INSTITUT QUANTIQUE UdS

# Rapport annuel | 2021-2022

# ACCÉLÉRER LA RÉVOLUTION QUANTIQUE

# Notre vision

Les sciences quantiques produiront des technologies qui transformeront notre société. L'Institut quantique de l'Université de Sherbrooke est au cœur d'un écosystème dynamique qui accélère cette révolution quantique.

# Notre mission

Placer la communauté étudiante au centre de la recherche dans un environnement ouvert et collaboratif pour accélérer le passage de la science aux technologies quantiques. Nous formons des leaders possédant les compétences et la pensée critique essentielle à la création de connaissances pertinentes pour une société en transformation.

# TABLE DES MATIÈRES

**MOT DU DIRECTEUR** ..... 6
**À PROPOS DE L' INSTITUT** ..... 7
**FAITS SAILLANTS** ..... 8
Ouverture du nouveau bâtiment de l'IQ ..... 8
Lancement des Projets Porteurs : L'IQ mise sur quatre projets pour se projeter vers l'avenir ..... 12
Désignation de Sherbrooke comme Zone d'innovation en sciences quantique ..... 15
Une découverte de l'IQ au palmarés des Dix découvertes de l'année Québec Science ..... 16
**Science et technologie** ..... **18**
Le Pr Kourtis développe un outil de pointe pour la simulation de circuits quantiques ..... 18
Sécuriser des communications quantiques Alice, Bob et Eve ..... 20
Des nouvelles méthodes théoriques modernes ..... 22
La science quantique comme solution aux changements climatiques ..... 24
**Transfert technologique** ..... **26**
Le FabLab Quantique de l'IQ ..... 26
Jeune pousse issu de l'IQ - Nord Quantique reçoit un financement de 9,5 M$ ..... 28
**Prix et distinctions** ..... **29**
Une reconnaissance scientifique majeure pour le professeur Louis Taillefer ..... 29
Excellence de l'encadrement aux études supérieures en recherche - André-Marie Tremblay ..... 30
Prix Inspiration - Patrick Vachon ..... 30
Guggenheim ..... 31
**Collaborations et partenariats** ..... **32**
Curieux quantiques ..... 32
Vers une finance quantique, nouvelle collaboration avec l'École de Gestion ..... 34
**Sensibilisation et formation** ..... **35**
Colloque ACFAS 2021 ..... 35
Winter School – FONCER UBC-CREATE ..... 36
Ecole LIA ..... 36
Portes ouvertes Espaces IBM Q ..... 37
ACT 800/La quantique se prépare à rayonner à Sherbrooke ..... 37

**PERSONNES** ..... **40**
**Nouveaux membres de l'IQ** ..... **40**
Anne Mackay ..... 40
Sylvain Nicolay ..... 41
Allison Wustrow ..... 42
**Programme de bourses postdoctorales de l'IQ**
Nicolas Gauthier ..... 43
**IQ en chiffres** ..... **44**
1er avril 2021 au 31 mars 2022 ..... 44
**Visiteurs de l'IQ** ..... **46**
**Membres – Axes et objectifs de recherche** ..... **47**
**Personnel** ..... **53**
**Administration** ..... **53**
**Équipe technique et professionnels** ..... **54**
**Collaborateurs et partenaires de l'IQ** ..... **56**
Institutions Internationales ..... 56
Institutions canadiennes ..... 58
Industrie et Gouvernement ..... 59
**Prix et Mentions** ..... **60**
Prix internationaux ..... 60
Prix nationaux ..... 60
Prix provinciaux ..... 60
Université de Sherbrooke ..... 60
**Finances** ..... **61**
**PUBLICATIONS DE 2021** ..... **62**
Journaux avec revue ..... 62
Actes de conférences ..... 65
Chapitres de livre ..... 66
Présentations de conférence ..... 66
Preprints ..... 68
Dans les médias ..... 68
Thèses et mémoires ..... 70
Propriété intellectuelle ..... 71

# MOT DU DIRECTEUR

Notre communauté s'est mobilisée dans la dernière année pour ajouter d'autres éléments aux bases déjà solides de notre institut de recherche. Ainsi nous nous rassemblons maintenant dans le nouveau bâtiment de l'IQ. Notre nouvelle demeure professionnelle est un lieu qui nous ressemble; où l'on teste, mesure, calcule et où l'on partage ses connaissances. Ce projet a été rendu possible grâce à la participation de plusieurs partenaires et aussi grâce à la communauté de l'IQ engagée dans chacune des étapes de sa réalisation pour léguer aux prochaines générations d'étudiantes et d'étudiants, de chercheuses et de chercheurs un environnement exceptionnel.

Nous avons également jeté les bases des projets scientifiques de l'avenir pour l'IQ, les projets porteurs. Un exercice exigeant au terme duquel nous avons collectivement sélectionné quatre projets qui incarnent notre expertise et une volonté ferme de chercher des réponses à de grandes questions. La formation de ces équipes offre l'immense avantage de pouvoir être fins prêts pour saisir les occasions de collaboration et de financement qui se profileront à l'horizon et ce tout particulièrement dans le contexte de la stratégie nationale quantique canadienne.

Notre communauté s'enrichit de nouveaux visages qui contribueront à l'évolution de nos projets. Soulignons notamment l'ajout des professeures Anne Mckay du Département de mathématiques et Allison Wustrow du Département de chimie, ainsi que Sylvain Nicolay professeur au Département de génie électrique et informatique à la Faculté de génie.

**ALEXANDRE BLAIS, DIRECTEUR SCIENTIFIQUE.**

Le travail de nos membres continue d'être reconnu et célébré par l'entremise de prix et de reconnaissances de toutes sortes. Ainsi, le nom de Louis Taillefer est maintenant ajouté à la liste de membres de la Royal Society of London, l'une des plus anciennes sociétés savantes du monde. Son travail figure également, aux côtés de son collaborateur Gaël Grissonnanche, parmi les Dix Découvertes de l'année de la revue Québec Science. L'Université de Sherbrooke a souligné la contribution d'André-Marie Tremblay qui a reçu le prix de l'Excellence de l'encadrement aux études supérieures en recherche et celle de Patrick Vachon à qui le Prix Inspiration - qualité de service a été remis.

Finalement, la désignation par le gouvernement du Québec de la zone d'innovation en sciences quantiques et technologies appliquées constitue une vitrine exceptionnelle pour le recrutement des meilleurs étudiants et meilleures étudiantes ici et à l'international. Réunir tous les partenaires derrière ce thème scientifique envoie un message fort à la communauté quantique internationale.

Les prochaines années s'annoncent passionnantes.

# À PROPOS de L'INSTITUT

L'Institut quantique (IQ) de l'Université de Sherbrooke rassemble des chefs de file mondiaux de la recherche et de la formation interdisciplinaire en science et technologies quantiques. L'IQ est un milieu collaboratif à l'interface de l'informatique quantique, des matériaux quantiques et de l'ingénierie quantique qui offre des perspectives scientifiques et professionnelles exceptionnelles à la communauté étudiante, à ses membres et à ses partenaires.

## NOS ACTIONS

- Développer des projets à l'interface de nos axes de recherche.
- Former le personnel hautement qualifié qui sera le moteur de l'économie de demain.
- Accélérer le développement des technologies quantiques, l'entrepreneuriat et la mise en marché de ces technologies.
- Susciter l'intérêt des joueurs clés dans le développement des technologies quantiques.
- Sensibiliser la société aux enjeux technologiques émanant des sciences quantiques.

## SUBVENTION MAJEURE APOGÉE

Les chercheurs de l'IQ ont reçu en 2015 un financement de 33,5 M$ par le Fonds d'excellence à la recherche Apogée Canada (CFREF), dans le cadre du projet « De la science quantique aux technologies quantiques », une stratégie ambitieuse comptant répondre aux besoins de l'ère numérique du 21e siècle.

APOGÉE CANADA
FONDS D'EXCELLENCE EN RECHERCHE

## FONDS DE RECHERCHE DU QUÉBEC

Regroupés sous l'appellation « Fonds de recherche du Québec », les trois Fonds – Nature et technologies, Santé, Société et culture – ont pour mission de promouvoir et de soutenir financièrement la recherche, la mobilisation des connaissances et la formation des chercheurs au Québec et d'établir les partenariats nécessaires à l'accomplissement de leur mission.

Québec
Fonds de recherche – Nature et technologies
Fonds de recherche – Santé
Fonds de recherche – Société et culture

# FAITS SAILLANTS

## OUVERTURE DU NOUVEAU BÂTIMENT DE L'IQ

Rendu possible grâce à nos nombreux partenaires, notamment la Fondation canadienne de l'Innovation et le gouvernement du Québec, ce projet est le résultat d'une démarche de consultation auprès de nos membres, afin que ces espaces leur ressemblent. Réunissant la communauté de l'IQ sous un même toit, ce bâtiment inspire, favorise les échanges et devient, par le fait même, un équipement de recherche en soi.

**« LA RECHERCHE SE FAIT DANS LES LABORATOIRES, MAIS LA SCIENCE SE PRODUIT DANS LES CORRIDORS. »**

DANS LE BUT DE PROVOQUER DES ÉCHANGES AVEC LA COMMUNAUTÉ QUANTIQUE, DES ESPACES ONT ÉTÉ AMÉNAGÉS POUR ACCUEILLIR ÉCOLES D'ÉTÉ, LABORATOIRES COLLABORATIFS ET CHERCHEURS INVITÉS.

LES MURS INSCRIPTIBLES PERMETTENT INTERACTIONS ET ÉCHANGES DANS LE BUT DE GÉNÉRER CE CHOC D'IDÉES QUI CONTRIBUE AUX DÉCOUVERTES.

INSPIRÉE DU RÉFRIGÉRATEUR À DILUTION, ÉQUIPEMENT PHARE DE LA RECHERCHE EN SCIENCE QUANTIQUE, LA CONCEPTION DU BÂTIMENT PAR LES ARCHITECTES SAUCIER + PERROTTE, TOUT COMME SA CONSTRUCTION QUI INTÈGRE LE BOIS, EST À L'IMAGE DE LA RIGUEUR ET DE L'AUDACE QUI CARACTÉRISENT LA COMMUNAUTÉ DE L'IQ.

À TRAVERS UNE DÉMARCHE DE CONSULTATION, LA COMMUNAUTÉ A ÉTÉ INVITÉE À DÉTERMINER LES VALEURS QUI LA CARACTÉRISENT. CES VALEURS SONT :

## INCLUSION

## EXCELLENCE

## COLLABORATION

## CRÉATIVITÉ

ELLES POURRONT DORÉNAVANT S'EXPRIMER AU QUOTIDIEN DANS NOTRE NOUVEAU PAVILLON.

