

Stages de recherche à l'Institut quantique

Université de Sherbrooke, Canada

2023

Domaines : Information quantique; Circuits quantiques; Matériaux quantiques; Génie quantique.

Durée : Flexible. Typiquement 3 à 6 mois.

Financement : 2000\$ / mois + frais de déplacement remboursés.

Possibilité de thèse : Typiquement, oui. Cotutelle à explorer. Voir avec superviseur.

Contact : Prof. Louis Taillefer (louis.taillefer@usherbrooke.ca)
Dr. Cyril Proust (cyril.proust@lncmi.cnrs.fr)

Sujets proposés : 13 en date du 23 novembre 2022

Info Q – théorie Prof. Alexandre Blais

Théorie des circuits quantiques supraconducteurs

Info Q – théorie Prof. Baptiste Royer

Correction d'erreurs quantiques dans des cavités micro-ondes

Info Q – expérimental Prof. Eva Dupont-Ferrier

Mesure de transistors à dopant unique pour l'information quantique

Info Q – expérimental Prof. Denis Morris * *comblé*

Sources de photons uniques pour l'information quantique

Circuits Q – expérimental Prof. Bertrand Reulet

Sonder l'effet Hall quantique fractionnaire à haute fréquence

Sonder le mode de Higgs dans un supraconducteur

Matériaux Q – théorie Profs. David Sénéchal & André-Marie Tremblay

Supraconductivité à haute température dans les cuprates dopés aux électrons

Matériaux Q – expérimental Prof. Louis Taillefer * *comblé*

Effet Hall thermique dans les matériaux quantiques

Matériaux Q – expérimental Prof. Jeffrey Quilliam * *comblé*

Étude expérimentale de matériaux magnétiques frustrés

Matériaux Q – expérimental Prof. Mathieu Massicotte

Ingénierie des émetteurs de photons uniques dans les dichalcogénures de métaux de transition

Génie Q – expérimental Prof. Dominique Drouin

Détection automatique de dopants de boîtes quantiques sur Si par intelligence artificielle

Génie Q – expérimental Prof. Yann Beilliard * *comblé*

Contrôle automatique de boîtes quantiques par IA et circuit neuromorphique

Génie Q – expérimental Prof. Sylvain Nicolay

Développement de boîtes quantiques nitrures

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 13 octobre 2022

Responsable du stage :	
Nom : Blais	Prénom : Alexandre
Tél :	Courriel : circuitQED@usherbrooke.ca
Nom du Laboratoire : Groupe Alexandre Blais, Institut Quantique	
Établissement : Université de Sherbrooke	Code d'identification : IRL CNRS-Sherbrooke
Site Internet : https://www.physique.usherbrooke.ca/blais/fr/	
Adresse : Sherbrooke, Québec, Canada	
Lieu du stage : Institut quantique	
Montant du financement de stage : 2 000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé	

Titre du stage : Théorie des circuits quantiques supraconducteurs

CONTEXTE ET SUJET DE STAGE

Les circuits quantiques supraconducteurs constituent l'une des approches les plus prometteuses pour construire un ordinateur quantique. Cela s'explique notamment par l'augmentation du temps de cohérence et de relaxation des qubits supraconducteurs au cours des dernières décennies, qui est passé de moins d'une nanoseconde au début des années 2000 à plusieurs centaines de microsecondes aujourd'hui. Grâce à ces progrès, il est possible d'exécuter des algorithmes quantiques simples avec des dizaines de ces qubits. Cependant, le passage à des processeurs quantiques plus grands nécessite encore une amélioration significative de la qualité de tous ses composants. Par conséquent, l'objectif de ce projet est de concevoir des qubits supraconducteurs plus robustes. Parmi les pistes prometteuses figurent les qubits bosoniques, où les informations quantiques sont stockées dans des cavités électromagnétiques de haute qualité, et les variations du qubit $0-\pi$ qui exploite les symétries pour découpler le qubit de son environnement bruyant.

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

L'Institut quantique de l'Université de Sherbrooke est un leader nord-américain dans l'avancement des sciences et technologies quantiques. Réunissant des spécialistes en matériaux quantiques, en information quantique et en ingénierie quantique, l'IQ est à l'avant-garde des travaux en recherche fondamentale et du développement des technologies quantiques du futur. Notre institut possède une infrastructure de recherche expérimentale et de calcul numérique à la fine pointe de la technologie, gérée par des équipes techniques et professionnelles hautement qualifiées. Nous offrons un environnement de recherche dynamique qui inclut des écoles d'été attirant une population étudiante des quatre coins du monde ainsi que des scientifiques de renommée, présentant des séminaires hebdomadaires et des ateliers annuels sur les matériaux quantiques, l'information quantique, la physique mésoscopique ou les méthodes numériques. Ainsi, la recherche à l'Institut quantique se fait dans un esprit de collaboration en lien avec la communauté scientifique à travers le monde.

Groupe de recherche

Le groupe de recherche "Théorie des circuits quantiques supraconducteurs" dirigé par Alexandre Blais se spécialise dans l'informatique quantique et l'optique quantique en électrodynamique quantique en circuits (circuit QED), une architecture d'ordinateur quantique de pointe. Vous trouverez de plus amples informations sur les circuits QED et les travaux du groupe dans des articles parus récemment dans Nature Physics et dans Reviews of Modern Physics.

