

Sujet thèse / PhD subject 2025

Titre Thèse	Monofeuillets de dichalcogénure de métaux de transition (TMDC) colloïdaux comme émetteurs quantiques accordable et durable.	
PhD Title	Colloidal TMDCs monolayers as tunable and sustainable quantum emitters.	
(Co)-Directeur	BIADALA Louis	E-mail : louis.biadala@iemn.fr
(Co)-Directeur		E-mail :
(Co)-Encadrant (s)		E-mail :
Laboratoire	IEMN	Web :
Groupe(s)	Physique	Web :
Projet phare principal		
Demande de fléchage IEMN ? (Energie / Nanocaractérisation / Technologies Neuromorphiques)	Oui ./ Non : Oui Flagship choisi : Nanocaractérisation	
Demande de labellisation Université de Lille (GREAL, labellisée)	Oui / Non : OUI Label :	
Financement acquis Oui ☐ Non ☒ Partiel ☐	Si acquis (total ou partiel), préciser : (contrat, organisme, Université étrangère, ,) :	
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille ☒ Centrale Lille ☐ JUNIA ☐
	Région ou Autre ☒ Préciser :	Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, et si acquis ou pas) :

A. Résumé

L'émergence des technologies quantiques a entraîné une course aux émetteurs « parfaits ». Le point de départ de cette perfection réside dans la possibilité pour les émetteurs de produire des flux de photons uniques indiscernables ou des paires de photons intriqués en polarisation. Les meilleurs émetteurs actuels sont obtenus par épitaxie par jet moléculaire (processus chronophages, coûteux, difficilement reproductible). D'autres émetteurs émergents, obtenus par voie chimique (rapide, versatile et compatible avec la production de masse) tels que les nanocristaux de pérovskite (CsPbBr_3), ont récemment montré des propriétés remarquables. Néanmoins la synthèse de ces particules implique l'utilisation de plomb, de césium,... et leurs stabilités ainsi que les gammes de longueurs d'onde accessibles restent très limitées.

Dans ce projet de thèse, nous souhaitons explorer la possibilité d'obtenir des sources de photons uniques indiscernables accordables à partir de monocouches atomiquement minces de dichalcogénures de métaux de transition (TMDC) (WS_2 , MoS_2 ,...) obtenus par voie chimique. Ces matériaux utilisent des éléments non toxiques, ont une abondance naturelle importante en France et en Europe ainsi qu'un fort potentiel identifié dans le domaine quantique. Cette approche ascendante (bottom-up) par voie chimique colloïdale permettra de lever certains des verrous technologiques les plus importants dans l'utilisation des matériaux (TMDC) qui sont i) la production en grande quantité de monofeuillets de faibles dimensions ($< 100 \times 100 \text{ nm}^2$) afin d'exalter le confinement quantique, ii) la possibilité de modifier leurs paramètres structuraux (taille, forme, autoassemblage) ou le dopage *via* la croissance et iii) la croissance contrôlée d'hétérostructures ou de superstructures auto-assemblées.

Ce potentiel applicatif nécessite d'établir le lien, à ce jour inexploré, entre les propriétés structurales et les propriétés optiques et électroniques des TMDC en régime de confinement latéral fort. La compréhension des mécanismes physiques régissant les propriétés de ces nouveaux matériaux nécessite une étude approfondie des propriétés électroniques et (magnéto)-optiques à températures cryogéniques. Ces études seront réalisées sur la plateforme champ proche du laboratoire de l'IEMN. Elles impliqueront l'utilisation de techniques de spectroscopie optique confocale à température cryogénique et sous champ magnétique intenses ainsi que de spectroscopie électronique par effet tunnel.

Outre des aspects fondamentaux sur les mécanismes physiques en jeu en régime de fort confinement latéral dans les TMDCs, ce projet vise à stimuler le développement de nanoparticules constituées d'éléments non toxiques avec

une abondance naturelle importante en France et en Europe et ayant un fort potentiel applicatif en optoélectronique comme émetteurs dans les afficheurs ou en technologies quantiques comme source de photon uniques.

