteristics. Furthermore, combining nanophotonics with phase change materials, such as vanadium dioxide ( $\text{VO}_2$ ), showed another promising avenue for passive cooling purposes. This type of material also shows potential for smart textiles, especially for fabrics used by firefighters for example.

In order to study these approaches, we will use both photonic and thermal modeling. We follow three steps: First, solving Maxwell’s equations for a specific geometry, using software packages (CAMFR, COMSOL). Second, modeling radiation transfer using textbook analytical methods. Finally, optimizing optical and thermal parameters (emission, absorption, reflection, and transmission) by combining the two models.

a)



b)



**Figure 1. (a) Schematic illustration of a thermal regulation textile. (b) Schematics of passive radiative cooling system based on a phase change material in a nanophotonic structure.**

[1] Tong, J. K. et al. Infrared-transparent visible-opaque fabrics for wearable personal thermal management. *ACS Photonics* 2, 769–778 (2015).

[2] M. Ono, K. Chen, W. Li, and S. Fan, "Self-adaptive radiative cooling based on phase change materials," *Opt. Express* 26, A777-A787 (2018).