

*English version below*

Sujet de thèse :

## Photonique bio-inspirée : de la nature au dispositif

### Domaine et contexte scientifiques :

Les matériaux naturels avec lesquels il est possible de paramétrer la diffusion et la diffraction de la lumière sont nombreux et se retrouvent dans beaucoup d'espèces animales ou végétales. La chitine, la cellulose, la soie, le bois... sont autant de matériaux qui peuvent être assemblés ou s'autoorganiser dans des structures micro et nanométriques aux géométries complexes qui confèrent des propriétés optiques de transparence, de coloration ou encore d'iridescence exceptionnelles dans leur diversité et leurs performances [1]. Les plumes des oiseaux, ou les ailes des insectes sont des exemples phares de ces nanostructures, et une source d'inspiration essentielle pour développer de futures générations de dispositifs photoniques écoresponsables aux performances accrues pour une large variété d'applications comme les éclairages, les revêtements ou encore les capteurs. Cependant, reproduire ces nanostructures et leurs propriétés représente un challenge important du point de vue technologique et de l'ingénierie photonique associée [2].

### Objectifs de la thèse :

Ce travail vise à réaliser des nanostructures photoniques aux propriétés optiques inspirées de nanostructures naturelles, en utilisant les moyens technologiques de l'INL. Dans ce but, l'ingénierie photonique et la réalisation technologique seront menés de pair, afin d'adapter les concepts issus de la nature aux spécificités de nos outils de fabrication. Le premier objectif sera d'acquérir une bonne compréhension des mécanismes photoniques mis en jeu dans quelques exemples clés de nanostructures naturelles, et de s'en inspirer pour concevoir des nanostructures aux propriétés similaires et pouvant être fabriquées à l'INL, en utilisant notamment les technologies alternatives comme la lithographie interférentielle ou la nanoimpression. Les procédés technologiques correspondants seront optimisés et/ou développés pour la réalisation et la validation expérimentale de ces nanostructures, sur des matériaux polymères « classiques » déjà maîtrisés au laboratoire. Le second objectif sera ensuite d'explorer l'impact de biopolymères (chitosan ou cellulose), qui présentent une anisotropie naturelle du fait de leur structure fibreuse [3], sur les propriétés optiques des nanostructures. Les travaux réalisés au cours de cette thèse seront très exploratoires et permettront de mettre en place les briques de base nécessaires à l'essor de la thématique de la photonique bio-inspirée à l'INL.

### Verrous scientifiques :

Ce travail de thèse doit lever deux principaux verrous. D'une part il s'agira de concevoir des nanostructures présentant des propriétés photoniques performantes (contrôle spectral, angulaire et/ou en polarisation de la lumière diffractée ou diffusée), dans des matériaux de bas indice tels que les polymères. D'autre part, les nanostructures proposées, bien qu'inspirées de systèmes naturels tri-dimensionnels autoorganisés, devront être compatibles avec des techniques de fabrication « top-down » qui sont mieux adaptées à la réalisation de structures bi-dimensionnelles. Ces verrous pourront être levés en combinant l'expertise de l'équipe i-Lum dans le domaine des concepts photoniques et de la simulation optique avec le savoir-faire de la plateforme technologique Nanolyon sur les procédés technologiques à fort potentiel tels que la lithographie interférentielle ou la nanoimpression.

**Contributions originales attendues :**

Si les propriétés optiques des nanostructures naturelles ont déjà été largement étudiées et sont bien comprises du point de vue des mécanismes d'interaction lumière-matière mis en jeu, leur réplification expérimentale est un réel enjeu qui requière pour l'instant la mise en place de designs et de procédés technologiques très complexes pour obtenir les performances visées. Le développement de procédés alternatifs originaux permettant de simplifier cette réalisation technologique, tout en reproduisant les propriétés exceptionnelles de transparence ou de coloration observées dans la nature, constituera une avancée majeure dans le domaine du biomimétisme, qui pourrait à terme ouvrir de nouvelles voies pour la mise en œuvre de nanostructures bio-inspirées dans de nombreux domaines d'application. En outre, la démonstration de telles nanostructures dans des matériaux biosourcés sera un jalon crucial pour de futurs développements de dispositifs photoniques dans des filières écoresponsables.

**Profil du candidat recherché :**

Le/la candidat/e doit avoir des bases solides de science des matériaux, et/ou nanophotonique. Il/elle doit aussi avoir des connaissances de technologie polymères, et/ou micro-nanotechnologie, avec la motivation pour mener de front des travaux technologiques, expérimentaux, et de simulation.

