

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Croissance heteroépitaxiale par CVD de films 2D de Nitrure de bore optimisés pour dispositifs optoélectroniques**

Référence : **MAS-DMAS/2024-26**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse : Novembre 2024**

**Date limite de candidature : Mai 2024**

### Mots clés

Matériaux 2D, hétérostructures van der Waals, CVD

### Profil et compétences recherchées

Le candidat aura une formation solide en nanosciences, physique et chimie des matériaux ainsi qu'en caractérisation par imagerie optique, électronique et spectroscopies optiques. Une forte motivation pour la science expérimentale ainsi qu'un goût prononcé pour le contact en équipe, au laboratoire et à l'extérieur sont attendus. Les échanges scientifiques, en particulier dans le cadre de structures de collaborations auxquelles participe le LEM (groupe de recherche « nano », projets ANR et européen), seront encouragés

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Les matériaux 2D et leurs hétérostructures représentent une nouvelle famille de matériaux qui comprend outre le graphène qui est conducteur, des dichalcogénures de métaux de transition, le phosphore noir qui sont des semi-conducteurs et le nitrure de bore hexagonal (hBN) qui est un semi-conducteur à grand gap. Dans ce contexte, le hBN joue un rôle particulier et primordial. Utilisé en substrat ou en couche encapsulante d'un autre matériau 2D, il a été démontré exalter ses propriétés électroniques ou optiques. Cependant, jusqu'à présent, ces effets ont été démontrés avec des dispositifs fabriqués à partir de feuillets exfoliés mécaniquement. Pour aller au-delà de cette démonstration de principe et pour que ces approches puissent déboucher, il est impératif de savoir réaliser et maîtriser la synthèse de ces matériaux, à bas coût et à grande échelle, de façon à ce qu'ils soient intégrables dans des dispositifs tout en préservant leurs propriétés.

L'objectif général de la thèse est de développer des moyens de synthèse optimisés de films continus haute qualité à l'échelle centimétrique de nitrure de bore et d'hétérostructures à base de graphène et de BN utilisant la technique de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) et de comparer leurs qualités structurales et leurs propriétés à celles d'hétérostructures obtenues à partir des techniques d'exfoliation dans des dispositifs.

En ce qui concerne la synthèse par CVD, il s'agira d'optimiser un réacteur de synthèse utilisant la technique CVD récemment implanté à l'ONERA en collaboration avec l'équipementier Annealsys et développé pour la synthèse heteroépitaxiale de feuillets de h-BN en nombre et en qualité contrôlés sur des substrats monocristallins métalliques à base de nickel. La structure des films et des feuillets sera caractérisée par un faisceau de techniques, telles que microscopie électronique en balayage (MEB), microscopie à force atomique (AFM), microscopie électronique en transmission (MET) et de spectroscopie optique (Raman, Photoluminescence). Ces études impliqueront de maîtriser le report des films sur les substrats adaptés à la caractérisation en utilisant et adaptant les techniques de transfert en voie humide ou sèche déjà mises en place. Un des enjeux sera de comprendre les mécanismes de nucléation et croissance des couches atomiques de BN pour en maîtriser et contrôler le nombre pendant le processus de synthèse.

Un des enjeux sera ensuite d'étudier les potentialités des films de hBN comme substrat ou couche encapsulante ce qui sera testé en réalisant des dispositifs de capteurs chimiques développés par le DPHY à l'Onera et optoélectroniques développés par le laboratoire de physique (ENS Paris). On comparera le graphène déposé ou synthétisé directement sur le substrat BN. Les signatures spectroscopiques serviront de guide pour optimiser la synthèse de feuillets de haute qualité, utilisables dans ces dispositifs. On cherchera en particulier à corrélérer ces signatures optiques et les propriétés du graphène déposé ou synthétisés sur ces supports par CVD, l'objectif à terme étant de développer une véritable ingénierie de substrat intelligent à base de BN.

Une originalité de ce travail consistera à coupler grâce à un réseau de collaborations, différentes techniques expérimentales (microscopie électronique, cathodoluminescence, spectroscopies Raman...) pour aborder cette problématique.

#### **Collaborations envisagées**

Laboratoire de physique (ENS, Paris), UMR PHY (Thales), I. Néel (Grenoble)

#### **Laboratoire d'accueil à l'ONERA**

Département : LEM (DMAS) et CMT (DPHY)

Lieu (centre ONERA) : Chatillon

**Contact** : Annick Loiseau / Amandine Andrieux

Tél. : 0146734453

Email :

[annick.loiseau@onera.fr](mailto:annick.loiseau@onera.fr); [amandine.andrieux@onera.fr](mailto:amandine.andrieux@onera.fr)

#### **Directeur de thèse**

Nom : Annick LOISEAU

Laboratoire : LEM

Tél. : 0146734453

Email : [annick.loiseau@onera.fr](mailto:annick.loiseau@onera.fr)

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>