

**Sujet de thèse**  
**École doctorale Matériaux 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
<b>École doctorale :</b> ED 134 Matériaux de Lyon dirigée par Stéphane Benayoun
<b>Intitulé du doctorat :</b> Matériaux
<b>Sujet de la thèse :</b> Ingénierie phononique et photonique de nanofils uniques via le contrôle de leurs morphologies.
<b>Unité de recherche :</b> Institut des Nanotechnologies de Lyon, dirigé par Masenelli Bruno
<b>Directeur/trice de thèse :</b> Mr. José Penuelas
<b>Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant)<sup>1</sup> :</b> Mr. Chauvin Nicolas

---

<sup>1</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>2</sup>** : Une collaboration forte avec le CETHIL sera poursuivie dans cette thèse. Il s'agira de caractériser et modéliser les propriétés thermiques des nanofils à modulation périodique du diamètre.

**Domaine et contexte scientifiques** : Le contrôle des interactions lumière / matières, du transport de charges ou encore du transport thermique à l'échelle nanométrique est un enjeu majeur de la physique de la matière. Pour cela, la texturation périodique à l'échelle du nanomètre de matériaux est un moyen simple permettant de modifier drastiquement leurs propriétés physiques. Ainsi, ces dernières années une large variété d'effets ont été observés comme le filtrage ou la rectification phononique pour le transport thermique ou encore des états BICs ou topologiquement non triviaux pour l'optique. En raison de leur géométrie unidimensionnelle les nanofils sont des candidats de choix pour réaliser et étudier ces phénomènes, tout en permettant une intégration sur plateforme silicium.

**Mots-clefs** : Nanofils, semiconducteurs, photonique, phononique, épitaxie

**Objectifs de la thèse** : L'objectif de la thèse est de démontrer le potentiel des nanofils semiconducteurs III-V comme matériau de base pour la réalisation de cristaux phononiques et photoniques. Il s'agira en particulier de démontrer l'efficacité d'une méthode de fabrication originale mêlant croissance épitaxiale et gravure sélective. La méthode de fabrication permettra l'étude fondamentale de différents phénomènes physiques (rectification thermique et piégeage de la lumière notamment) et la réalisation de dispositifs (générateur thermoélectrique et laser).

**Verrous scientifiques** : Dans ce contexte la fabrication de structure unidimensionnelle à modulation périodique de l'indice optique, ou encore du coefficient de conduction thermique est un verrou majeur. Une approche originale consiste en la modulation périodique du diamètre de nanofils. Cela peut être réalisé par une méthode récemment développée par Christesen et al. [1] mêlant croissance épitaxiale et gravure sélective sur des nanofils de Silicium [1, 2, 3].

**Contributions originales attendues** : La réalisation de nanofils III-V à modulation périodique de diamètre n'a jamais été réalisée et ouvrirait un vaste champ de recherche allant de l'étude au contrôle des mécanismes de fabrication, au développement de propriétés optiques et thermiques contrôlées. Les matériaux III-V présente l'avantage de posséder un gap direct et une excellente tunabilité via la modulation de leur composition.

Il s'agira dans un premier temps de réaliser des structures à diamètre contrôlée par croissance puis gravure sélective. Dans un deuxième temps les propriétés physiques seront étudiées. L'équipe matériaux à l'INL possède une vaste expérience de la croissance de nanofils semiconducteurs III-V ainsi que la fabrication de dispositifs associés et leur caractérisation.

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

---

<sup>2</sup> Hors contrats doctoraux fléchés UMI par l'établissement, les sujets de thèse en cotutelle ne sont pas acceptés.

La thèse comporte trois volets principaux : (i) modélisation et design, (ii) croissance et fabrication des nanostructures et (iii) caractérisation optique et thermique des nanostructures.

La modélisation des propriétés optiques aura pour but d'établir une correspondance claire entre morphologie et propriétés. Concernant les propriétés optiques il s'agira de déterminer les tailles caractéristiques permettant le meilleur filtrage de phonon pour la thermoélectricité notamment.