**Durée :** 3 ans (10/2023 – 09/2026)

**Lieux :** INL, sites ECL et la Doua

**Date limite de candidature :** 15 mai 2023

**Encadrement / Contact :**

Xavier Letartre : [xavier.letartre@ec-lyon.fr](mailto:xavier.letartre@ec-lyon.fr)

Céline Chevalier : [celine.chevalier@insa-lyon.fr](mailto:celine.chevalier@insa-lyon.fr)

Cécile Jamois : [cecile.jamois@insa-lyon.fr](mailto:cecile.jamois@insa-lyon.fr)

**Références bibliographiques :**

[1] G. Jacucci, *et al.*, Light Management with Natural Materials: From Whiteness to Transparency, Adv. Mater. 2021, 2001215

[2] H. Butt, *et al.*, Morpho Butterfly-Inspired Nanostructures, Adv. Optical Mater. 2016, 497

[3] Aurimas Narkevicius, *et al.*, Revealing the Structural Coloration of Self-Assembled Chitin Nanocrystal Films, Adv. Mater. 2022, 2203300



PhD offer :

## Bio-inspired Photonics: from nature to the device

### Scientific domain and context:

There are numerous natural materials in animal or vegetal species that enable to control light scattering and diffraction. Chitin, cellulose, silk, or wood are among these materials that can be assembled or can self-organize into micro- and nano-sized structures with complex geometries, hence yielding optical properties such as transparence, coloration or iridescence with exceptional performance and diversity [1]. Bird feathers and insect wings are key examples made of these nanostructures, and constitute an essential source of inspiration to develop future generations of eco-friendly photonic devices with increased performance for a large variety of applications like lighting, coatings or sensing. However, there is a real challenge in reproducing these nanostructures and their properties, both from the point of view of technological fabrication and of the related photonic engineering [2].

### Objectives of the PhD thesis:

The proposed project aims at creating photonic nanostructures with optical properties that are inspired from natural nanostructures, using the technological tools at INL. For this purpose, photonic engineering and technological fabrication will be led in close synergy, in order to adapt the nature-derived concepts to the specificity of the fabrication tools. The first objective will be to acquire a good understanding of the underlying photonic mechanisms in a few key examples of natural nanostructures. Drawn from this, new nanostructures will be designed that should yield similar properties while being compatible with their fabrication with INL tools, in particular alternative technologies like laser interference lithography and nanoimprint. The corresponding technological processes will be optimized and/or developed in views of the fabrication and experimental validation of the nanostructures, using « standard » polymer materials already well-known at INL. The second objective will explore the potential impact of biopolymers (chitosan or cellulose) on the optical properties of the nanostructures, as these biomaterials offer a natural anisotropy induced by their fibrous structure [3]. This PhD work will be very exploratory and will enable to set up all the required building blocks for the take-off of bio-inspired photonics at INL.

### Scientific challenges:

The proposed PhD work should tackle two scientific hurdles. The first one will deal with the design of nanostructures yielding high-performance properties (spectral, angular and/or polarization control of scattered or diffracted light) while being made of low refractive index materials like polymers. The second one is technological, and arises from mimicking three-dimensional self-organized natural nanostructures using « top-down » fabrication techniques that are better suited for the fabrication of two-dimensional devices. In order to overcome these two challenges, we propose to combine the expertise of i-Lum team in the areas of photonic concepts and optical simulations with the know-how of Nanolyon technological facilities on highly-promising techniques such as laser interference lithography and nanoimprint.

**Expected original contributions:**

Although the optical properties of natural nanostructures have already been widely studied, and the underlying light-matter interactions are well-understood, their experimental mirroring is a real challenge that still requires to set up highly-complex designs and technological processes in order to obtain the targeted performances. Hence, the development of alternative original processes enabling, at the same time, to simplify the technological fabrication and to replicate the exceptional transparency and coloration properties that can be observed in nature, will constitute a major scientific advance in the area of biomimeticism. This could pave new ways for the implementation of bio-inspired nanostructures in several domains of application. Additionally, the demonstration of such nanostructures in biomaterials will be a crucial milestone for the future developments of eco-friendly photonic devices.

**Expected profile of the PhD candidate:**

The PhD candidate must have an engineering or master degree with a strong background in material science and/or nanophotonics. He/she should also have some knowledge about polymer technologies and/or micro-nanotechnologies, with the motivation to simultaneously lead simulation works as well as technological and experimental works.

**Duration:** 3 years (10/2023 – 09/2026)

**Locations:** INL, ECL and la Doua campus

**Candidature deadline:** 15<sup>th</sup> of May 2023

**Supervision / Contact :**

Xavier Letartre : [xavier.letartre@ec-lyon.fr](mailto:xavier.letartre@ec-lyon.fr)

Céline Chevalier : [celine.chevalier@insa-lyon.fr](mailto:celine.chevalier@insa-lyon.fr)

Cécile Jamois : [cecile.jamois@insa-lyon.fr](mailto:cecile.jamois@insa-lyon.fr)

**Bibliographic references:**

[1] G. Jacucci, *et al.*, Light Management with Natural Materials: From Whiteness to Transparency, *Adv. Mater.* 2021, 2001215

[2] H. Butt, *et al.*, Morpho Butterfly-Inspired Nanostructures, *Adv. Optical Mater.* 2016, 497

[3] Aurimas Narkevicius, *et al.*, Revealing the Structural Coloration of Self-Assembled Chitin Nanocrystal Films, *Adv. Mater.* 2022, 2203300

