

Sujet thèse / PhD subject 2024

Titre Thèse	Bandes topologiques dans des systèmes complexes de boîtes quantiques III-V	
(Co)-Directeur	Ludovic Desplanque	E-mail : ludovic.desplanque@univ-lille.fr
(Co)-Directeur		E-mail :
(Co)-Encadrant (s)	Pierre Capiod	E-mail : pierre.capiod@junia.com
Laboratoire	IEMN	Web : www.iemn.fr
Groupe(s)	EPIPHY / PHYSIQUE	Web : https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/epiphy https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/physique
Projet phare (principal)		
Demande thèse labellisée IEMN	Oui / Non	
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région – Autre <input checked="" type="checkbox"/> Préciser :	Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, acquis ou pas) : ANR JCJC COLORES (Pierre Capiod) en cours
Financement acquis <input type="checkbox"/> Financement partiellement acquis <input type="checkbox"/>	Contrats de Recherche <input type="checkbox"/> Préciser :	Autre <input type="checkbox"/> Préciser :

Résumé du sujet :

La résolution de certains problèmes complexes nécessite des capacités de calcul que pourraient offrir des ordinateurs quantiques, mais ces derniers en sont seulement au stade du développement et n'ont pas encore la puissance nécessaire pour y parvenir. Une alternative pourrait être de substituer à l'algorithme quantique, une plateforme physique présentant les caractéristiques du problème à résoudre. La mesure des propriétés du système permet ainsi de résoudre le problème. On parle alors de simulateur quantique.

Par exemple, la résolution de l'état de plus basse énergie de systèmes d'atomes et de molécules est ardue, l'interaction entre les nombreux fermions du système empêchant un calcul classique des solutions exactes des hamiltoniens fermioniques en interaction. Des simulateurs quantiques, destinés à l'étude expérimentale de tels hamiltoniens, pourraient être obtenus en fabricant des réseaux artificiels à base de boîtes quantiques couplées [1]. La réalisation de tels objets suppose de « façonner » la matière à des échelles suffisamment petites pour confiner les électrons et les organiser sur des états d'énergie discrets. Jusqu'à présent, la plupart des réseaux reposent sur la définition de boîtes quantiques dans un gaz bidimensionnel d'électrons par contrôle électrostatique. Cette thèse propose une alternative pour fabriquer de vraies boîtes en poussant aux limites les techniques de croissance épitaxiale et de lithographie.

Avec des semiconducteurs III-V à faible masse effective comme InGaAs, InAs ou InSb, les dimensions caractéristiques des boîtes sont de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres. En utilisant les méthodes de lithographies les plus avancées et l'épitaxie par jets moléculaires pour la croissance sélective des boîtes quantiques semiconductrices, il est aujourd'hui possible d'entrevoir la réalisation pratique de tels systèmes, comme le montrent les résultats récents obtenus à l'IEMN [2, 3]. Des géométries complexes avec des propriétés électroniques topologiques sont envisageables avec cette méthode. En alliant topologie et contrôle électrostatiques des porteurs dans les bandes électroniques, des phases exotiques de la matière (magnétisme, supraconductivité, isolant de Mott...) sont susceptibles d'émerger.

Le travail de thèse proposé comportera deux parties : d'une part la réalisation technologique des systèmes de boîtes quantiques couplées en utilisant les ressources de la centrale de micro et nanofabrication de l'IEMN (lithographie électronique, épitaxie par jets moléculaires...) et les outils de caractérisation notamment par sondes locales (AFM, STM); d'autre part, la simulation numérique de ces systèmes à partir de modèles par liaisons fortes de la structure électronique des boîtes quantiques et des systèmes topologiques, qui permettra de confronter les résultats expérimentaux aux calculs. Cette thèse permettra au candidat d'acquérir une bonne maîtrise des techniques de croissance, champ proche, ultravide et cryogénie. Le doctorant sera encadré par les équipes de chercheurs et d'ingénieurs des groupes Epiphy et Physique de l'IEMN et bénéficiera d'un environnement de qualité via la centrale de technologie de l'institut.

REFERENCES :

- [1] Hensgens, T. et al. Nature 548.7665 (2017), 70–73. DOI: 10.1038/nature23022.
- [2] Bucamp, A. et al. Nano Res. 13, 61–66 (2020). DOI: 10.1007/s12274-019-2572-8.
- [3] Khelifi, W. et al. Nanotechnology. 2023 Apr 12;34(26). DOI: 10.1088/1361-6528/acc810.