Pour plus d'information au sujet de membres de l'équipe et leurs publications, voir :

<https://www.physique.usherbrooke.ca/blais/fr/>

DOCTORAT

Ce stage peut 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

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Financement acquis pour une thèse à Sherbrooke.

Possibilité de thèse en cotutelle Sherbrooke-France ? OUI

Si oui, avec quel(s) groupe(s) de recherche en France ?

À discuter

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 8 octobre 2022

Responsable du stage :			
Nom :	Royer	Prénom :	Baptiste
Tél :	Courriel : baptiste.royer@usherbrooke.ca		
Nom du Laboratoire : Groupe Royer, Institut Quantique			
Établissement :	Université de Sherbrooke	Code d'identification :	IRL CNRS-Sherbrooke
Site Internet :	https://sites.google.com/view/baptiste-royer/home		
Adresse :	Sherbrooke, Québec, Canada		
Lieu du stage :	Laboratoire théorique Royer		
Montant du financement de stage : 2 000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé			

Titre du stage : Correction d'erreurs quantiques dans des cavités micro-ondes
<p>CONTEXTE</p> <p>Un des plus grands défis technologiques des dernières décennies est de construire un ordinateur quantique. Ce type d'ordinateur promet de révolutionner plusieurs domaines comme la chimie, l'apprentissage machine et la cryptographie. Cependant, un des défis majeurs à surmonter est de combattre la décohérence qui efface l'information quantique et limite les capacités de calcul. La correction d'erreur quantique permet, en principe, de résoudre ce problème. Une approche prometteuse pour la correction d'erreur est d'encoder l'information dans des oscillateurs harmoniques, par exemple des cavités micro-ondes, à l'aide de <i>codes bosoniques</i>. Cette approche tire avantage des longs temps de vie des oscillateurs harmoniques, de leur grand espace d'Hilbert, et permet de corriger les erreurs avec un minimum de surcoût en matériel.</p> <p>Pour une perspective récente sur le domaine, voir l'article suivant:</p> <p style="padding-left: 40px;">Cai <i>et al.</i>, Fundamental Research 1, 50-67 (2021)</p> <p>Voir aussi :</p> <p style="padding-left: 40px;">Campagne-Ibarcq <i>et al.</i>, Nature 584, pages 368–372 (2020)</p> <p>SUJET DE STAGE</p> <p>Le projet de stage consiste à explorer différentes stratégies de contrôle de codes bosoniques, en particulier pour les rendre plus robuste aux erreurs pouvant les affecter. Ce projet implique l'exploration de concepts de correction d'erreurs quantiques avec une emphase particulière sur leur implémentation dans des cavités micro-ondes.</p>

Ce projet théorique serait constitué d'un mélange de calculs analytiques et de simulations numériques.

Si le (la) stagiaire le souhaite, ce projet théorique pourrait impliquer des collaborations avec des groupes expérimentaux à l'UdS ou ailleurs.

Voici un article récent donnant un aperçu du sujet :

B. Royer, S. Singh, S.M. Girvin, PRL **125**, 260509 (2020)

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

Le (la) stagiaire travaillera au sein d'une nouvelle équipe composée d'un professeur et de deux étudiant(e)s MSc et PhD. Le stagiaire aura accès à des ressources de calcul.

DOCTORAT

Ce stage peut mener à une thèse au doctorat.

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

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Financement acquis pour une thèse à Sherbrooke.

Possibilité de thèse en cotutelle Sherbrooke-France ? À déterminer

Si oui, avec quel(s) groupe(s) de recherche en France ?

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 4 novembre 2022

Responsable du stage :			
Nom :	Dupont-Ferrier	Prénom :	Eva
Tél :	Courriel : eva.dupont-ferrier@usherbrooke.ca		
Nom du Laboratoire : QIQSS, Institut Quantique			
Etablissement :	Université de Sherbrooke	Code d'identification :	IRL CNRS-Sherbrooke
Site Internet : https://www.physique.usherbrooke.ca/dupont-ferrier/fr/index.html			
Adresse : Sherbrooke, Québec, Canada			
Lieu du stage : Laboratoire QIQSS- Sherbrooke Québec CANADA			
Montant du financement de stage : 2 000 \$ / mois			

Titre du stage :	Mesure de transistors à dopant unique pour l'information quantique
-------------------------	--

Contexte

Pour accroître la rapidité et la densité d'intégration des transistors leur taille est en constante réduction. Aujourd'hui la taille des transistors est si petite que leur fonctionnement peut être gouverné par un unique dopant situé dans le canal. Ces transistors « ultimes » formés d'un unique atome offrent de nouvelles perspectives à la microélectronique. En utilisant des basses températures, il est possible de faire fonctionner les transistors de manière quantique ouvrant ainsi un nouveau champ d'application et de performance aux dispositifs microélectroniques.

Projet

Ce projet expérimental porte sur les mesures de dispositifs innovants pour l'information quantique. En se basant sur la technologie CMOS il s'agira de mesurer un transistor ultime formé d'un unique dopant situé dans le canal du transistor et d'établir des protocoles quantiques pour la mesure de spin unique. Le spin de dopants implantés dans silicium, qui sert à encoder l'information quantique, possède de très long temps de cohérence et peut être rapidement manipulé. Il constitue donc d'excellents qubits. Placer ces dopants dans des transistors permet un bon interfaçage des qubits et un fort potentiel pour la mise à grande échelle des dispositifs quantiques.

L'étudiant(e) sera impliqué(e) dans toutes les étapes du projet : modélisation, interfaçage d'instruments, mesure des dispositifs, programmation de protocoles quantiques, manipulation de qubit.