# PLATEFORMES TECHNOLOGIQUES

**LES PLATEFORMES TECHNOLOGIQUES DE L'IQ OFFRENT DES SERVICES SPÉCIALISÉS ET REGROUPENT DES EXPERTISES AFIN DE SOUTENIR ET D'ACCÉLÉRER LA RECHERCHE À L'UDES. CES SERVICES SONT ÉGALEMENT OFFERTS À L'ÉCOSYSTÈME INDUSTRIEL GRAVITANT AUTOUR DE L'IQ.**

## FABLAB QUANTIQUE

Le FabLab Quantique (QFL) est un lieu d'idéation, stimulant la collaboration interdisciplinaire. Il a été conçu pour recevoir plusieurs usagers simultanément y travaillant sur divers projets. Il représente une plateforme partagée de recherche expérimentale en physique et en ingénierie quantique, tirant profit de l'expertise unique en caractérisation de matériaux et de dispositifs quantiques de l'IQ.

Le QFL prend la forme d'un banc d'essai quantique équipé d'outils de recherche de pointe pouvant sonder des dispositifs à l'interface des matériaux et de l'informatique, complémenté d'un atelier mécanique complet permettant de fabriquer des pièces de haute précision sur mesure, qui s'appuie sur une équipe technique chevronnée et qualifiée en cryogénie, micro-ondes, électronique, techniques du vide et mesures de dispositifs quantiques.

## ALGOLAB

La plateforme de calcul quantique apporte un support pour la réalisation de travaux de recherche utilisant l'informatique quantique aux différents groupes de recherche partout à l'UdeS dont des groupes en chimie, physique, informatique, génie logiciel, biologie et même à l'École de gestion. L'équipe accompagne les étudiantes et étudiants dans l'appropriation de ces nouveaux paradigmes de programmation et s'assure que chaque personne ait accès aux meilleurs outils disponibles. Une collaboration avec IBM depuis 2020 permet d'ailleurs aux membres d'accéder aux ordinateurs quantiques d'IBM Quantique. Ces systèmes sont parmis les plus avancés au monde.

## MANDATS DES PLATEFORMES

- Accroître la capacité de recherche des membres de l'IQ par l'accès à des équipements de pointe et à du personnel hautement qualifié
- Contribuer à la formation de la communauté étudiante
- Permettre à l'écosystème quantique émergent au Québec et au Canada d'avoir accès à des infrastructures uniques

# LANCEMENT DES PROJETS PORTEURS :

## L'IQ mise sur quatre projets pour se projeter vers l'avenir

**À LA SUITE D'UNE IMPORTANTE RÉFLEXION ET D'UNE DÉMARCHE VISANT À RASSEMBLER SES MEMBRES, L'IQ ADOPTE UNE NOUVELLE VISION D'AVENIR AVEC SES PROJETS PORTEURS. LE BUT CONSISTE À OBTENIR DES RETOMBÉES SCIENTIFIQUES MAJEURES EN DÉCLOISONNANT LES SILOS ENTRE LES CHERCHEUSES ET CHERCHEURS ET EN MOBILISANT LES EXPERTISES DE TOUTE LA COMMUNAUTÉ.**

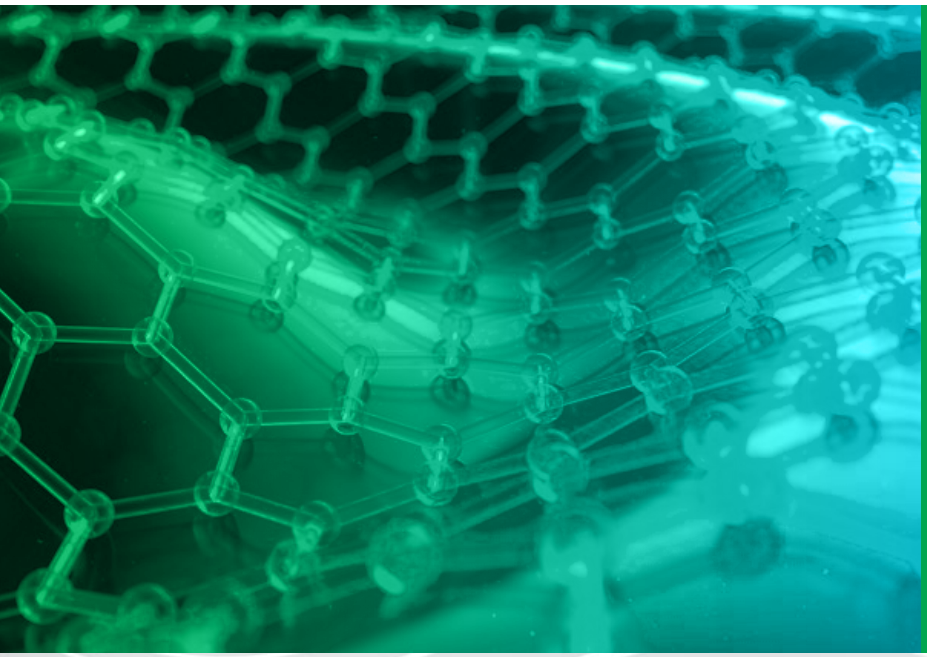
« Nous avons maintenant franchi le cap de la mi-mandat du programme de subvention Apogée. Cette étape de bilan était une invitation à nous assurer que nos orientations et projets de recherche demeurent pertinents dans un domaine scientifique en plein essor. Nos scientifiques ont été invités à imaginer l'avenir pour déterminer la teneur de leurs projets de recherche. Bien que la façon de sélectionner des projets soit différente, les critères sont demeurés les mêmes, soit de formuler des projets scientifiques composés d'idées nouvelles et ambitieuses qui explorent les possibilités de collaborations multifacultaires. La prochaine phase du projet s'annonce emballante », **explique Alexandre Blais, directeur scientifique de l'IQ.**

« Le processus qui a mené aux choix de ces projets a été exigeant et toute notre communauté a pris l'exercice très au sérieux. Nous avons fait appel aux services de l'Accélérateur entrepreneurial Desjardins (AED) pour nous accompagner dans la démarche, question de nous aider à sortir des sentiers battus et s'assurer que la voix de chacun et chacune soit entendue. C'est le début d'une période très stimulante d'un point de vue scientifique », **mentionne Michel Pioro-Ladrière, directeur adjoint de l'IQ.**

# LES PROJETS

## MATIÈRE ULTRA QUANTIQUE : LES SUPRACONDUCTEURS À BASE DE CUPRATE

Les deux phénomènes qui seront étudiés par l'équipe de recherche sont la dissipation planckienne et le nouvel état supraconducteur topologique dans le but de faire la lumière sur l'appariement des électrons dans les cuprates et la nature de la phase pseudogap. Leurs découvertes pourraient révolutionner les secteurs de l'énergie, de la santé et des transports, et les technologies développées pourraient être appliquées sur d'autres catégories de matériaux quantiques, ou même sur des systèmes et matériaux artificiels.



## EXCITATIONS ÉMERGENTES DANS LES MATÉRIAUX QUANTIQUES

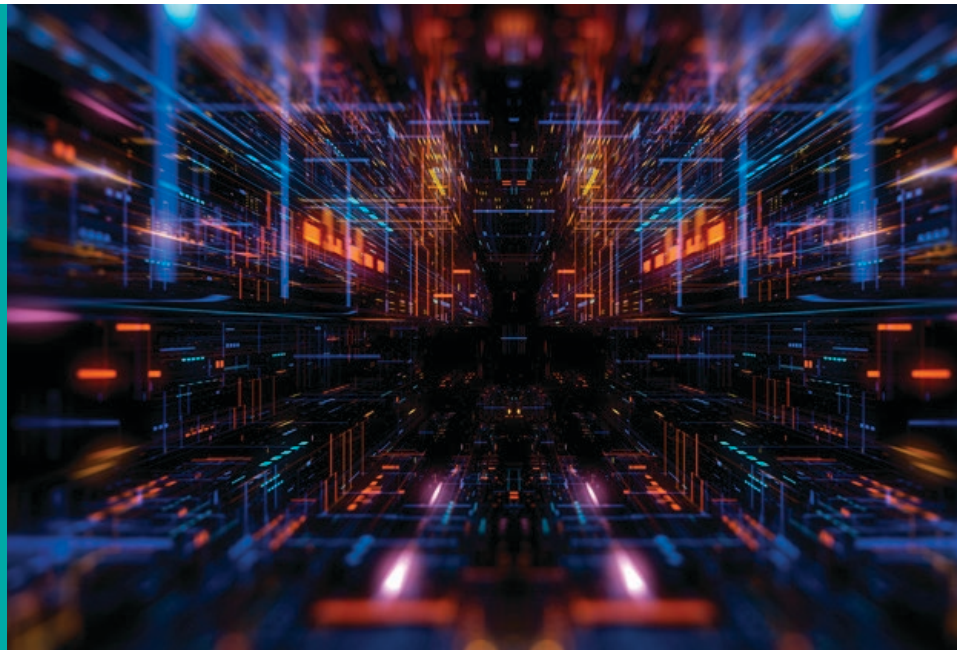
Afin de tenter de répondre à certaines des plus importantes questions du domaine des matériaux quantiques, l'équipe tentera d'obtenir des preuves irréfutables d'excitations émergentes dans les matériaux quantiques. Plus particulièrement, ils se pencheront sur les liquides de spin quantiques susceptibles de présenter des excitations émergentes exotiques, dont les anyons.

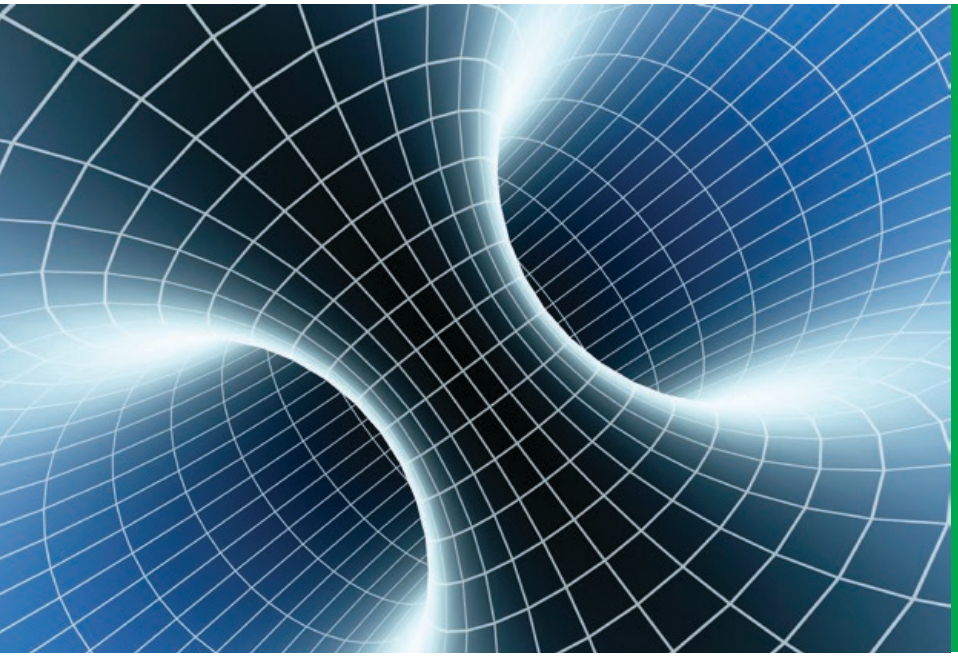
À long terme, le projet pourrait permettre de développer de nouvelles techniques de recherche sur les matériaux quantiques ainsi que d'établir les bases d'applications en informatique quantique et en spintronique.