La fabrication des nanostructures sera réalisée par croissance Vapeur-Liquide-Solide par épitaxie par jets moléculaires, en variant le dopage et/ou la composition chimique des nanofils durant leur croissance. Ainsi une étape de gravure sélective viendra moduler périodiquement le diamètre des nanofils comme réalisé dans la référence [2] sur nanofils de silicium.

Enfin, les mesures de photoluminescence et de transport thermique permettront d'établir des relations morphologies / propriétés claire à la fois en photonique et en phononique.

#### 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>3</sup> et des autres membres du comité<sup>4</sup> ]

Nom Prénom	Labo / Equipe	Compétences scientifiques	Taux d'encadrement %
Penuelas José	INL / Matériaux	Croissance et caractérisation des nanostructures	50%
Chauvin Nicolas	INL / Matériaux	Propriétés optiques / photonique des nanostructures	50%

- 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>5</sup> et **de le justifier soigneusement.** [à compléter si plus de deux membres]
- **Intégration au sein du (ou des) laboratoire(s)** (Département/Equipe(s) impliquée(s)) (**pourcentage du temps travail au sein de ce ou ces**

<sup>3</sup> Le directeur de thèse doit être un HdR rattaché à l'ED EEA ou en passe de le devenir avant juin 2019 ou bénéficier d'une dérogation du Conseil Scientifique lors du dépôt du sujet de thèse.

<sup>4</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>5</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%.

**laboratoire(s)** : Le doctorant sera intégré à l'équipe *Matériaux Fonctionnels et Nanostructures* de l'INL. Les outils de croissance et fabrication sont entièrement disponibles au laboratoire principalement sur le site de l'Ecole Centrale de Lyon via la centrale technologique *NanoLyon*. Les aspects caractérisation / modélisation optique seront entièrement étudiés à l'INL, et les aspects thermiques en collaboration avec le CETHIL.

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

**Profil du candidat recherché (prérequis)** : Le candidat devra avoir un diplôme de niveau master ou un diplôme d'École d'ingénieur et devra impérativement posséder de solides connaissances en physique des matériaux, physique des semi-conducteurs et nanophotonique. Par ailleurs, le candidat devra à la fois utiliser des outils expérimentaux complexes et des outils de modélisation. Un goût pour le travail expérimental est impératif. Une première expérience dans le domaine de l'épitaxie par jets moléculaire sera un atout.

Le candidat devra posséder une bonne maîtrise de l'anglais et de la communication scientifique.

**Objectifs de valorisation des travaux de recherche** : Les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse feront l'objet de publications dans des revues internationales à comité de lecture et seront présentés dans des conférences internationales. Une valorisation des travaux par dépôt de brevets sera réalisée si cela nous semble pertinent. **Compétences qui seront développées au cours du doctorat** : Le candidat développera de solides compétences dans le domaine des matériaux semiconducteurs (épitaxie par jets moléculaires, procédés de salle blanche) ainsi que dans la mesure des propriétés optiques et phononiques de nano-objets.

Le candidat développera par ailleurs des compétences dans le domaine de la communication scientifique (publications dans des revues à comité de lecture, participation à des conférences sous forme de poster et de présentation orale).

**Perspectives professionnelles après le doctorat** : La formation suivie par le doctorant durant sa thèse lui permettra de candidater à des postes académiques (post-doctorat, ingénieur de recherche, maître de conférences, chargé de recherche) dans le domaine des matériaux, de la photonique ou phononique. Par ailleurs, le candidat pourra également s'orienter vers une carrière dans le monde industriel, notamment dans un service de recherche et développement (ST-Microelectronics, IBM, etc.)

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

- [1] J. D. Christesen et al. J. Phys. Chem. Lett. (2016) <https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.5b0244>
- [2] S. Kim *et al.* Acc. Chem. Res. 52, 3511 (2019) <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.9b00515>
- [3] J. P. Custer *et al.* Science 368, 177 (2020) <https://doi.org/10.1126/science.aay8663>