L'étudiant(e) mesurera les transistors à basse température, afin d'établir leurs propriétés. Il/elle effectuera des mesures de transport DC ultra-bas bruit. Des paramètres tels que le bruit de grille, la tension seuil, la conductance seront mesurés afin d'optimiser les procédés de fabrication. A l'aide de signaux micro-onde l'étudiant(e) s'intéressera ensuite au contrôle et à la manipulation de qubits formés par le spin de dopant implanté dans le canal du transistor.

Nature de l'organisation

Le projet s'effectuera à l'université de Sherbrooke, sous la direction de la Pr. Eva Dupont-Ferrier. Le laboratoire est rattaché à l'Institut Quantique qui a pour mission d'inventer les technologies quantiques de demain et de les transférer en milieu industriel. Au sein de l'Institut, notre groupe s'intéresse plus spécifiquement à l'intégration de transistors silicium à des circuits quantiques.

Environnement de travail

L'étudiant(e) travaillera dans le laboratoire de la Pr Eva Dupont-Ferrier à l'Institut Quantique <https://www.physique.usherbrooke.ca/dupont-ferrier/fr/index.html> et à l'Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique, 3iT : <https://www.usherbrooke.ca/3it/fr/ecosysteme-technologique/nanofabrication>.

L'étudiant(e) interagira avec la professeure responsable ainsi qu'avec les étudiant.es, les professionnels de recherche, techniciens du groupe. Il/elle bénéficiera également de l'intégration au sein du 3iT et interagira avec l'équipe d'ingénieurs et techniciens spécialisée dans les procédés de fabrication salle blanche et dans les techniques de caractérisation des matériaux.

Prérequis

M1 en Physique du solide, nanotechnologie, génie électrique.

Exigences particulières

Forte motivation et envie d'apprendre, sens pratique, autonomie.

De solides bases en physique des semi-conducteurs, électronique et mécanique quantique.

Une expérience en mesure de transport à basse température, ou en programmation, sont des atouts.

Doctorat

Ce stage peut 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 1er janvier 2022.

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

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Financement acquis pour une thèse à Sherbrooke.

Possibilité de thèse en cotutelle Sherbrooke-France ? OUI

Avec les chercheurs.e français.es associé.es à l'IRL.

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Demi-bourse acquise côté Sherbrooke ; Demi-bourse possible côté France

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 24 octobre 2022

Responsable du stage :			
Nom :	Reulet	Prénom :	Bertrand
Tél :	Courriel : bertrand.reulet@usherbrooke.ca		
Nom du Laboratoire : Groupe Reulet, Département de Physique, Institut Quantique			
Etablissement :	Université de Sherbrooke	Code d'identification :	IRL CNRS-Sherbrooke
Site Internet :	https://www.physique.usherbrooke.ca/reuletlab/		
Adresse :	Sherbrooke, Québec, Canada		
Lieu du stage :	Laboratoire Reulet		
Montant du financement de stage : 2 000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé			

Titre du stage : Sonder l'effet Hall Quantique Fractionnaire à haute fréquence
<p>CONTEXTE</p> <p>Le comportement d'un gaz d'électrons confinés dans un plan en présence d'un champ magnétique est d'une richesse peu commune. La quantification des niveaux d'énergie donne lieu à l'apparition d'effet Hall quantique entier (prix Nobel 1985) voire d'effet Hall quantique fractionnaire (prix Nobel 1998) pour des échantillons très purs. Ces phénomènes sont observés par des expériences de transport électronique à basse fréquence.</p> <p>Lorsque l'on envoie une onde électromagnétique polarisée linéairement sur un tel système, la force de Lorentz agissant sur les électrons donne lieu à une rotation du plan de polarisation de l'onde, c'est l'effet Faraday. Nous avons démontré récemment que cet angle est quantifié à fort champ et basse température, une conséquence de l'effet Hall entier.</p> <p>Pour ce faire, nous avons mis au point une expérience où l'échantillon, une hétérostructure semi-conductrice GaAs/GaAlAs, est placée au cœur d'un guide d'onde circulaire fonctionnant à 10GHz, le tout installé dans un cryostat à dilution He3/He4 et dans une bobine supraconductrice. L'amplitude et la phase des ondes transmises de polarisation parallèle et perpendiculaire à l'onde incidente sont mesurées séparément, ce qui permet de remonter à l'angle de rotation.</p>
<p>SUJET DE STAGE</p> <p>Notre expérience permet de sonder la physique de l'effet Hall quantique à haute fréquence. Nous souhaitons aborder des questions telles que : la conductivité est une quantité complexe à fréquence finie, comment est-elle quantifiée ? L'effet Hall devient-il dissipatif à fréquence finie ? Etc...</p> <p>De nouveaux designs expérimentaux sont également en cours de préparation, que la personne en stage</p>

pourra tester et explorer.

.

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

Le laboratoire est entièrement équipé pour de telles expériences ce qui fait que toute nouvelle idée peut être mise en oeuvre rapidement.

La personne en stage travaillera au sein d'une équipe composée d'un professeur, un professionnel de recherche, un technicien et cinq étudiants. Elle bénéficiera de l'environnement de recherche offert par le département de physique et l'institut quantique.

DOCTORAT

Ce stage peut 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

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Financement acquis pour une thèse à Sherbrooke.