## TECHNOLOGIES HABILITANTES POUR L'INTERNET QUANTIQUE

Il reste plusieurs défis majeurs à ce jour à résoudre en ce qui concerne les technologies nécessaires à la réalisation de l'ordinateur quantique. Parmi ceux-ci, on retrouve les transducteurs et les mémoires quantiques, technologies auxquelles l'équipe de recherche s'intéressera, dans le but de connecter des processeurs quantiques distants, afin de former un Internet quantique.

Le développement d'éléments clés pour l'Internet quantique aurait un impact majeur sur trois principaux piliers d'application : la communication sécurisée ainsi que l'informatique et les capteurs quantiques.





## TECHNOLOGIES QUANTIQUES ET PHYSIQUE DES PARTICULES

Ce projet vise à résoudre un des grands mystères de la physique grâce aux technologies quantiques développées à l'IQ : la nature de la matière noire.

Les technologies quantiques ouvrent une voie prometteuse pour l'étude de la physique des particules. À l'inverse, l'équipe vérifiera comment les particules de haute énergie affectent la cohérence des dispositifs quantiques.

## UNE VISION D'AVENIR

En plus de mettre en valeur l'expertise des membres de l'Institut quantique, les projets porteurs permettront d'établir de nouvelles collaborations avec des acteurs-clés du domaine de la quantique, mais aussi d'horizons variés. Au total, c'est plus de 3 millions de dollars investis par l'IQ dans ces projets de recherche avec un potentiel phénoménal.

Les avancées en recherche fondamentale et appliquée découlant de ces projets contribueront grandement au recrutement et à la formation de jeunes scientifiques, qui maîtriseront des outils et des méthodes qui pourront être appliquées dans divers domaines.

Comme les projets rallient la majorité des membres de l'IQ, ceux-ci permettent de mettre en valeur la complémentarité des différentes expertises dans un contexte collaboratif. Les projets porteurs représentent donc ce sur quoi l'Institut quantique misera au cours des prochaines années, et qui le représenteront en tant que pilier dans le domaine de la quantique.

### INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

- Page web des projets porteurs

# DÉSIGNATION DE SHERBROOKE COMME ZONE D'INNOVATION EN SCIENCES QUANTIQUE

En février, le premier ministre du Québec, M. François Legault, a fait l'annonce des deux premières zones d'innovation en compagnie du ministre de l'Économie et de l'Innovation et ministre responsable du Développement économique régional, M. Pierre Fitzgibbon.

La zone Sherbrooke Quantique dans le secteur des sciences quantiques et des applications technologiques bénéficiera d'un appui financier pour favoriser la réalisation de ses projets et son développement comme zone d'innovation. L'écosystème bien établi dans les domaines quantiques, tant en calcul et en technologies quantiques que dans le développement de composants pour les ordinateurs quantiques et le fait que cette zone peut compter sur l'apport de partenaires privés, d'instituts de recherche et d'un réseau de collaborateurs reconnu mondialement ont été énumérés par le gouvernement comme éléments ayant conduit à la désignation de la zone.

**La directrice générale par intérim de Sherbrooke quantique Mme Josée Fortin voit dans cette désignation une reconnaissance du travail des partenaires engagés dans le projet. « Les partenaires de Sherbrooke se réjouissent que la qualité de leur travail concerté soit ainsi reconnue par la création de Sherbrooke quantique, une zone d'innovation ambitieuse de calibre international dans un secteur d'avenir. La zone compte déjà sur une expertise de pointe en recherche, un milieu de vie attrayant et des partenariats de formation originaux pour attirer des personnes de talent de tous les horizons, les former et les retenir par le développement d'une nouvelle économie durable. »**

Photo : fournie

Des entreprises ont déjà commencé à tirer parti de la zone d'innovation, comme Bell, qui investit 15 millions de dollars pour fournir l'infrastructure large bande requise afin d'appuyer les projets de recherche et développement, dont ceux qu'elle effectue conjointement avec l'Université de Sherbrooke en 5G et en communications quantiques. En outre, les synergies au sein de Sherbrooke quantique permettent d'attirer des entreprises étrangères souhaitant profiter de l'écosystème de la zone d'innovation, telles que 1QBit, Pasqal et Eidos-Sherbrooke, qui réaliseront des investissements représentant 205 millions de dollars au cours des cinq prochaines années.

**Pour le directeur scientifique de l'IQ, le Pr Alexandre Blais, cette désignation représente un outil de développement remarquable : « Pour notre institut de recherche, la création d'une zone d'innovation en sciences quantiques et applications technologiques, et l'écosystème qu'elle contribuera à renforcer, est une vitrine exceptionnelle pour le recrutement des meilleurs étudiants et meilleures étudiantes ici et à l'international. Réunir tous les partenaires derrière ce thème scientifique envoie un message fort à la communauté quantique. »**

ZONES D'INNOVATION QUÉBEC
SHERBROOKE QUANTIQUE

La Zone d'innovation permettra également à l'IQ de continuer à former ici, à Sherbrooke, une main d'œuvre hautement qualifiée. Pour le Pr Michel Pioro-Ladrière, directeur adjoint de l'IQ et nommé directeur scientifique de la Zone d'innovation, cette désignation du gouvernement du Québec confirme la pertinence de leur stratégie de développement. « Nous avons déjà contribué à mettre en place les éléments d'un écosystème quantique dynamique : une masse critique de chercheurs et chercheuses reconnue mondialement, des infrastructures de recherche de pointe, des partenariats stratégiques et des entreprises en démarrage qui s'implantent à Sherbrooke.

# UNE DÉCOUVERTE DE L'IQ AU PALMARÈS DES DIX DÉCOUVERTES DE L'ANNÉE QUÉBEC SCIENCE

## Une équipe de l'IQ met en évidence ce qui semble bien être une nouvelle limite quantique qui s'impose aux électrons

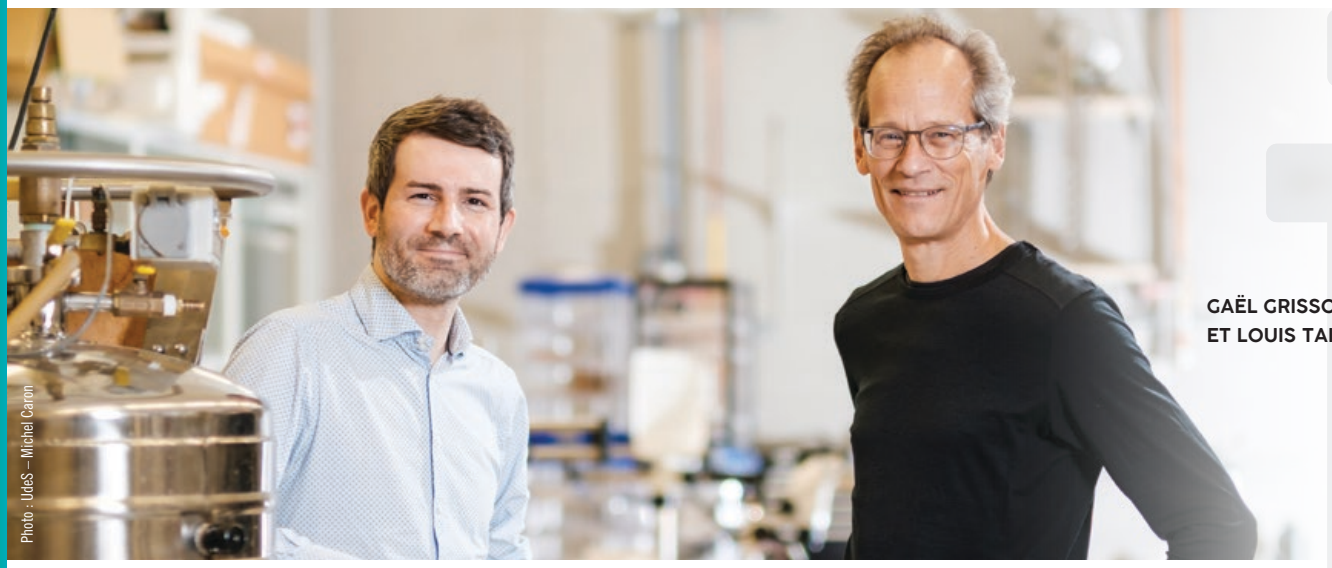


Photo : UdeS – Michel Caron

GAËL GRISSONNANCHE ET LOUIS TAILLEFER

Publiée dans la revue Nature, l'étude codirigée par le professeur Louis Taillefer révèle que, dans certains métaux, le temps qui s'écoule entre deux collisions successives d'électrons est donné par la constante de Planck – l'unité fondamentale du monde quantique.

En principe, la résistance d'un métal au passage d'un courant électrique est un phénomène physique bien compris. À basse température, celle-ci est en partie causée par les collisions des électrons entre eux, ce qui cause la perte d'une partie de l'énergie qu'ils transportent. C'est un peu comme deux auto-tamponneuses en perte de vitesse lorsqu'elles entrent en collision. La théorie standard prévoit que la résistance électrique décroit en refroidissant comme le carré de la température quand celle-ci tend vers le zéro absolu.

Or il s'avère que dans certains métaux dits « étranges » la résistance varie linéairement en température, ce qui est tout à fait inattendu.

« C'est très émouvant, ce mystère », affirme Louis Taillefer. « Cette droite est d'une superbe simplicité – sauf qu'elle ne devrait pas exister! Observée de mes yeux la première fois ici à Sherbrooke, d'abord dans un oxyde de cuivre puis dans un conducteur organique, la résistance linéaire n'a cessé de me fasciner. Parce que la linéarité est parfaite, jusqu'à T = 0, on sent qu'on touche à quelque chose de profond. »

En 2019, l'équipe Taillefer découvre à l'aide d'un modèle simple que le temps qui sépare une collision de la prochaine pour un électron est le même pour tous les oxydes de cuivre (les « cuprates ») montrant cette résistance linéaire. Ce temps universel est déterminé par la constante de Planck divisée par l'énergie thermique.

