

## Sujet de thèse

### École doctorale EEA de Lyon

*Merci de compléter l'ensemble des rubriques et de lire les notes de bas de page.*

<b>Etablissement d'inscription :</b> Ecole Centrale de Lyon <sup>1</sup>
<b>École doctorale :</b> ED 160 EEA de Lyon dirigée par Mr Delachartre Philippe
<b>Intitulé du doctorat :</b> Electronique, Nanotechnologie, Optique et Laser <sup>2</sup>
<b>Sujet de la thèse :</b> Photonique bio-inspirée : de la nature au dispositif
<b>Unité de recherche :</b> INL <sup>3</sup> , dirigée par Bruno Masenelli
<b>Directeur/trice de thèse :</b> Mr LETARTRE Xavier
<b>Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant)<sup>4</sup> :</b>
<b>Co-directeur/trice de thèse en entreprise (le cas échéant) :</b>

<sup>1</sup> A impérativement choisir dans la liste suivante : Ecole Centrale de Lyon, INSA de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1

<sup>2</sup> A impérativement choisir dans la liste suivante : Automatique // Electronique, Nanotechnologie, Optique et Laser // Génie Electrique // Ingénierie pour le vivant Traitement du signal et de l'Image)

<sup>3</sup> A impérativement choisir dans la liste suivante : Laboratoire Ampère, CITI, CREATIS, INL, LAGEP, LGEF

<sup>4</sup> Un/une co-encadrant-e n'est pas nécessairement co-directeur/trice de thèse puisque pour remplir ce rôle, il est nécessaire d'être habilité à diriger des recherches (pour plus de précision, voir le règlement intérieur de l'ED EEA, section 3.

## **Collaboration(s)/partenariat(s) extérieur(s) éventuels<sup>5</sup> :**

### **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].

**Mots-clés :** nanostructures photoniques, (bio)polymères, nanostructuration

### **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.

---

<sup>5</sup> Hors contrats doctoraux fléchés UMI par l'établissement, les sujets de thèse en cotutelle ne sont pas acceptés.

### **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.

### **Programme de recherche et démarche scientifique proposée :**

Le travail envisagé peut être divisé en trois phases principales :

-Phase 1 (année 1) : Cette première phase de prise en main générale du sujet sera menée à travers deux axes de travail complémentaires, d'une part une prise en main des outils et méthodologies (simulation électromagnétique, micro-nanostructuration, caractérisation optique), et d'autre part une étude bibliographique poussée sur les nanostructures photoniques naturelles visant à comprendre les mécanismes optiques sous-jacents. Ces deux axes seront menés en parallèle et permettront d'identifier les nanostructures les plus prometteuses vis-à-vis des outils technologiques de l'INL.

-Phase 2 (année 2) : Cette deuxième phase portera sur la conception et la réalisation de nanostructures bio-inspirées via le développement des procédés de fabrication. L'étude des propriétés optiques obtenues permettra une première validation expérimentale.

-Phase 3 (années 2 et 3) : Cette dernière phase visera l'exploration du potentiel apporté par les matériaux polymères biosourcés, tels que le chitosan ou la cellulose. Au-delà des aspects de durabilité, ces polymères naturels présentent l'intérêt d'être constitués de nanofibres et peuvent présenter, dans certaines conditions de fabrication, des propriétés d'autoassemblage pouvant fortement influencer l'anisotropie du matériau et les propriétés optiques.

**Encadrement scientifique :**

- **Description du comité d'encadrement :** [à compléter avec le rôle dans l'encadrement scientifique (en termes de compétences scientifiques, etc.) et le pourcentage d'implication du directeur de thèse <sup>6</sup> et des autres membres du comité<sup>7</sup> ]

Nom Prénom	Labo / Equipe	Compétences scientifiques	Taux d'encadrement %
Mr LETARTRE Xavier	INL i-lum	Concepts nanophotoniques, design, simulation.	35
Mme chevalier céline	INL i-lum	Lithographie interférentielle, nanoimpression	35
Mme jamois cécile	INL i-lum	Micro-nanostructuration pour la nanophotonique, caractérisation	30

- Le comité d'évaluation de l'HCERES ayant demandé à l'école doctorale de limiter la taille du comité d'encadrement à deux membres (directeur de thèse compris), il est impératif de ne proposer des comités d'encadrement de taille plus importante que si cela est absolument nécessaire<sup>8</sup> et **de le justifier soigneusement.**

L'implication des trois acteurs mentionnés plus haut est nécessaire dans la mesure où ils maîtrisent des compétences complémentaires : modélisation semi-analytique, conception et simulation électromagnétique pour Xavier Letartre ; techniques de lithographie et de nanoimpression pour Céline Chevalier ; micro-nanostructuration pour la nanophotonique et caractérisation structurale et optique pour Cécile Jamois. Jean-Louis Leclercq et Yann Chevolut, tous deux chercheurs CNRS

<sup>6</sup> Le directeur de thèse doit être un HdR rattaché à l'ED EEA ou en passe de le devenir avant juin de l'année en cours ou bénéficier d'une dérogation du Conseil Scientifique lors du dépôt du sujet de thèse.

<sup>7</sup> Dans le cas d'un comité d'encadrement réparti sur plusieurs établissements, la plus grande partie de l'encadrement est effectuée par des membres de l'établissement. Si l'encadrement de la thèse implique des membres hors de l'ED EEA, la part de l'encadrement des membres ED doit être très supérieure à 50%.

<sup>8</sup> Un certain nombre de commissions type CNU ne reconnaissent un co-encadrement qu'au-delà d'un certain pourcentage. Souvent l'encadrement est considéré comme effectif si > 30%.

à l'INL, participeront également au projet pour apporter leur expertise sur les matériaux biosourcés.

- **Intégration au sein du (ou des) laboratoire(s)** (Département/Equipe(s) impliquée(s)) (**pourcentage du temps travail au sein de ce ou ces laboratoire(s)**) :

Le/la doctorant.e sera intégré.e au sein de l'équipe i-Lum, Ingénierie et Conversion de Lumière de l'INL. Il/elle sera principalement basé.e sur le site de l'ECL du laboratoire, mais sera également amené.e à travailler sur les outils technologiques de la Doua, le travail technologique étant réalisé sur la plateforme Nanolyon.

**Financement de la thèse :** Contrat doctoral de l'établissement d'inscription

**Profil du candidat recherché (prérequis) :**

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.

**Objectifs de valorisation des travaux de recherche :**

Publications scientifiques, présentations dans des conférences de référence.

**Compétences qui seront développées au cours du doctorat :**

Conception et simulation électro-magnétique. Micro et nanotechnologies (dépôt par centrifugation, lithographie, nanoimpression, etc). Caractérisation optique, photonique, résolue spectralement, angulairement, caractérisation structurale (MEB, AFM...).

**Perspectives professionnelles après le doctorat :**

Ingénieur de recherche ou chercheur en R&D en milieu industriel, en laboratoire académique, etc.

**Références bibliographiques sur le sujet de thèse :**

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



**EEA**  
ÉLECTRONIQUE  
ÉLECTROTECHNIQUE  
ET AUTOMATIQUE  
UNIVERSITÉ DE LYON

[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