Possibilité de thèse en cotutelle Sherbrooke-France ? NON à ma connaissance

Si oui, avec quel(s) groupe(s) de recherche en France ?

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 24 octobre 2022

Responsable du stage :			
Nom :	Reulet	Prénom :	Bertrand
Tél :	Courriel : bertrand.reulet@usherbrooke.ca		
Nom du Laboratoire : Groupe Reulet, Département de Physique, Institut Quantique			
Etablissement :	Université de Sherbrooke	Code d'identification :	IRL CNRS-Sherbrooke
Site Internet :	https://www.physique.usherbrooke.ca/reuletlab/		
Adresse :	Sherbrooke, Québec, Canada		
Lieu du stage :	Laboratoire Reulet		
Montant du financement de stage : 2 000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé			

Titre du stage : Sonder le mode de Higgs dans un supraconducteur
CONTEXTE <p>Le mode de Higgs, célèbre en physique des hautes énergies, a son équivalent en matière condensée, notamment dans un métal supraconducteur. Dans un tel matériau les électrons s'apparient pour en faire de paires de Cooper, gagnant ainsi de l'énergie. Le mode de Higgs correspond alors à la modulation temporelle de la valeur de cette énergie.</p> <p>Pour observer ce mode il est nécessaire de pouvoir l'exciter et le détecter. Nous avons mis au point une expérience où ceci est fait à l'aide de micro-ondes guidées par des micro-circuits en titane, supraconducteur en dessous de 500mK. Nous observons une résonance liée à l'excitation du mode de Higgs à des fréquences de l'ordre de 20 GHz.</p>
SUJET DE STAGE <p>Notre expérience permet de sonder l'impédance complexe micro-onde de circuits placés à très basse température. Nous souhaitons la poursuivre dans plusieurs directions sur plusieurs plans : d'une part réaliser une mesure non-locale du mode de Higgs, qui serait généré à un endroit de l'échantillon et détecté plus loin. D'autre part, étudier l'effet du confinement du mode en fonction de la nature des contacts, supraconducteurs ou non, sur le micro-circuit. Enfin nous souhaitons mettre en place la possibilité de changer d'échantillon in situ à l'aide de pointes de mesures mobiles, ce qui nécessite de développer un nouveau design expérimental sophistiqué.</p> <p>La personne en stage pourra participer à tous ces aspects de l'expérience.</p> <p>.</p>

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

Le laboratoire est entièrement équipé pour de telles expériences ce qui fait que toute nouvelle idée peut être mise en oeuvre rapidement.

La personne en stage travaillera au sein d'une équipe composée d'un professeur, un professionnel de recherche, un technicien et cinq étudiants. Elle bénéficiera de l'environnement de recherche offert par le département de physique et l'institut quantique.

DOCTORAT

Ce stage peut 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

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Financement acquis pour une thèse à Sherbrooke.

Possibilité de thèse en cotutelle Sherbrooke-France ? OUI

Si oui, avec quel(s) groupe(s) de recherche en France ?

Marco Aprili (Paris-Saclay)

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Demi-bourse acquise côté Sherbrooke ; Demi-bourse possible côté France

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 14 octobre 2022

Responsable du stage :			
Nom :	Sénéchal	Prénom :	David
Tél :	Courriel : david.senechal@usherbrooke.ca		
Nom du Laboratoire : Institut Quantique			
Etablissement :	Université de Sherbrooke	Code d'identification :	IRL CNRS-Sherbrooke
Site Internet :	https://www.physique.usherbrooke.ca/pages/senechal		
Adresse :	Sherbrooke, Québec, Canada		
Lieu du stage :	Laboratoire de physique théorique		
Montant du financement de stage : 2 000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé			

Titre du stage : Supraconductivité à haute température dans les cuprates dopés aux électrons
CONTEXTE <p>La compréhension de la supraconductivité à haute température dans les oxydes de cuivre à partir de la mécanique quantique demeure une des questions les plus importants de la physique théorique. Une compréhension détaillée contribuera sans doute à tracer la voie vers la supraconductivité à température et pression ambiante, ce qui aurait des impacts majeurs sur la technologie.</p> <p>Bien que cette question soit vieille, ce n'est que récemment que les outils théoriques et la puissance de calcul numérique ont atteint des niveaux permettant des progrès substantiels. Une collaboration entre mon groupe et celui du professeur Tremblay a permis une percée importante sur la question :</p> <p><u>Une nouvelle dans le magazine Quanta</u></p> <p><u>Un des auteurs est présentement en postdoc au Collège de France</u></p> <p><u>Le premier auteur, Nicolas Kowalski, est d'abord venu en stage à Sherbrooke de l'École polytechnique</u></p> <p><u>L'article original</u></p> <p>Bien que cette percée soit importante, l'impératif d'expliquer le plus grand nombre d'expériences possible et d'affiner les modèles demeure. Nos travaux ont porté sur la famille de supraconducteurs dite dopée aux trous. Il existe une autre famille dite dopée aux électrons à laquelle nos méthodes n'ont pas encore été appliquées.</p> SUJET DE STAGE <p>Le projet de stage consiste à utiliser la théorie de champ moyen dynamique sur amas pour un modèle d'électrons en interaction, appelé modèle de Hubbard, qui tient compte de trois atomes par maille élémentaire, cuivre et oxygène, pour vérifier le lien entre supraconductivité et dopage ainsi que la</p>

compétition avec une autre phase, plus particulièrement l'antiferromagnétisme. Le stagiaire se familiarisera avec les méthodes du problème à N-corps (incluant la seconde quantification et les fonctions de Green) et avec l'utilisation de superordinateurs. Des connaissances en programmation (python) et en mécanique quantique avancée sont requises.