**« Cet aspect universel, lié à la constante de Planck, montre qu'on touche à quelque chose de fondamental »**

Encore fallait-il démontrer par une mesure directe que ce temps est bel et bien « planckien ». C'est ce que l'équipe Taillefer vient de faire, en collaboration avec l'équipe du Pr Brad Ramshaw de l'Université Cornell, tel que décrit dans leur article *Linear-in temperature resistivity from an isotropic Planckian scattering rate.* Pour ce faire, ils ont placé un échantillon de cuprate dans un champ magnétique intense pour dévier la trajectoire des électrons dans ce métal étrange, et mesurer la variation de la résistance, directement reliée au temps de collision des électrons.

C'est Gaël Grissonnanche qui a mené à bien ce projet, d'abord comme postdoc à Sherbrooke et ensuite à Cornell. Les mesures ont été effectuées dans le plus fort champ magnétique statique au monde, au National High Magnetic Field Lab à Tallahassee, USA.

« Ce fut un réel tour de force. Avant Gaël, nous n'avions jamais fait ce genre de mesure », explique Pr Taillefer. « Il a effectué non seulement les mesures expérimentales d'une grande précision, avec les étudiantes au doctorat Yawen Fang (Cornell) et Anaëlle Legros (Sherbrooke), mais également l'analyse élaborée des données, avec son collègue postdoc Simon Verret (Sherbrooke), qui leur a permis d'extraire le temps de collision. »

« Il s'agit d'une technique expérimentale que je développe depuis de nombreuses années », a déclaré Brad Ramshaw, professeur adjoint à l'université Cornell qui a codirigé l'étude, « mais c'est Gaël qui l'a vraiment portée à un niveau supérieur. Le niveau d'analyse de cette expérience est d'une énorme complexité, mais de l'autre côté émerge un résultat si simple et intuitif. C'est vraiment la physique dans ce qu'elle a de meilleur – une belle simplicité à partir d'une grande complexité.»

Et le temps ainsi extrait a non seulement la valeur planckienne mais cela vaut pour toutes les directions de mouvement des électrons – on dit qu'il est isotrope.

« Le temps « planckien » est très court ou « rapide », c'est le plus rapide permis par la mécanique quantique. Ce que nous montrons aujourd'hui c'est que dans un métal étrange, quelle que soit la direction choisie par les électrons pour se déplacer, ils subissent et subiront des collisions au rythme le plus intense possible, ils n'ont aucun moyen d'y échapper. Ce fut aussi éblouissant qu'inattendu, car les autres propriétés de ces matériaux n'ont rien d'isotrope. Cela nous est apparu comme une pièce manquante au cœur de cette physique. », explique Gaël Grissonnanche. « Ce n'est qu'à travers cette isotropie que l'on peut expliquer le côté universel du phénomène dans les différentes familles de métaux étranges. En plus, aspect fascinant, nous discutons de l'infiniment petit dans l'étude, mais ce même temps planckien semble aussi s'imposer aux trous noirs – des objets énormes! »

Cette recherche a été soutenue en partie par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, CIFAR, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), l'initiative EPiQS de la Fondation Gordon et Betty Moore, la National Science Foundation et le Conseil Européen de la Recherche.

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

- Linear-in temperature resistivity from an isotropic Planckian scattering rate
- Universal T-linear resistivity and Planckian dissipation in overdoped cuprates
- Une nouvelle limite quantique pour les électrons

# SCIENCE ET TECHNOLOGIE

## LE Pr KOURTIS DÉVELOPPE UN OUTIL DE POINTE POUR LA SIMULATION DE CIRCUITS QUANTIQUES

EXEMPLE D'ARBRE DE CONTRACTION QUASI OPTIMAL POUR UN PETIT RÉSEAU DE TENSEURS.

Comment se définit la frontière de l'avantage quantique? Est-il possible d'optimiser la simulation de calculs quantiques et classiques? Le Pr Stefanos Kourtis se penche sur ces questions dans son article *Hyper Optimized Tensor Network Contraction*, publié dans Quantum, un journal libre accès pour la science quantique. Sa recherche résout également un des problèmes de dénombrement combinatoire les plus difficiles, et promet des répercussions pratiques et intradisciplinaires.

### LES RÉSEAUX DE TENSEURS ET LA PHYSIQUE DE L'INTRICATION POUR LA SIMULATION DE CIRCUITS QUANTIQUES

La publication du Pr Kourtis concerne une méthode pour simuler les calculs à la fois quantiques et classiques à l'aide des réseaux de tenseurs. Cet outil est un langage qui exprime des calculs, soit une liste d'opérations nécessaires pour compléter une simulation. L'ordre de ces opérations peut cependant amener une vaste différence en performance. En effet, les réseaux de tenseurs expriment une liste de tâches à compléter, sans spécifier l'ordre. Tout comme suivre une liste d'épicerie, l'ordre des articles amassés aura une incidence sur le temps nécessaire pour compléter la course, tout comme l'ordre des opérations aura une incidence sur le temps requis pour achever une simulation. Ainsi, les travaux du Pr Kourtis cherchaient, de façon algorithmique, les ordres les plus efficaces pour évaluer les réseaux de tenseurs. Récemment, Google a défini que le temps nécessaire pour compléter la simulation classique d'un calcul quantique était d'environ 10 000 ans. Les algorithmes du Pr Kourtis démontrent tout le contraire : il l'estime à quelques centaines de jours, un temps toujours considérable mais une différence phénoménale dans la simulation du calcul quantique. « Ce qu'on a découvert c'est qu'en utilisant des méthodes inspirées par la physique du problème à N-corps, on peut trouver des ordres qui sont plus efficaces que ce qu'on avait imaginé au départ. Parmi les retombées pratiques, on retrouve la simulation des circuits quantiques, récemment implémentés par l'équipe de Google. Nos recherches démontrent qu'on peut faire cette simulation beaucoup plus rapidement et de manière plus efficace que ce que Google avait estimé », témoigne le Pr Kourtis. En effet, la publication compte déjà plusieurs citations, surtout

LE PR STEFANOS KOURTIS

Photo : UdeS – Michel Caron

par l'équipe de Google qui utilise les algorithmes développés par l'équipe du Pr Kourtis comme méthode de pointe pour la simulation classique de circuits quantiques. Une équipe de chercheurs à Beijing a également implémenté une simulation classique de circuits Sycamore sur superordinateurs en utilisant les techniques du Pr Kourtis. Qu'est-ce qui rend ces algorithmes plus avantageux que d'autres? Selon le physicien théoricien, la physique de l'intrication, quoique fondamentale, a mené à la performance de son algorithme : « L'obstacle principal dans l'utilisation des réseaux de tenseurs est l'augmentation de la mémoire requise pour stocker les tenseurs, une augmentation qui reflète l'accroissement de l'intrication quantique durant la simulation. Alors, si on peut identifier l'ordre qui évite la majorité de l'intrication, la simulation sera plus efficace. C'est l'élément qui a dirigé la recherche, et c'est pour cette raison qu'on est arrivé à une solution presque optimale. »

Cette publication annonce la recherche qui sera effectuée au sein de la Chaire en calcul quantique. Créée à la fin de 2020 et financée en majeure partie par le ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec (MEI), la Chaire du Pr Kourtis a comme objectif de développer de nouvelles méthodes en calcul quantique.

« Les réseaux de tenseurs sont un domaine de recherche interdisciplinaire et les travaux de mon groupe combinent des idées issues de l'intelligence artificielle, de la science des données, de la physique quantique, de l'information quantique et de l'informatique théorique. Cette combinaison peut apporter des avantages considérables, et cette publication en est une démonstration tangible.», ajoute le Pr Kourtis.

### INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

- L'Institut quantique accueille un nouveau membre
- Nouvelle Chaire de recherche du MEI en calcul quantique

# SÉCURISER DES COMMUNICATIONS QUANTIQUES ALICE, BOB ET EVE

Photo : UdeS – Michel Caron

PR JEAN-FRANÇOIS PRATTE ET SIMON CARRIER.

On vous a remis une preuve informatique lors de votre vaccin contre la COVID-19? Vous avez acheté en ligne beaucoup plus que d'habitude ces derniers mois? Toutes les données confidentielles privées – qu'elles soient médicales, bancaires ou gouvernementales, reliées aux élections, aux secrets d'entreprises ou aux systèmes de défenses – pourraient être compromises avec l'arrivée prochaine de l'ordinateur quantique et ses capacités de calcul inimaginables. Celui-ci sera en effet capable de craquer en quelques secondes les procédés classiques de sécurité de l'information. Qui viendra à la rescousse de la protection des données confidentielles en circulation sur la planète Internet? La cryptographie quantique.

## CRYPTOGRAPHIE, SCIENCE DES CODES SECRETS

Le Pr Jean-François Pratte, le Pr Serge Charlebois et l'étudiant Simon Carrier, travaillent en collaboration avec le chercheur Thomas Jennewein, de l'Université de Waterloo, sur un projet qui vise le développement de nouvelles applications technologiques pour les réseaux de communication quantique via les satellites. Les nouvelles méthodes d'encryptage pour sécuriser les communications confidentielles doivent logiquement être développées avant l'apparition de l'ordinateur quantique. Et ce qui est fascinant, c'est que ce sont les technologies quantiques qui serviront à protéger l'ordinateur quantique!

**CRYPTOGRAPHIE : Ensemble des principes et des moyens permettant de chiffrer et de déchiffrer des messages, des données. Elle a pour objectif de se protéger contre des adversaires en protégeant des messages à l'aide de clés. « Déjà en 1984 on avait des idées quantiques, introduit Simon Carrier. Le premier protocole de cryptographie quantique, nommé BB84, a vu le jour cette année-là. » Un professeur de l'Université de Montréal est d'ailleurs derrière ce protocole, Pr Gilles Brassard. Aussi, il existe une entreprise américaine, MagiQ qui a mis sur le marché un des premiers produits de cryptographie quantique commercial au monde. Mais la recherche se poursuit.**

En cryptographie quantique, on fait voyager ce qu'on appelle des qubits sur de la lumière, sur des photons. La mise en place de protocoles de cryptographie quantique via des fibres optiques a toujours sa place dans le réseau complexe des communications quantiques, mais, comme elle est limitée à quelques centaines de kilomètres, l'équipe travaille sur des solutions pour transmettre les qubits dans l'air libre, vers des satellites, de façon à pouvoir assurer la communication quantique même sur de très longues distances.

## DES DÉTECTEURS INNOVANTS FABRIQUÉS À L'UDES

Que les communications passent par les satellites, ce n'est évidemment pas nouveau, précise le Pr Pratte, professeur en génie électrique et membre de l'Institut quantique. On le fait aujourd'hui déjà à profusion. Et la Chine a même déjà expérimenté les communications quantiques par satellites. Ce qui pourrait faire une différence, par contre, ce sont nos détecteurs. » Et pourquoi ces détecteurs sont si attrayants? « Plusieurs éléments, je dirais. Le fait de mesurer un photon à la fois est idéal pour des questions de sécurité, on peut utiliser les détecteurs à des températures compatibles avec des applications spatiales, ils sont hyper compacts, ils permettent d'accomplir les tâches beaucoup plus rapidement et on peut développer des circuits intégrés pour un traitement de signal embarqué directement dessus. Ils nous permettent de mesurer des temps de détection de photons de l'ordre de 10 picosecondes! C'est tout cela qui nous distingue, je crois. On se permet de travailler sur des éléments différents des autres.