Abstract :

The emergence of quantum technologies has led to a race for 'perfect' emitters. The starting point for this perfection lies in the ability of the emitters to produce streams of indistinguishable single photons or polarisation-entangled pairs of photons. The best current emitters are obtained by molecular jet epitaxy (a time-consuming, costly process that is difficult to reproduce). Other emerging emitters, obtained chemically (fast, versatile and compatible with mass production), such as perovskite nanocrystals (CsPbBr₃), have recently shown remarkable properties. However, the synthesis of these particles involves the use of lead, caesium, etc., and their stability and accessible wavelength ranges remain very limited.

In this thesis project, we want to explore the possibility of obtaining tunable indistinguishable single photon sources from atomically thin monolayers of transition metal dichalcogenides (TMDC) (WS₂, MoS₂, etc.) obtained by wet chemical synthesis. These materials use non-toxic elements, have a high natural abundance in France and Europe, and have been identified as having strong potential in the quantum field. This bottom-up approach using colloidal chemistry will make it possible to remove some of the most important technological barriers to the use of these materials (TMDC), which are i) the large-scale production of small monosheets (< 100x100 nm²) in order to exalt quantum confinement, ii) the possibility of modifying their structural parameters (size, shape, self-assembly) or doping via growth, and iii) the controlled growth of heterostructures or self-assembled superstructures.

This application potential requires us to establish the link, as yet unexplored, between the structural properties and the optical and electronic properties of TMDCs under strong lateral confinement. Understanding the physical mechanisms governing the properties of these new materials requires an in-depth study of the electronic and (magneto)-optical properties at cryogenic temperatures. These studies will be carried out on the IEMN laboratory's near-field platform. They will involve the use of confocal optical spectroscopy techniques at cryogenic temperatures and under intense magnetic fields, as well as electronic tunneling spectroscopy.

In addition to the fundamental aspects of the physical mechanisms at play in TMDCs under strong lateral confinement, this project aims to stimulate the development of nanoparticles made up of non-toxic elements with a high natural abundance in France and Europe and with strong application potential in optoelectronics as emitters in displays or in quantum technologies as sources of single photons.

1. Une liste de 10 publications maximum portant directement sur le sujet en soulignant celles du laboratoire. (*indiqué en bleu*)

- [1] P. Senellart, G. Solomon, and A. White, Nat. Nanotechnol. 2017 1211 **12**, 1026 (2017).
- [2] A. E. K. Kaplan, C. J. Krajewska, A. H. Proppe, W. Sun, T. Sverko, D. B. Berkinsky, H. Utzat, and M. G. Bawendi, Nat. Photonics 2023 179 **17**, 775 (2023).
- [3] [P. Tamarat, L. Hou, J.-B. Trebbia, A. Swarnkar, L. Biadala, Y. Louyer, M. I. Bodnarchuk, M. V. Kovalenko, J. Even, and B. Lounis, Nat. Commun. **11**, 6001 \(2020\).](#)
- [4] J. C. Drawer, V. N. Mitryakhin, H. Shan, S. Stephan, M. Gittinger, L. Lackner, B. Han, G. Leibelng, F. Eilenberger, R. Banerjee, S. Tongay, K. Watanabe, T. Taniguchi, C. Lienau, M. Silies, C. Anton-Solanas, M. Esmann, and C. Schneider, Nano Lett. **23**, 8683 (2023).
- [5] T. P. Darlington, C. Carmesin, M. Florian, E. Yanev, O. Ajayi, J. Ardelean, D. A. Rhodes, A. Ghiotto, A. Krayev, K. Watanabe, T. Taniguchi, J. W. Kysar, A. N. Pasupathy, J. C. Hone, F. Jahnke, N. J. Borys, and P. J. Schuck, Nat. Nanotechnol. **15**, 854 (2020).
- [6] [N. Peric, Y. Lambert, S. Singh, A. H. Khan, N. A. F. Vergel, D. Deresmes, M. Berthe, Z. Hens, I. Moreels, C. Delerue, B. Grandidier, and L. Biadala, Nano Lett. **21**, 1702 \(2021\).](#)
- [7] A. Shahmanesh, A. Hubley, P. Bauer, Y. Guyot, B. Abecassis, and B. Mahler, ChemRxiv (2023).