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

En plus de l'environnement standard associé à un espace de travail et à l'accès au superordinateur, le stagiaire profitera des espaces collaboratifs de l'Institut quantique.

La (le) stagiaire travaillera au sein d'une équipe composée de deux professeurs, de trois chercheurs postdoctoraux, de trois étudiants à la maîtrise et de trois étudiants au doctorat.

DOCTORAT

Ce stage peut 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

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Financement acquis pour une thèse à Sherbrooke.

Possibilité de thèse en cotutelle Sherbrooke-France ? OUI

Si oui, avec quel(s) groupe(s) de recherche en France ?

Michel Ferrero (École Polytechnique)

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Demi-bourse acquise côté Sherbrooke ; Demi-bourse possible côté France

Proposition de stage / Internship proposal
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 18 octobre 2022

Responsable du stage :			
Nom :	Massicotte	Prénom :	Mathieu
Tél :	Courriel : mathieu.massicotte@usherbrooke.ca		
Nom du Laboratoire : Institut Quantique			
Etablissement :	Université de Sherbrooke	Code d'identification :	IRL CNRS-Sherbrooke
Site Internet :	https://www.usherbrooke.ca/iq/		
Adresse :	Sherbrooke, Québec, Canada		
Lieu du stage :	Institut Quantique		
Montant du financement de stage : 2 000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé			

Titre du stage : Ingénierie des émetteurs de photons uniques dans les dichalcogénures de métaux de transition

CONTEXTE

L'intégration d'émetteurs à photons uniques dans des dispositifs optoélectroniques est un défi majeur pour le développement de technologies basées sur la photonique quantique. Ces technologies nécessitent des émetteurs à photons uniques déterministes et stables, pouvant fonctionner à température ambiante et être commandés électriquement. Des efforts sont en cours pour créer des sources de photons uniques commandées électriquement, y compris des démonstrations récentes utilisant des points quantiques semi-conducteurs et des centres colorés dans le diamant. Cependant, ces sources souffrent de divers inconvénients, tels qu'un fonctionnement à basse température ou une faible pureté des photons uniques. Dans le cadre d'une nouvelle thématique de recherche au sein de l'Institut quantique, nous explorerons la présence et l'ingénierie de défauts émetteurs de photons uniques dans les dichalcogénures de métaux de transition (TMD), des matériaux semiconducteurs bidimensionnels, afin de mettre au point une source qui surmonte ces limites.

SUJET DE STAGE

Ce stage vise à explorer les propriétés optiques associées à divers types de défauts luminescents dans des monocouches TMD tels que le WSe₂. Pour y parvenir, le ou la stagiaire travaillera en collaboration avec une équipe multidisciplinaire de physiciens et d'ingénieurs, avec le soutien de quelques membres du personnel technique et professionnel de l'Institut quantique. Le sujet spécifique du stage pourra toucher à l'un ou plusieurs des aspects suivants:

- **L'ingénierie des défauts:** Exploration d'une variété de procédés visant à créer des défauts luminescents dans le TMD. Sélection d'une série de conditions expérimentales (traitements chimiques, températures

de recuit sous diverses atmosphères gazeuses, dose et énergie de bombardement ionique au FIB, déposition de flocons de TMD sur nano-piliers fabriqués par lithographie e-beam).

- **Localisation des défauts et détermination de leurs propriétés optiques:** Caractérisation via l'imagerie et la spectroscopie de la photoluminescence. Détermination des caractéristiques des émetteurs de photons uniques via la dynamique des signaux de PL résolue en temps et des mesures de corrélation de photons.
- **Diodes électroluminescentes quantiques:** Fabrication de jonctions p-n à base de TMD à l'aide de grilles électrostatiques. Élaboration de nouvelles techniques pour le dépôt de contact électriques. Caractérisation électrique et mesures d'électroluminescence aux températures ambiante et cryogénique.

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

Dépendant des tâches prioritaires, ce stage pourra être effectué dans les salles blanches de l'Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique (3iT) et/ou dans le FabLab quantique de l'Institut quantique à Sherbrooke. Le ou la stagiaire aura accès à des équipements de fabrication (FIB, SEM, etc.) et de caractérisation de pointe (mesures optiques aux basses températures) pour réaliser ce projet. Il ou elle travaillera au sein de l'équipe du Prof. Mathieu Massicotte, nouvellement professeur au Département de génie électrique, en collaboration avec l'équipe du Prof. Denis Morris, professeur au Département de physique.

DOCTORAT

Ce stage peut mener à des études supérieures par la suite, soit à la maîtrise ou au doctorat.

Au doctorat, 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

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 ?
À déterminer.