## « ALICE, VOICI BOB; BOB, VOICI ALICE »

La principale caractéristique de la cryptographie quantique, c'est le fait qu'elle est théoriquement incassable. Si on atteint les objectifs souhaités, les échanges secrets entre un émetteur et un récepteur ne pourront jamais être déchiffrés, même par des ordinateurs quantiques.

**Plus de 80 % des données des appareils mobiles sont cryptées. En cryptographie quantique, Alice désigne toujours l'émetteur, et Bob, le récepteur. Égayons la chose avec un triangle amoureux : Eve se pointe. Elle personnifie l'intruse, l'espionne (« eavesdropper »). Elle veut s'immiscer, intercepter le message sans qu'on ne le sache. Exactement ce que l'on veut éviter dans des communications qui doivent à tout prix conserver un haut degré de sécurité. L'idée, c'est qu'Alice soit capable d'envoyer à Bob la clé de décryptage d'un message de manière absolument sûre et inviolable. Avec les protocoles quantiques, c'est possible, car si Eve essaie d'intercepter la clé, on le détectera aussitôt.**

## ET POURQUOI DONC?

Parce que les photons individuels qu'Alice utilise pour faire voyager jusqu'à Bob les clés quantiques secrètes sous forme de qubits agissent selon les lois de la mécanique quantique. Ces lois permettent d'affirmer que ces clés secrètes ne peuvent pas être captées ou copiées sans qu'on ne s'en aperçoive. Ainsi, lorsque Bob reçoit l'information, il peut vérifier, avec l'aide d'Alice, si le contenu a été intercepté par Eve.

C'est ce qu'on appelle la « distribution quantique de clés » ou Quantum Key Distribution ».

## DIFFÉRENCE AVEC LES MÉTHODES ACTUELLES

La différence entre la distribution quantique de clés et l'encryptage classique repose sur le fait que les clés sont transmises sous forme de qubits. Elle ne repose pas sur des algorithmes mathématiques mais sur des lois de la nature. En communication classique, un espion peut très bien intercepter une clé sans la modifier, ne permettant pas aux deux interlocuteurs de savoir qu'ils ont été espionnés. On peut en effet copier un message sans nuire au message original.

## COURSE CONTRE LA MONTRE

Toutes les organisations pour qui la sécurité des communications est indispensable à la définition même de leur mission sont très avides de voir se concrétiser ces protocoles quantiques pour assurer à long terme la sécurité de l'information, touchée aussi par l'avènement du Big Data. Plusieurs années sont encore devant nous avant que ne soit disséminée à large échelle l'informatique quantique. Cependant, une course contre la montre est déjà enclenchée entre les pirates informatiques et les cryptographes.

### INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

- Page Jean-François Pratte
- Page Serge Charlebois
- Projet QEYSat
- Article - Québec Science

## Des nouvelles méthodes théoriques modernes

# POUR RÉSOUDRE UN MYSTÈRE DE LONGUE DATE CONCERNANT LA SUPRACONDUCTIVITÉ À HAUTE TEMPÉRATURE DES CUPRATES

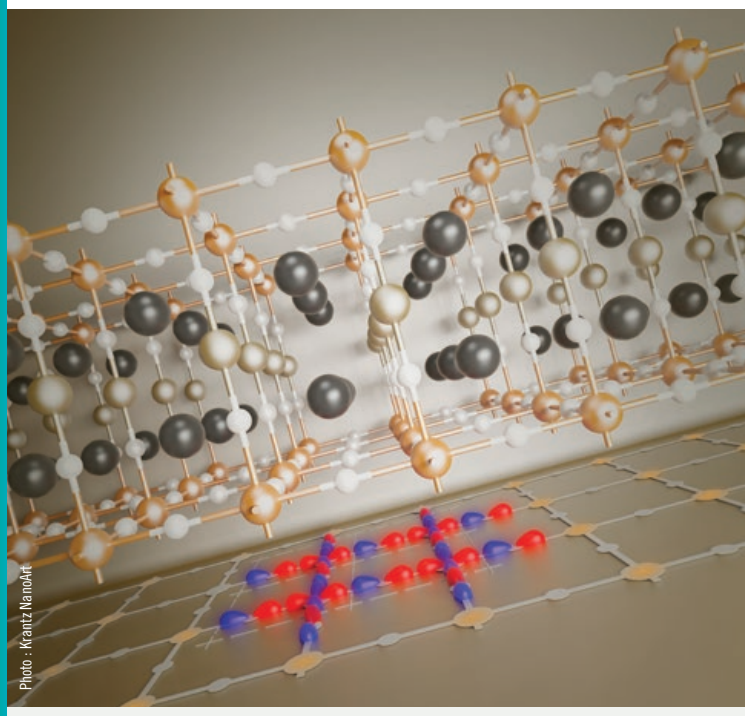


Photo : Krantz NanoArt

DANS LE RÉSEAU INFINI QUASI BIDIMENSIONNEL DU HAUT, LES ATOMES SONT REPRÉSENTÉS PAR DES SPHÈRES ET DES BÂTONS. DANS LA MÉTHODE DE CHAMP MOYEN DYNAMIQUE SUR RÉSEAU, L'AMAS AU BAS DE LA FIGURE EST RÉSOLU DE FAÇON AUTO-COHÉRENTE AVEC LE RÉSEAU INFINI. LES ORBITALES DONT ON TIENT COMPTE APPARAISSENT SUR CET AMAS. AUX COINS, LES ORBITALES D DU CUIVRE ET, SUR LES LIENS, LES ORBITALES P DES OXYGÈNES. LA FONCTION D'ONDE DES ÉLECTRONS A UNE GRANDE AMPLITUDE DANS CES ORBITALES LORSQU'IL Y A UNE FORTE RÉPULSION SUR LES CUIVRES. AINSI, LES OXYGÈNES DEVIENNENT DES TÉMOINS QUI NOUS RENSEIGNENT SUR LA FORCE DES INTERACTIONS ET SUR L'ORIGINE ULTIME DU MÉCANISME D'APPARIEMENT MENANT À LA SUPRACONDUCTIVITÉ.

La publication diffusée dans Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) of the United States of America tire son origine d'un projet de maîtrise ambitieux et se termine par ce qui pourrait être finalement la clé d'un des problèmes les plus importants de la physique, celui du mécanisme de la supraconductivité dans les supraconducteurs à haute température.

Faisant partie de l'équipe du professeur André-Marie Tremblay, Nicolas Kowalski est arrivé de Paris en avril 2019. Il s'est attaqué à expliquer l'observation expérimentale d'une corrélation entre la température maximale, à laquelle les supraconducteurs formés d'oxyde de cuivre deviennent supraconducteurs, et la probabilité que les électrons soient sur les oxygènes plutôt que sur les cuivres. Le projet était risqué parce qu'il reposait sur la modification et l'utilisation d'un programme développé par Patrick Sémon, lorsqu'il était à Sherbrooke, reposant sur une méthodologie différente de celles qu'on retrouve dans les livres de physique du solide. Cette méthodologie cause parfois des surprises puisqu'elle se heurte à des temps de calcul énormes dans certaines gammes de paramètres microscopiques.

Les simulations de Nicolas ont finalement retrouvé la corrélation mentionnée ci-haut. Cependant, le domaine de paramètres accessible aux calculs ne correspondait pas exactement à celui qui caractérise théoriquement les supraconducteurs à oxyde de cuivre.

« Nous avons utilisé une méthode dite de Monte Carlo Quantique en temps continu. Cette méthode nous permet d'accéder aux propriétés des matériaux à une température non nulle mais amène quelques désagréments. L'un d'eux, que l'on appelle le problème de signe, vient du fait que ce type d'algorithme a tendance à être moins précis, notamment à basse température et proche de transitions de phase du matériau. Dans certaines régions de paramètres – et notamment dans celle correspondant aux matériaux réels – pour accéder à une précision suffisante

et avoir des résultats exploitables, il faudrait faire tourner le programme de simulation pendant un temps beaucoup trop long. Pour pallier ce problème, nous avons choisi des paramètres microscopiques qui correspondaient à une vision idéalisée de la structure des oxydes de cuivre et nous permettaient de nous affranchir de ce problème de signe », soutient Nicolas.

C'est là que se sont joints à l'équipe Sidhartha Dash et son directeur de thèse, David Sénéchal. L'approche développée par David Sénéchal permet de jauger la force de la supraconductivité à température nulle, ce qui est une bonne mesure de la température de transition. Cette approche s'applique dans toute la gamme de paramètres microscopiques.

« Nous avons constaté que la probabilité d'occupation des électrons dans les orbitales de l'oxygène est entièrement contrôlée par l'énergie requise pour ajouter un deuxième électron dans les orbitales du cuivre. Cette énergie détermine également l'interaction effective de super-échange entre les orbitales du cuivre, qui est reconnu pour jouer un rôle dans le contrôle de la température de transition. Nous avons également vérifié que ce super-échange contrôle la force supraconductrice dans nos calculs. Ainsi, nous avons découvert qu'en fin de compte, ce super-échange est à l'origine de la corrélation observée entre l'occupation des électrons dans les orbitales de l'oxygène et la température de transition. », explique Sidhartha.

L'approche de David Sénéchal a donné des résultats cohérents avec ceux de Nicolas et a permis d'explorer la gamme de paramètres plus physiques. Cette approche a de plus permis de démontrer une autre corrélation observée expérimentalement entre la force de la supraconductivité et l'énergie nécessaire pour ajouter un deuxième électron sur le cuivre. Et surtout, elle a permis de montrer les raisons physiques qui font que cette corrélation et la précédente sont toujours reliées.

Il restait toutefois un mystère : la force de la supraconductivité dépendait de la force de la liaison chimique entre le cuivre et l'oxygène (la covalence). Or, cette covalence est un élément important qui détermine la valeur de l'interaction dite de super-échange qui, à son tour, grâce à des expériences de diffusion neutronique, avait été trouvée déterminante pour la valeur de la température de transition supraconductrice. Les calculs ont donc confirmé le rôle déterminant de la covalence.

Ainsi, trois expériences apparemment distinctes concernant la température de transition supraconductrice maximale se trouvent reliées et expliquées dans *Oxygen hole content, charge-transfer gap, covalency, and cuprate superconductivity.* La force du lien covalent entre cuivre et oxygène est donc un des éléments importants qui explique pourquoi le cuivre est le seul métal de transition menant à de la supraconductivité à haute température. Cette compréhension du mécanisme menant à la supraconductivité à haute température ouvre la voie à la conception de nouveaux matériaux ayant des températures de transition encore plus élevées. Le jeu en valait la chandelle et, grâce à cette collaboration entre membres de l'IQ, une bonne partie du voile sur le mystère est levée.

