

# Avis de soutenance

Domitille Gérard

## Intégration et contrôle cohérent de centres colorés dans le nitrate de bore hexagonal

Thèse préparée au GEMaC, dans l'équipe Nanophotonique quantique, sous la direction de Aymeric Delteil et Jean-Pierre Hermier

Soutenance prévue le **lundi 15 décembre à 14h00**

Lieu : UFR des sciences 45, avenue des États-Unis 78 035 Versailles

Salle : Amphithéâtre E, bâtiment Descartes

### Composition du jury de thèse :

Xavier MARIE	INSA Toulouse	Rapporteur
Valia VOLIOTIS	Sorbonne Université	Rapporteure
Gérard COLAS DES FRANCS	Université de Bourgogne Europe	Examinateur
Loïc RONDIN	Université Paris-Saclay	Examinateur

**Mots-clés :** centres colorés, photons uniques, photonique quantique, nitrate de bore hexagonal, cohérence temporelle, excitation résonante

### Résumé de la thèse :

Les centres colorés dans les matériaux semi-conducteurs sont des défauts cristallins optiquement actifs qui se comportent comme des atomes artificiels, susceptibles d'émettre des photons uniques à la demande. La caractérisation et l'optimisation de leurs propriétés optiques est fondamentale pour leur utilisation comme sources de qubits photoniques pour l'informatique quantique, ou en tant que capteurs quantiques.

Les émetteurs quantiques dans les matériaux bidimensionnels suscitent un intérêt particulier. En effet, ces matériaux de van der Waals permettent de réaliser des hétérostructures complexes sans contraintes d'accord de maille, ce qui offre de nombreuses possibilités nouvelles pour la conception de dispositifs photoniques ou optoélectroniques jusqu'à l'échelle d'une monocouche. De nombreuses familles de centres colorés ont été identifiées dans le nitrate de bore hexagonal (hBN), un matériau 2D à large bande interdite. On s'intéresse dans cette thèse à la famille des centres bleus émettant à 436 nm, qui combine des propriétés optiques avantageuses avec une technique d'activation déterministe, favorable à l'intégration dans des nanostructures photoniques.

En appliquant une technique de transfert sec de flakes de hBN d'un substrat diélectrique vers un substrat métallique, nous avons pu modifier de façon contrôlée l'environnement électromagnétique de plusieurs centres bleus. Cela a eu pour effet de modifier leur dynamique d'émission, ainsi que l'efficacité d'extraction de leur photoluminescence. En comparant les mesures aux calculs théoriques en FDTD, nous avons

pu évaluer l'efficacité quantique des émetteurs testés et leur position verticale dans l'épaisseur de hBN.

Nous avons ensuite démontré la possibilité d'intégrer des centres bleus dans des guides d'onde monolithique en hBN, suivant une approche déterministe. Les structures sont fabriquées à partir de flakes de hBN selon un protocole de lithographie électronique et de gravure aux ions réactifs, suivie de l'irradiation électronique pour l'activation des émetteurs. Les caractérisations expérimentales montrent le couplage et la propagation de photons uniques dans le guide.

La stabilité spectrale de l'émission est une propriété importante pour des applications dans les technologies quantiques. Les centres bleus, comme la plupart des émetteurs dans l'état solide, subissent de la diffusion spectrale. Pour caractériser ce phénomène, on peut employer une excitation résonante, qui permet de convertir les variations de longueur d'onde en fluctuations d'intensité. Nous avons ainsi mis en évidence une compétition entre un élargissement spectral inhomogène de la raie d'émission, causé par la diffusion spectrale, et un élargissement homogène de la réponse lorentzienne de l'émetteur, causé par la puissance d'excitation. Lorsque la réponse homogène devient plus large que la distribution inhomogène, l'émetteur n'est plus affecté par la diffusion spectrale.

Enfin, nous avons développé un dispositif expérimental permettant d'étudier la fluorescence de résonance, en collectant les photons de la raie à zéro phonon, de même longueur d'onde que le laser. Nous avons mis en place un schéma de polarisation croisée pour supprimer le laser résonant réfléchi de la voie de détection. Nous avons alors pu démontrer la cohérence de la fluorescence de résonance grâce à des mesures de spectroscopie de haute résolution et d'indiscernabilité, ainsi que la possibilité d'un contrôle cohérent de l'émetteur.

Les travaux menés au cours de cette thèse apportent une connaissance approfondie des centres bleus. De plus, les structures réalisées démontrent le potentiel de ces émetteurs pour le développement de dispositifs intégrés destinés au calcul quantique.