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 4 octobre 2022

Responsable du stage :			
Nom :	Drouin	Prénom :	Dominique
Tél :		Courriel :	dominique.drouin@usherbrooke.ca
Nom du Laboratoire : Groupe INPAQT (3IT/IQ)			
Etablissement :	Université de Sherbrooke	Code d'identification :	IRL LN2 CNRS-Sherbrooke
Site Internet :	<u>Dominique Drouin - Google Scholar</u>		
Adresse :	Sherbrooke, Québec, Canada		
Lieu du stage :	Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique (3IT) et Institut Quantique (IQ)		
Montant du financement de stage : 2000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé			

Titre du stage : Détection automatique de dopants de boîtes quantiques sur Si par intelligence artificielle

CONTEXTE

Les boîtes quantiques à base de dopants sont des candidats prometteurs pour la mise à l'échelle des qubits de spin sur silicium. Des progrès récents dans les techniques de nanofabrication ont permis de réaliser ces dispositifs quantiques de manière reproductible grâce à l'implantation localisée de dopants. Cependant, cette technique de fabrication est longue et n'est pas compatible avec une production de masse. Une autre approche consiste à fabriquer des boîtes quantiques sur des substrats de silicium globalement dopés avec de l'arsenic et/ou du bore. Dans ce cadre, il est nécessaire de réaliser de nombreuses mesures pour déterminer la position et la nature des dopants présents sous les grilles électrostatiques du dispositif. Ce protocole réalisé actuellement manuellement est long et fastidieux, ce qui ralentit considérablement le développement et la mise à l'échelle de ce type de qubit. Par conséquent, l'automatisation de cette procédure représenterait une avancée majeure pour l'étude des qubits de spin à base de dopants et leur utilisation dans des calculateurs quantiques à grande échelle.

De récentes études ont montré que l'intelligence artificielle (IA) à base de réseaux de neurones avait le potentiel de devenir une technologie clé pour la mise à l'échelle des technologies quantiques, notamment dans le cadre de boîtes quantiques sur silicium. Nous proposons ainsi un projet de stage dont le but est de développer une méthode à base de réseaux de neurones pour la détection automatique des dopants dans des boîtes quantiques, en collaboration entre l'Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique (3IT), l'Institut Quantique (IQ) et des industriels.

Notre groupe au 3IT développe actuellement des approches à base d'IA pour résoudre des problèmes liés à la mise à l'échelle des technologies quantiques, mais aussi des circuits cryogéniques neuromorphiques (inspirés de la structure du cerveau) à base de mémoires résistives pour l'implémentation de l'IA à très basse consommation d'énergie au plus près des dispositifs quantiques, directement dans le cryostat.

Voir un article d'actualité sur une partie de nos activités sur le site web de l'Institut Quantique :

SUJET DE STAGE

Le sujet de stage que nous proposons porte dans un premier temps sur la création d'un jeu de données à l'aide d'un simulateur de boîtes quantiques à base de dopants, puis de développer des réseaux de neurones capables de détecter la nature et la position des dopants dans des boîtes quantiques sur silicium. A plus long terme, le projet vise aussi à démontrer la calibration automatique de boîtes quantiques à base de dopant en adaptant les réseaux de neurones que nous avons déjà développé pour des boîtes quantiques sans dopant. Les fruits de ces travaux ont un fort potentiel de publication scientifique et permettraient de faire un pas de plus vers l'ordinateur quantique à grande échelle.

La personne stagiaire aura pour tâche de (i) réaliser une brève revue des méthodes de détection de formes à l'aide réseaux de neurones publiées dans la littérature scientifique; (ii) simuler des boîtes quantiques à base de dopants pour constituer des jeux de données de diagrammes de stabilité servant à l'entraînement de réseaux de neurones. Des données expérimentales seront aussi utilisées via une collaboration avec le groupe de Pr. Eva Dupont-Ferrier à l'IQ; (iii) développer un réseau de neurones optimisés pour la reconnaissance de formes sur des diagrammes de stabilité de boîtes quantiques. Ce travail pourrait être basé sur des réseaux de neurones Bayésiens et des algorithmes déjà en cours de développement dans le groupe; (iv) Développer un algorithme d'auto-détection de dopants dans des boîtes quantiques, et si le temps le permet leur auto-calibration pour être utilisés comme qubits; (v) Développer des méthodes d'augmentation de données servant à l'entraînement et/ou des méthodes d'apprentissage nécessitant moins de données.

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

La personne stagiaire travaillera sous la direction du Pr. Dominique Drouin, en étroite collaboration avec Pr. Yann Beilliard, Pr. Eva Dupont-Ferrier (IQ) et un étudiant au doctorat travaillant sur l'application de l'IA pour la calibration automatique de boîtes quantiques sur silicium. Des réunions hebdomadaires seront organisées pour rendre compte de l'avancement du travail. Le stage sera réalisé entre le 3IT et l'IQ de l'Université de Sherbrooke. Notre groupe de recherche au 3IT est composé d'une vingtaine de personnes étudiantes travaillant en équipe sur la nanofabrication et la conception de circuits à base de mémoires résistives pour l'IA et l'ingénierie neuromorphique pour diverses applications dont l'informatique quantique.

Le 3IT est un institut unique au Canada dédié à la recherche et au développement de technologies innovantes dans les domaines de l'énergie, de l'électronique, de la robotique et de la santé.

Voilà une vidéo de présentation du 3IT :

[Visite guidée de l'Institut interdisciplinaire d'innovation technologique \(3IT\) - YouTube](#)

L'IQ est un institut de pointe dont la mission est d'inventer les technologies quantiques de demain et de les transférer à l'industrie.

Une vidéo de présentation de l'IQ :

[Inauguration de l'Institut quantique - YouTube](#)

La personne stagiaire bénéficiera ainsi d'un environnement de recherche international exceptionnel où étudiants, ingénieurs, professeurs et industriels travaillent main dans la main pour développer les technologies du futur.

DOCTORAT

Ce stage peut mener à une thèse au doctorat en co-direction entre le 3IT, IQ et d'autres partenaires académiques et industriels.