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

- Oxygen hole content, charge-transfer gap, covalency, and cuprate superconductivity

# LA SCIENCE QUANTIQUE COMME SOLUTION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Photo : UdeS – Michel Caron

Les rapports répétés du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) remettent invariablement dans l'actualité l'urgence d'agir en matière de changements climatiques. Des scientifiques comme Karl Thibault, de l'Institut quantique de l'UdeS, croient que la science quantique pourrait nous offrir des solutions si la recherche interdisciplinaire se mobilise.

On dit de l'ordinateur quantique que sa puissance serait telle qu'il pourrait contribuer, à terme, à trouver des solutions aux changements climatiques, entre autres par l'optimisation de la distribution d'énergie ou des réseaux de transport, ou encore par la simulation des interactions complexes à l'origine de phénomènes climatiques.

Mais comment intéresser des scientifiques à la question? C'est le défi auquel souhaite répondre Karl Thibault et ses collaborateurs de Q4Climate (prononcé « Quantum for Climate »). Les sept scientifiques provenant de l'industrie et du monde universitaire ont mis en ligne *Quantum technologies for climate change: Preliminary assessment*, une publication qui se veut une première contribution afin de lancer la conversation sur la possibilité de mettre les sciences et les technologies quantiques au service de solutions environnementales.

## DES TECHNOLOGIES MOINS ÉNERGIVORES ET PLUS PUISSANTES

Dans la publication, Karl Thibault s'intéresse aux questions énergétiques du calcul quantique. L'ordinateur quantique est souvent vanté pour son potentiel à résoudre des problèmes complexes plus rapidement que nos outils actuels. Cependant, ne serait-ce pas aussi pertinent, sinon plus, que celui-ci soit capable de résoudre des problèmes de façon moins énergivore que nos outils actuels, même si la résolution est moins rapide?

**La conclusion est que le recours à l'ordinateur quantique et à sa puissance de calcul permettrait, dans certains cas, non seulement de résoudre des problèmes complexes plus rapidement, mais de le faire en utilisant moins d'énergie.**

## LES RÉCENTS DÉVELOPPEMENTS

Q4Climate a poussé encore plus loin la réflexion en organisant son premier atelier les 2 et 3 février 2022, sur invitation uniquement. Plus de 60 personnes intéressées par les sciences quantiques et climatiques se sont réunies virtuellement. L'atelier était divisé en quatre sessions couvrant quatre domaines étroitement liés aux changements climatiques : l'énergie, la surveillance environnementale, le transport et les technologies de l'information et de la communication. Chacune de ces sessions était spécifiquement associée à un sujet pour lequel les technologies quantiques pourraient apporter des solutions : la simulation, la détection, l'optimisation et l'efficacité énergétique. Le format était simple et identique pour chaque session : une présentation de 45 minutes par un expert du domaine, suivie d'une heure de discussions en petits groupes.

## LES PRINCIPAUX CONSTATS QUI SE DÉGAGENT DE CET ATELIER SELON LES CONTRIBUTIONS DES PERSONNES PRÉSENTES :

- Les solutions technologiques au changement climatique doivent être mises en œuvre au cours de la prochaine décennie. Ainsi, les algorithmes à court terme sur les dispositifs quantiques de taille intermédiaire (NISQ) ou les premiers dispositifs tolérants aux fautes pourraient être notre meilleure chance d'avoir un impact.
- De même, les algorithmes d'inspiration quantique constituent une voie de recherche importante.
- Les experts en quantique veulent contribuer, mais n'ont pas l'expertise nécessaire pour trouver les goulots d'étranglement réels en matière de calcul dans les secteurs concernés. Il est donc important de créer des liens explicites entre les experts en quantique et les experts du domaine.
- Les décideurs politiques doivent être présents pour être sensibilisés aux sciences quantiques et aider à contrôler le battage médiatique.
- Il est essentiel d'accroître la synergie entre les communautés du matériel et des logiciels quantiques.
- La recherche interdisciplinaire est primordiale.

**LE MOUVEMENT EST DONC BEL ET BIEN LANCÉ ET INTÉRESSE UN NOMBRE GRANDISSANT DE SCIENTIFIQUES.**

### INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

- Lire l'article scientifique [PDF]
- [documentaire - anglais] *Leading Experts Urge Applying The Power of Quantum Technology to Sustainability in New Documentary* (contribution du Pr Alexandre Blais de l'IQ)

# TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

Photo : UdeS – Martin Blanche

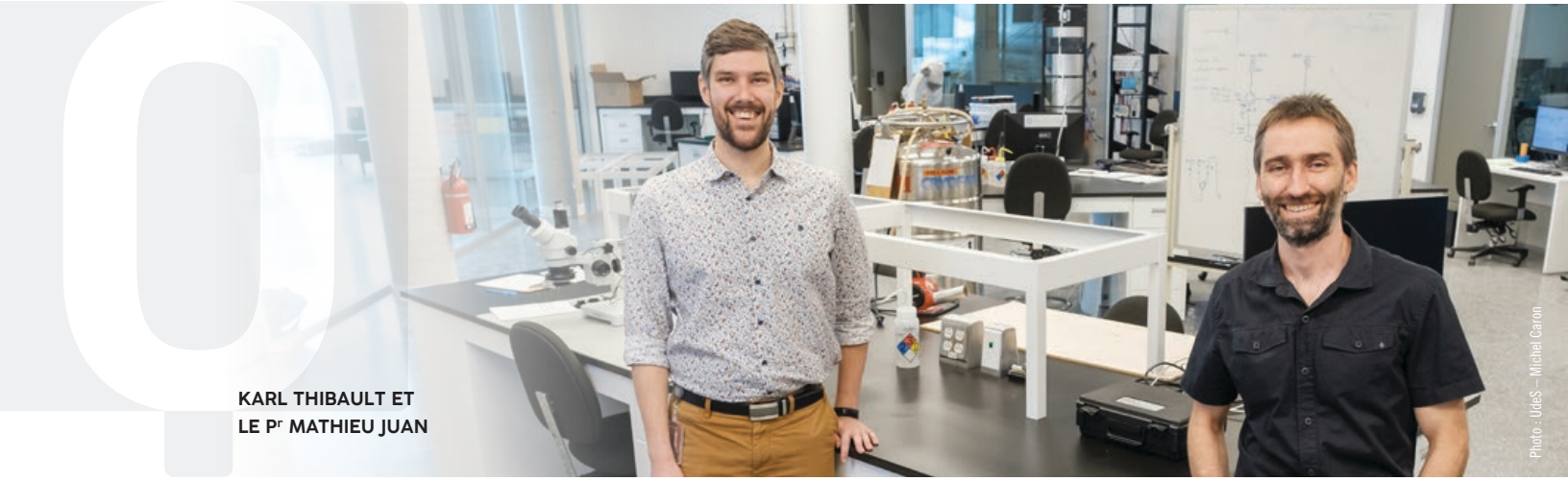
## LE FABLAB QUANTIQUE DE L'IQ

### Maximiser les ressources, réduire les coûts et favoriser les interactions

**LES DIFFÉRENTES PLATEFORMES DE L'UDES REGROUPENT DES RESSOURCES AFIN D'OPTIMISER LEUR UTILISATION ET LEUR ACCESSIBILITÉ POUR LA COMMUNAUTÉ UNIVERSITAIRE, EN PLUS DE RÉDUIRE LES COÛTS, LA PLUPART DU TEMPS TRÈS ÉLEVÉS, QUI Y SONT ASSOCIÉS. LE FABLAB QUANTIQUE (QFL) DE L'IQ FIGURE PARMI CES PLATEFORMES.**

### QU'EST-CE QU'UN « FABLAB »?

Le terme « FabLab » désigne généralement un laboratoire où plusieurs équipements sont mis à la disposition d'une communauté pour y effectuer de la fabrication, de la caractérisation, de la mesure et du prototypage. Le but d'un tel concept consiste à minimiser les coûts, maximiser l'utilisation des ressources et favoriser les interactions. Le FabLab de l'IQ diffère quelque peu du terme général, car il n'y a pas de fabrication de dispositifs en soi qui s'y effectue, contrairement à l'Institut interdisciplinaire d'innovation technologique (3IT).



KARL THIBAULT ET
LE Pr MATHIEU JUAN

Photo : UdeS – Michel Caron

## POURQUOI INCLURE UN FABLAB DANS LE NOUVEAU PAVILLON DE L'IQ?

Habituellement, chaque groupe de recherche possède son laboratoire, dans lequel se trouvent ses propres équipements. Bien qu'accessibles en tout temps, rare sont les groupes qui en font une telle utilisation. Le principe du QFL est donc de mettre en commun ces équipements, qui sont très coûteux, dans le but de rendre la recherche plus efficace, mais aussi plus durable, car en regroupant les ressources, on réduit les achats et on optimise leur utilisation. La plateforme permet aussi à différents groupes de recherche d'interagir, de collaborer et de mettre en commun leurs expertises, phénomènes qui seraient inévitablement moins présents si chaque groupe demeurait dans son laboratoire respectif.

En plus d'optimiser les ressources et de réduire les coûts, le QFL permet d'apporter une certaine quiétude aux chercheurs et chercheuses, car celui-ci est entièrement géré par l'IQ, ce qui veut dire que la plateforme prend en charge la maintenance et la réservation des équipements. Le coordonnateur du QFL, Karl Thibault, est la personne en charge de l'administration de la plateforme. Il assure donc la mise en place des politiques, les formations, les réservations, la facturation et les achats, en plus d'animer les rencontres du comité de gestion avec le corps professoral. De son côté, Pr Mathieu Juan, directeur du FabLab, s'occupe de tisser de nouveaux liens avec les instances gouvernementales, universités et entreprises, ainsi qu'assurer la pérennité de la plateforme. « Le QFL est une infrastructure unique qui abaisse grandement la barrière d'entrée pour la recherche de pointe dans le domaine des sciences et technologies quantiques. Par l'entremise de cette plateforme, nous rendons disponibles des équipements ainsi qu'une expertise de renommée mondiale au service de la communauté scientifique et industrielle. Le point clef de notre vision est de fournir un espace collaboratif pour la recherche expérimentale, favorisant de cette manière la créativité et l'innovation. »

Le mode de fonctionnement du QFL facilite aussi l'accès aux personnes externes de l'UdeS, car la plateforme a mis en place une structure qui permet de les accueillir de façon responsable et définie selon le cadre de l'université. « Par exemple, cette plateforme permet aux startups quantiques comme SBQuantum et Nord Quantique d'avoir accès à des équipements très coûteux et ainsi d'investir dans le développement scientifique plutôt que d'acquérir eux-mêmes ces équipements. En ayant une plateforme comme le QFL, on permet à ces entreprises d'utiliser des équipements avec un tarif à l'heure ou à la semaine, ce qui est beaucoup plus raisonnable pour une startup. Ils ont aussi accès à toute l'expertise des techniciens et des scientifiques qui sont là pour les aider. Pour notre communauté, c'est un peu la même chose : quand un étudiant va dans le QFL, il croise des techniciens, des professionnels et d'autres étudiants qu'il n'aurait pas croisé dans son laboratoire. Il se crée un réseau, ça ouvre les horizons de tout le monde et ça permet de mettre en commun les expertises. » – Karl Thibault, coordonnateur du QFL

## UNE PLATEFORME INNOVANTE

S'étant inspiré du modèle du 3IT, l'IQ est un des premiers dans le domaine de la quantique à posséder un endroit tel que le QFL en Amérique du Nord.

