

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2026

Date de la proposition : 9 septembre 2025

Responsable du stage :

Nom : **Garate** Prénom : **Ion**

Tél : Courriel : ion.garate@usherbrooke.ca

Nom du Laboratoire : Département de physique, Institut Quantique

Etablissement : Université de Sherbrooke Code d'identification : IRL CNRS-Sherbrooke

Site Internet : <https://www.usherbrooke.ca/physique/>

Adresse : Sherbrooke, Québec, Canada

Lieu du stage : Département de physique

Montant du financement de stage : 2 000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé

Titre du stage : Modélisation théorique des dispositifs microélectroniques topologiques

CONTEXTE

Au cours des 20 dernières années, la découverte des isolants, des supraconducteurs et des semi-métaux topologiques a permis d'acquérir une nouvelle compréhension des solides en termes de mécanique quantique et de topologie. Dans les matériaux topologiques, les bandes d'énergie électronique et les fonctions d'onde sont caractérisées par des nombres entiers non nuls appelés invariants topologiques. Ces invariants mathématiques se manifestent physiquement sous la forme d'états électroniques inhabituels localisés aux limites des échantillons. On sait aujourd'hui qu'une grande partie des solides sont topologiques.

Outre le fait qu'ils constituent une avancée majeure de la science fondamentale, récompensée par le prix Nobel 2016, les matériaux topologiques ont des applications potentielles très intéressantes, par exemple dans la microélectronique, la récupération d'énergie, la détection et l'informatique quantique. Un défi majeur dans ce domaine consiste à concrétiser ces promesses. Notre équipe souhaite contribuer à relever ce défi en développant des approches théoriques originales pour la modélisation des interconnexions topologiques, reliant ainsi la physique théorique fondamentale à la physique industrielle.

SUJET DE STAGE

Pendant des décennies, la miniaturisation des circuits intégrés a permis une augmentation extraordinaire de notre capacité à stocker et à traiter l'information. Cette tendance est aujourd'hui sérieusement freinée par l'augmentation de la résistivité électrique des interconnexions conventionnelles en cuivre (fils reliant les transistors dans une puce). La raison sous-jacente de ce problème a été révélée par Fuchs et Sondheimer, qui ont montré que les fils plus fins sont plus résistifs car les électrons transportant le courant rencontrent plus fréquemment les surfaces rugueuses du fil.

Des efforts importants sont actuellement déployés pour trouver de nouveaux matériaux d'interconnexion qui remplaceront le cuivre. Les matériaux topologiques, dotés d'états de surface robustes et hautement conducteurs, ont le potentiel de renverser l'échelle de résistivité défavorable prédite par Fuchs et Sondheimer pour les fils conventionnels. En collaboration avec des chercheurs d'IBM, j'ai récemment évalué le potentiel des semi-métaux topologiques (CoSi) pour les interconnexions [voir l'article *Unconventional Resistivity Scaling in Topological Semimetal CoSi*, npj Quantum Materials 8, 3 (2023)].

Il reste encore beaucoup à faire pour consolider et développer la théorie précédente. Ce sera l'objet de ce stage. Par exemple, dans les interconnexions réelles, la composition du fil le long de sa section transversale n'est pas homogène. Dans ce cas, la courbure de Berry devrait contribuer au courant électrique longitudinal au premier ordre dans le champ électrique appliqué. Cela crée une perspective alléchante pour concevoir des hétérogénéités spatiales dans les interconnexions topologiques afin d'améliorer leur conductivité grâce à la courbure de Berry. Pour explorer cette nouvelle possibilité, nous allons résoudre l'équation de Boltzmann dans des systèmes confinés, en présence d'un gradient spatial du potentiel chimique le long de la direction de l'épaisseur.

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

Le ou la stagiaire travaillera au sein d'une équipe accueillante composée d'un professeur, deux étudiants PhD, et trois étudiants MSc. De différents membres de l'équipe travaillent souvent dans des projets différents, qui ont néanmoins des connexions entre eux. Pour ce projet de stage particulier, il se peut que le ou la stagiaire collabore étroitement avec un étudiant MSc. À chaque semaine, il y aura des rencontres individuelles sur le projet de recherche, ainsi que des rencontres d'équipe où l'on discute sur des articles intéressants portant sur les matériaux topologiques. En plus, le ou la stagiaire pourra s'intégrer à des discussions quasi-hebdomadaires par Teams avec une chercheuse de d'IBM aux États-Unis.

DOCTORAT

Ce stage pourrait mener à une thèse au doctorat. En particulier, il y a des possibilités de thèse en cotutelle avec des groupes de recherche en France, dans le cadre du nouvel *International Research Lab (IRL) Frontières Quantiques*, créé par le CNRS le 1^{er} janvier 2022.

Ce stage pourra-t-il se prolonger en thèse ? Oui

Cela dépendra de la performance et de l'intérêt du ou de la stagiaire.

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ? Financement envisagé pour une thèse à Sherbrooke.

Possibilité de thèse en cotutelle Sherbrooke-France ? Oui

Si oui, avec quel(s) groupe(s) de recherche en France ? Le / la superviseur.e côté France sera identifié.e ultérieurement.