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

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Financement acquis pour une thèse à Sherbrooke.

Possibilité de thèse en cotutelle Sherbrooke-France ? NON

Si oui, avec quel(s) groupe(s) de recherche en France ?

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 4 octobre 2022

Responsable du stage :			
Nom :	Beilliard	Prénom :	Yann
Tél :	Courriel : yann.beilliard@usherbrooke.ca		
Nom du Laboratoire : Groupe INPAQT (3IT/IQ)			
Etablissement :	Université de Sherbrooke	Code d'identification:	IRL LN2 CNRS-Sherbrooke
Site Internet :	Yann Beilliard - Google Scholar		
Adresse :	Sherbrooke, Québec, Canada		
Lieu du stage :	Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique (3IT) et Institut Quantique (IQ)		
Montant du financement de stage : 2000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé			

Titre du stage : Contrôle automatique de boîtes quantiques par IA et circuit neuromorphique

CONTEXTE

La dernière percée majeure dans le domaine du calcul quantique a été la démonstration de systèmes quantiques comportant plus de 50 qubits supraconducteurs permettant d'atteindre pour la première fois la suprématie quantique. Bien que des progrès significatifs aient été réalisés dans la fabrication de puces quantiques et d'algorithmes quantiques, le contrôle des qubits est encore effectué principalement à la main avec des composants électroniques classiques encombrants situés à l'extérieur du cryostat. Cette approche, caractérisée par un "goulot d'étranglement de câblage" entre les qubits et l'électronique de contrôle, rend pour l'instant impossible la fabrication de véritables ordinateurs quantiques à grande échelle. L'une des prochaines percées majeures dans le domaine du calcul quantique consistera ainsi à automatiser le contrôle d'un très grand nombre de qubits à l'aide d'une électronique cryogénique intégrée située à l'intérieur du cryostat (c'est-à-dire *in situ*).

De récentes études ont montré que l'intelligence artificielle (IA) à base de réseaux de neurones avait le potentiel de devenir une technologie clé pour la mise à l'échelle des calculateurs quantiques, notamment dans le cadre des qubits de spin à base de boîtes quantiques sur silicium. Notre groupe développe des approches à base d'IA pour résoudre des problèmes liés aux technologies quantiques, mais aussi des circuits neuromorphiques (inspirés de la structure du cerveau) à base de mémoires résistives (i.e. memristors) pour l'implémentation de l'IA à très basse consommation d'énergie au plus près des dispositifs quantiques, directement dans le cryostat.

Voir un article d'actualité sur une partie de nos activités sur le site web de l'Institut Quantique :

[Explorer le potentiel des memristors pour l'ordinateur quantique et l'intelligence artificielle - Institut Quantique \(usherbrooke.ca\)](#)

SUJET DE STAGE

Nous proposons un stage s'inscrivant dans un projet interdisciplinaire visant à développer la calibration automatique *in-situ* et en temps réel de boîtes quantiques sur silicium à l'aide d'algorithmes d'IA à très faible consommation d'énergie. Dans ce cadre, un des jalons clés de ce projet sera de mettre au point des circuits neuromorphiques cryogéniques à base de mémoires résistives avec lesquels seront exécutés les algorithmes d'IA conçus pour calibrer automatiquement des boîtes quantiques sur silicium dans un régime électronique désiré.

Dans un premier temps, le stage sera consacré à poursuivre les travaux de notre groupe sur l'usage de l'IA pour la calibration de boîte quantique, pour l'adapter à une expérience de calibration en temps réel de dispositifs quantiques à température cryogénique dans un réfrigérateur à dilution de l'IQ. Cette approche utilisera un ordinateur classique connecté à l'extérieur du cryostat, et impliquera la simulation et la mesure de boîtes quantiques pour constituer un jeu de données important pour l'entraînement du réseau de neurones.

Dans le même temps, la personne stagiaire aura pour tâche de contribuer aux simulations d'un circuit neuromorphique à base de mémoires résistives pour en déterminer la précision et la vitesse, ainsi que l'impact de la variabilité des mémoires résistives sur ses performances de calibration.

Enfin, la dernière tâche sera consacrée à l'implémentation de réseaux de neurones dans un circuit à base de mémoires résistives en cours de fabrication dans notre groupe pour la démonstration expérimentale en temps réel du contrôle automatique de boîtes quantiques disponibles à l'IQ.

Voilà des publications récentes de nos travaux sur :

- La calibration automatique de boîtes quantiques à l'aide de réseaux de neurones :

[Miniaturizing neural networks for charge state autotuning in quantum dots - IOPscience](#)

- La fabrication de réseaux de mémoires résistives :

[Fully CMOS-compatible passive TiO₂-based memristor crossbars for in-memory computing - ScienceDirect](#)

- La caractérisation de mémoires résistives à température cryogénique (1.5 K) :

[Investigation of resistive switching and transport mechanisms of Al₂O₃/TiO_{2-x} memristors under cryogenic conditions \(1.5 K\): AIP Advances: Vol 10, No 2 \(scitation.org\)](#)

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

Ce projet interdisciplinaire sera réalisé sous la direction du Pr. Yann Beilliard entre le 3IT et l'IQ, en étroite collaboration avec Pr. Dominique Drouin, des chercheurs de la compagnie 1QBit ainsi que des professeurs de l'IQ (Pr. Michel Pioro-Ladrière, Pr. Eva Dupont-Ferrier). L'encadrement sera ainsi assuré par des professeurs et experts en nanofabrication, mémoires résistives, IA et technologies quantiques cryogéniques. Des réunions hebdomadaires seront organisées pour rendre compte de l'avancement du travail. Notre groupe de recherche au 3IT est composé d'une vingtaine de personnes étudiantes et professionnelles travaillant en équipe sur la nanofabrication et la conception de circuits à base de mémoires résistives pour l'IA et l'ingénierie neuromorphique pour diverses applications dont l'informatique quantique.