Composé de six locaux fermés ainsi que d'une grande pièce commune, le QFL permet à ses utilisateurs de travailler sur leurs expériences, situées dans les locaux, à l'aide des ordinateurs dans la pièce commune au centre du laboratoire. On y retrouve, entre autres, des équipements de caractérisation (systèmes de mesure de propriétés physiques et stations sous pointes), des réfrigérateurs à dilution ainsi qu'une table optique.

En investissant dans de telles infrastructures, l'Institut quantique a choisi de mettre à profit ses équipements de recherche de manière efficace et durable, en plus de favoriser la collaboration et l'interaction entre ses membres.

# Jeune pousse issue de l'IQ - Nord Quantique reçoit un financement de 9,5 M$

Photo : fournie

L'ÉQUIPE DE NORD QUANTIQUE

Quelques jours seulement après la désignation par le gouvernement du Québec d'une zone d'innovation à Sherbrooke, l'entreprise Nord Quantique, co-fondée par Julien Camirand Lemyre et Philippe St-Jean, annonce avoir récolté 9,5 $ millions pour financer le développement de sa technologie. L'entreprise essaimée de l'IQ développe une nouvelle génération de processeurs quantique visant à réduire les taux d'erreurs des ordinateurs quantiques.

Pour Michel Pioro-Ladrière, directeur scientifique de la zone d'innovation et directeur adjoint de l'IQ, c'est une autre bonne nouvelle pour la communauté de l'IQ, en particulier pour la communauté étudiante.

« Le financement annoncé aujourd'hui permettra à Nord Quantique de poursuivre le développement de sa technologie visant à mettre au point les composantes essentielles d'un ordinateur quantique tolérant aux fautes. Connaissant très bien l'équipe fondatrice, je sais que l'entreprise s'établit sur de solides bases scientifiques. Le financement ouvre la voie à l'embauche de nouveaux talents et c'est ce qui est au cœur de toutes nos démarches, mettre en place des conditions pour offrir des possibilités d'emplois intéressantes aux personnes qui diplôment à Sherbrooke. »

Pour Christian Sarra-Bournet, directeur exécutif de l'IQ, cette nouvelle illustre le déploiement des éléments fondamentaux qui constituent l'écosystème quantique. « Avec l'annonce récente de la zone d'innovation, c'est une preuve éloquente des possibilités qui s'offrent à Sherbrooke. On constate aujourd'hui que tous les éléments sont réunis, avec les entrepreneurs et les fonds d'investissements qui se mettent en action pour faire progresser les idées, les talents et le savoir-faire Sherbrookois. »

Nord Quantique utilisera ce financement pour déployer ses activités au cœur de la zone d'innovation, notamment par l'embauche de nouveaux talents et par la mise à l'échelle de sa technologie.

Nord Quantique

# PRIX ET DISTINCTIONS

## UNE RECONNAISSANCE SCIENTIFIQUE MAJEURE POUR LE PROFESSEUR LOUIS TAILLEFER

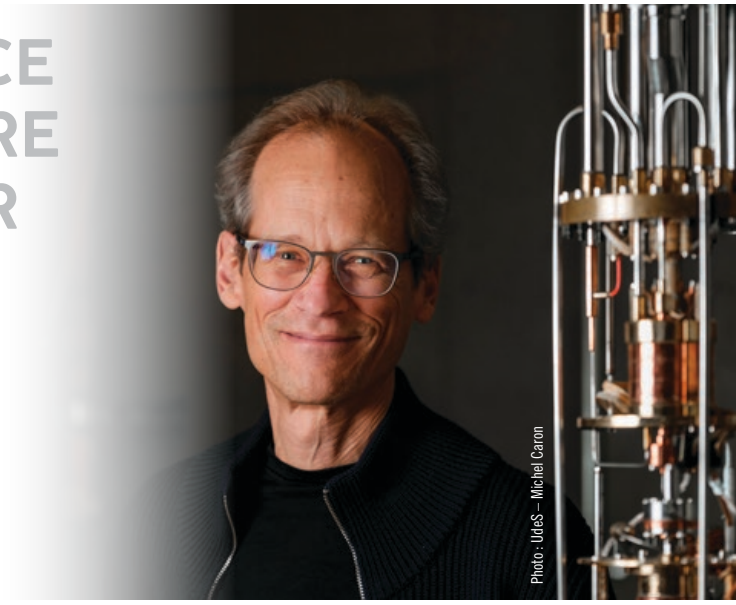


Photo : UdeS – Michel Caron

Depuis le 6 mai 2021, Louis Taillefer, professeur au Département de physique et membre de l'Institut quantique, figure parmi les nouveaux membres de la Royal Society of London. Environ 1700 membres, incluant près de 75 prix Nobel, composent cette société. Chaque année, jusqu'à 62 personnes sont invitées à joindre les rangs de la société parmi les quelque 800 candidatures proposées par les membres en place.

La Royal Society of London est l'une des plus anciennes sociétés savantes au monde. Fondée en 1660, elle compte parmi ses membres des centaines de scientifiques de renom, incluant Isaac Newton, Charles Darwin, Albert Einstein, Stephen Hawkins et, plus récemment, Tim Berners-Lee, Jennifer Doudna ainsi que Yoshua Benjio.

Les membres de la Royal Society œuvrent dans les domaines des sciences, de l'ingénierie et des technologies. La plupart proviennent du Royaume-Uni et des pays du Commonwealth, bien que quelques personnes d'autres pays soient également nommées chaque année. Les « *Fellows* » sont nommés à vie, à la suite d'un processus de nomination par les pairs basé sur l'excellence en recherche.

**« C'est un grand honneur pour moi d'être nommé membre de la Royal Society. Ça me touche en particulier, car c'est au Royaume-Uni, lors de mon doctorat à l'Université de Cambridge, que j'ai découvert ma passion pour la recherche expérimentale. En tant que Fellow, j'espère pouvoir assister la Royal Society dans sa promotion de la collaboration internationale en science. »**
**Professeur Louis Taillefer**

Parmi les personnes ayant suggéré sa nomination se trouve le professeur Anthony Leggett. Il explique l'importance des recherches de Louis Taillefer :

« Le Professeur Taillefer est un physicien expérimental dont la plupart des recherches portent sur ce que plusieurs considèrent comme le problème le plus urgent en physique de la matière condensée, soit l'origine de l'apparition de la supraconductivité dans une classe de cuprates à des températures approchant la température ambiante. Sa contribution la plus novatrice a été la mesure de leurs propriétés, lorsqu'exposés à des champs magnétiques très élevés. » Professeur Anthony Leggett, University of Illinois, Nobel de physique 2003.

« La science se bâtit sur les connaissances des personnes qui sont passées devant nous. La nomination de Louis Taillefer en tant que membre de la Royal Society le lie à une lignée de grandes et de grands scientifiques. Cet honneur souligne son apport à la physique et aux sciences quantiques en particulier. Si ce domaine est un fer de lance de l'Université de Sherbrooke, c'est grâce à des contributions comme celles de Louis Taillefer. » Professeur Jean-Pierre Perreault, vice-recteur à la recherche et aux études supérieures.

# EXCELLENCE DE L'ENCADREMENT AUX ÉTUDES SUPÉRIEURES EN RECHERCHE

## André-Marie Tremblay

La réputation du professeur **André-Marie Tremblay** ne se limite pas à l'excellence de sa recherche. Il concilie si bien la rigueur intellectuelle et les qualités humaines que c'est un immense privilège de le côtoyer. Depuis plus de 40 ans, il a fait bien plus que sa propre marque au Département de physique de la Faculté des sciences. Ses encouragements et son accompagnement indéfectible, de l'entrée à la diplomation, et même après, ont contribué à la renommée de centaines de personnes étudiantes aux cycles supérieurs, qui se sont propulsées sur la scène nationale et internationale. Sa culture du respect et de la bienveillance se transmet dans le milieu scientifique bien au-delà de l'UdeS.

Photo : UdeS – Michel Caron

Photo : UdeS

LE Pr JEAN GOULET, LE RECTEUR, Pr PIERRE COSSETTE, PATRICK VACHON ET LE Pr PATRIK DOUCET

# PRIX INSPIRATION

## Patrick Vachon

À l'occasion de la 5e édition du dévoilement des Prix Inspiration, l'Université de Sherbrooke a rendu hommage, le 17 novembre 2021, aux membres de son personnel qui s'investissent avec passion et générosité à travers leurs activités.

Patrick Vachon, est excellent pédagogue et d'un calme exemplaire, Patrick arrive à résoudre tout problème, peu importe sa complexité, et à désamorcer le stress lié à ces situations qui paraissent parfois inextricables, et ce, dans le plus grand des respects.

**Sa compétence et sa polyvalence font de lui une référence incontournable. Responsable de tous les systèmes ordinés du Département de physique et l'Institut quantique, Patrick est sollicité de toutes parts. Que ce soit pour des conseils sur la sécurité de l'information, pour l'aménagement d'un nouveau parc informatique ou encore pour du soutien à distance, Patrick répond avec promptitude, efficacité et rigueur.**

# GUGGENHEIM
# ALEXANDRE BLAIS

## Une bourse Guggenheim pour faire progresser la recherche en informatique quantique

ALEXANDRE BLAIS EN COMPAGNIE DE MEMBRES DE SON GROUPE DE RECHERCHE.

Photo : UdeS — Martin Blache

En tant que lauréat de 2021 d'une bourse Guggenheim, professeur Alexandre Blais pourra consacrer une bonne partie de son temps à ses travaux de recherche en informatique quantique. Ses travaux sont axés sur les circuits quantiques supraconducteurs pour le traitement de l'information quantique et l'optique quantique aux fréquences micro-ondes. Il contribue à l'essor du domaine de l'électrodynamique quantique des circuits (circuit QED), une architecture d'informatique quantique de pointe.

Pr Blais soutient que les travaux de recherche en physique quantique présentent un grand potentiel pour répondre aux crises mondiales, telles que la lutte contre les changements climatiques.