Le 3IT est un institut unique au Canada dédié à la recherche et au développement de technologies innovantes dans les domaines de l'énergie, de l'électronique, de la robotique et de la santé.

Voilà une vidéo de présentation du 3IT :

[Visite guidée de l'Institut interdisciplinaire d'innovation technologique \(3IT\) - YouTube](#)

L'IQ est un institut de pointe dont la mission est d'inventer les technologies quantiques de demain et de les transférer à l'industrie.

Une vidéo de présentation de l'IQ :

[Inauguration de l'Institut quantique - YouTube](#)

La personne stagiaire bénéficiera ainsi d'un environnement de recherche international exceptionnel où étudiants, ingénieurs, professeurs et industriels travaillent main dans la main pour développer les technologies du futur.

DOCTORAT

Ce stage peut mener à une thèse au doctorat en co-direction entre le 3IT, IQ et d'autres partenaires académiques et industriels.

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

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Financement acquis pour une thèse à Sherbrooke.

Possibilité de thèse en cotutelle Sherbrooke-France ? NON

Si oui, avec quel(s) groupe(s) de recherche en France ?

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Proposition de stage
Master 2^{ème} année
Année 2023

Date de la proposition : 18 Octobre 2022

Responsable du stage :			
Nom :	Nicolay	Prénom :	Sylvain
Tél :	Courriel : sylvain.nicolay@usherbrooke.ca		
Nom du Laboratoire : Groupe Taillefer, Institut Quantique			
Etablissement :	Université de Sherbrooke	Code d'identification:	IRL CNRS-Sherbrooke
Site Internet :			
Adresse :	Sherbrooke, Québec, Canada		
Lieu du stage : Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique (UdeS-3IT)			
Montant du financement de stage : 2 000 \$ / mois + déplacement France-Sherbrooke remboursé			

Titre du stage : Développement de boîtes quantiques nitrures
CONTEXTE <p>Les composés à base de nitrures (GaN, AlN, InN) sont déjà largement développés dans l'industrie des semiconducteurs notamment pour les applications opto-électroniques et d'électroniques de puissance. Il a aussi été récemment démontré que ces semiconducteurs pourraient offrir des perspectives prometteuses pour des applications quantiques. Les propriétés significatives des hétérostructures quantiques à base de nitrures sont les suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none">1. Longue durée de vie radiative et une énergie de blocage de Coulomb élevée de 60 meV à température ambiante ainsi qu'une énergie de liaison excitonique élevée (28 meV) ouvrant la possibilité d'observer des phénomènes quantiques à température ambiante.2. Une structure de puits quantique asymétrique avec un grand décalage de bande interdite permettant d'ajuster largement l'énergie des structures, permettant une énergie de transition bien supérieure à l'énergie thermique correspondant à la température ambiante. <p>Prises ensembles, ces propriétés ouvrent des perspectives pour observer des phénomènes cohérents quantiques à température de pièce.</p> <p>Littérature sur le sujet :</p> <p>J.Stachurski, S. Tamariz, G. Callsen, R. Butté and N. Grandjean <i>Single photon emission and recombination dynamics in self-assembled GaN/AlN quantum dots</i> Light: Science & Applications, 11, 114 (2022) https://www.nature.com/articles/s41377-022-00799-4</p> <p>C. A. Sgroi, J. Brault, J.-Y. Duboz, S. Chenot, P. Vennéguès, A. Ludwig and A. D. Wieck <i>Coulomb blockade: Toward charge control of self-assembled GaN quantum dots at room temperature</i> Appl. Phys. Lett. 120,</p>

012105 (2022)

<https://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/5.0073864>

SUJET DE STAGE

Le stage consistera à développer les hétérostructures nitrures au sein du 3IT afin de réaliser des boîtes quantiques électriquement contrôlées. Une fois les boîtes quantiques réalisées, leurs propriétés seront caractérisées notamment leur potentiel de blocage de Coulomb à température ambiante.

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

Laboratoire de micro et nanofabrication en salle blanche. Dépôts des hétérostructures par épitaxie.

Le (la) stagiaire travaillera au sein d'une équipe composée d'un professeur, deux professionnels de recherche, un chercheur postdoctoral et 3 étudiant(e)s au doctorats. De façon plus générale le (la) stagiaire sera intégré(e) au sein du 3IT. Le 3IT est un institut unique au Canada, spécialisé dans la recherche et le développement de technologies innovantes pour l'énergie, l'électronique, la robotique et la santé. L'étudiant(e) bénéficiera ainsi d'un environnement de recherche exceptionnel alliant étudiants, professionnels, professeurs et industriels travaillant main dans la main au développement des technologies du futur.

DOCTORAT

Ce stage peut 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

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 ?

P. Vennéguès (CNRS CHREA, Nice) ou Eva Monroy (CEA Grenoble)

Si oui, financement de thèse envisagé ou acquis ?

Financement envisagé via projets collaboratifs à Sherbrooke