« Nous aurons besoin d'un ordinateur quantique qui nous aidera à résoudre des problèmes de taille, dit-il. Par exemple, la fixation de l'azote est un phénomène naturel, dans le cadre duquel les plantes extraient l'azote à température ambiante. Lorsque ce procédé est employé pour produire des engrais, il faut utiliser une pression et une température extrêmes qui consomment deux pour cent de l'énergie mondiale. Si nous pouvions réduire ce pourcentage, ce serait un changement majeur. Mais pour le moment, nous n'avons aucune idée de la manière d'y parvenir. Un ordinateur quantique nous aiderait à faire ces calculs. »

Bien qu'il ait remporté de nombreux prix de physique dans le passé, il mentionne que l'éventail des travaux reconnus par la bourse Guggenheim rend cette récompense unique. « Cette bourse reconnaît les différentes branches de l'activité humaine, allant de l'art à la philosophie. »

La bourse Guggenheim permettra à Alexandre Blais de se consacrer davantage à ses travaux de recherche l'an prochain, durant « une période excitante et riche en possibilités. »

**« Les retombées de ces travaux de recherche sont encore inconnues, poursuit-il. C'est ce qui rend l'aventure si exceptionnelle. »**

# COLLABORATIONS ET PARTENARIATS

Le projet de vulgarisation scientifique des Curieux quantiques a été lancé par l'IQ en septembre 2020 avec l'objectif d'accroître la compréhension de la science quantique et de son potentiel. Ce projet unique s'adresse aux entreprises, aux organismes de développement, aux organismes gouvernementaux ainsi qu'aux établissements d'enseignement qui possèdent peu de connaissances en quantique.

## INTÉRESSER UNE NOUVELLE GÉNÉRATION

Fort de l'engouement généré en 2020 par ses formations en informatique quantique, l'IQ a poursuivi sa lancée en 2021 avec trois nouveaux ateliers en français et en anglais de niveau intermédiaire: *Introduction aux algorithmes variationnels quantiques*; *Optimisation quantique avec Qiskit*; et *Apprentissage machine quantique avec Qiskit*. Ces ateliers permettent aux étudiantes et aux étudiants du niveau collégial et universitaire d'approfondir les connaissances acquises durant les trois premières formations.

Durant l'année, l'équipe a donné des ateliers en informatique quantique dans sept cégeps de la province à près de 500 personnes étudiantes. De plus, l'équipe a également présenté cinq ateliers pour l'Institut pour la mobilité et l'aérospatial au Canada (IMACA), rejoignant 561 étudiantes et étudiants de niveau collégial et universitaire.

En parallèle avec les activités dans les cégeps, les ateliers ont également été donnés à près de 140 étudiantes et étudiants de premier cycle de différentes universités québécoises et canadiennes.

## UN DÉFI ET UNE OCCASION À SAISIR

« Pour introduire la quantique au niveau collégial, il fallait partir de quelque chose d'assez concret. On a choisi de s'appuyer sur un phénomène quantique pas si étrange : la lumière. À partir de ça, on a pu introduire naturellement les concepts purement quantiques que sont la superposition et l'intrication qui sont au cœur du calcul quantique. Au final, nous sommes parvenus à une trame narrative à la fois accessible et rigoureuse, sans sombrer dans les mathématiques, qui permet d'apprivoiser et de mettre en pratique les concepts clés pour faire de la programmation quantique » **explique Maxime Dion.**

## DES ATELIERS QUI FONT DU CHEMIN

Pour le personnel enseignant des cégeps, ces activités permettent d'appliquer des concepts qui demeurent souvent très théoriques tout en contribuant à sensibiliser les jeunes aux applications potentielles que permettra le développement de l'ordinateur quantique.

Pour Melisande Fortin-Boisvert, enseignante en mathématiques au Cégep de Maisonneuve, cet atelier est un succès. « Les étudiantes et les étudiants de mon programme ont énormément apprécié les ateliers offerts par l'Institut quantique. La présentation était claire, inspirante et Jean Frédéric a su captiver l'auditoire. Tout en s'initiant à la programmation quantique, ceux et celles qui ont participé ont pu découvrir des applications de leurs cours d'algèbre linéaire et grâce à la plateforme IBM Q, ont pu tester leur programme sur un véritable ordinateur quantique. Un mélange parfait entre la théorie et l'application! »

## WEBINAIRES ET ÉVÉNEMENTS

En plus des ateliers en informatique quantique, l'équipe des Curieux quantiques a organisé cinq webinaires sur divers thèmes notamment les matériaux et les capteurs quantiques, la science quantique et le climat ainsi que les perspectives d'une carrière en quantique. L'équipe a également participé à plusieurs événements collaboratifs externes dont l'École de la fonction publique du Canada et Quantum Days 2022, rejoignant ainsi plus de 2000 personnes issues d'agences gouvernementales, d'entreprises et d'établissements d'enseignement.

### POUR PLUS D'INFOS

- Énigmes quantiques sur Youtube
- Balados curieux quantiques

## LES ÉNIGMES QUANTIQUES

L'IQ a lancé une série animée originale intitulée les Énigmes quantiques sur sa chaîne YouTube au mois de janvier 2022. Développée par l'équipe des Curieux quantiques et les programmeurs de l'Espace IBM Quantique de l'IQ, cette série animée est un outil pédagogique unique s'adressant aux personnes étudiantes de niveau collégial et universitaire possédant un intérêt scientifique. Réalisées par le Studio Nord Est, les énigmes illustrent des concepts clés de la programmation quantique de manière visuelle et ludique, et ce, en français et en anglais.

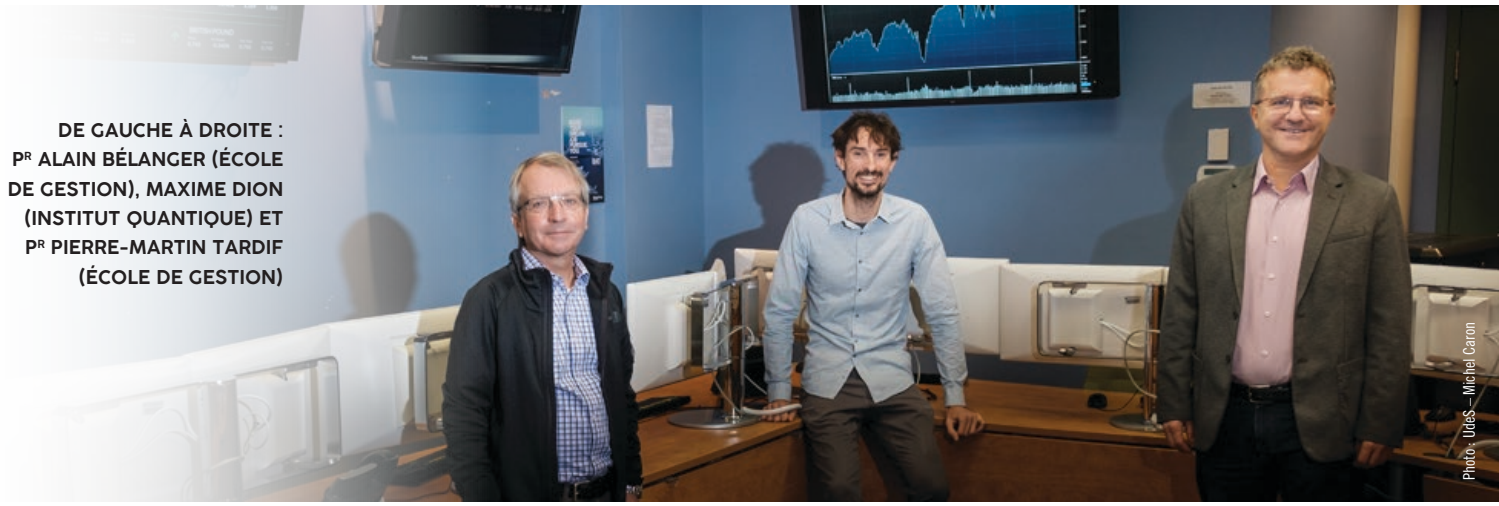
**« Durant nos ateliers en programmation quantique dans les cégeps à l'automne 2020, nous avons rapidement réalisé que pour améliorer la compréhension, il fallait développer un outil éducatif qui trouve écho chez les jeunes. Avec Les Énigmes quantiques, nous avons créé un univers ludique en se donnant une belle latitude créative. Nous voulons que nos énigmes rejoignent le plus de gens possible et vivent dans le temps. » – Ghislain Lefebvre**

Avec l'aide des programmeurs Maxime Dion et Jean Frédéric Laprade et de Tom Mallah, responsable au développement des communautés, Ghislain Lefebvre a écrit et conçu cinq énigmes ainsi qu'une capsule d'introduction. D'une énigme à l'autre, l'auditoire est amené à approfondir ses connaissances en programmation quantique et à tester sa logique face à un niveau de difficulté croissant.

Même si la notion d'avantage quantique n'est abordée que plus tard dans la série, l'idée principale derrière Les Énigmes quantiques est de traduire un problème classique sur un circuit quantique, et ainsi d'inspirer les jeunes à s'intéresser à ce domaine en pleine effervescence.

Une deuxième saison des Énigmes quantiques est déjà confirmée pour 2023.

# VERS UNE FINANCE QUANTIQUE, NOUVELLE COLLABORATION AVEC L'ÉCOLE DE GESTION



DE GAUCHE À DROITE : PR ALAIN BÉLANGER (ÉCOLE DE GESTION), MAXIME DION (INSTITUT QUANTIQUE) ET PR PIERRE-MARTIN TARDIF (ÉCOLE DE GESTION)

Photo : UdeS – Michel Caron

L'École de gestion et l'IQ s'allient dans le but d'explorer les possibilités de mettre l'information quantique au service de la finance.

Les données sont la matière première de la finance, et le traitement de ces données permet de prendre des décisions éclairées. C'est ce qui explique pourquoi le domaine est parmi ceux qui observent avec beaucoup d'intérêt les progrès de l'information quantique.

Les applications de l'information quantique à la finance pourraient servir, entre autres, à raffiner et accélérer la capacité d'analyse ainsi qu'à améliorer les prédictions et la détection de fraude. De meilleurs outils, plus performants, pourraient permettre de réagir plus efficacement aux fluctuations des marchés, augmentant les bénéfices potentiels et limitant les pertes. Il serait aussi possible d'estimer le plus précisément possible le moment optimal pour procéder à un investissement, ou encore offrir une meilleure vision d'un horizon de temps pour répartir un investissement. Bref, autant de décisions qui demandent de procéder à des calculs longs et complexes.

Récemment, les professeurs Pierre-Martin Tardif et Alain Bélanger ont entamé des discussions avec Ghislain Lefebvre, responsable au développement des partenariats de l'Espace IBM Quantique de l'IQ, sur la possibilité de mettre en place un groupe de lecture qui aura la tâche de recenser, dans les écrits scientifiques, les différentes applications de l'informatique quantique en finance.

**« Notre équipe de programmeuses et programmeurs en information quantique travaille avec nos partenaires industriels et également avec différents groupes de recherche à l'UdeS afin de faciliter l'adoption et l'apprentissage de ce nouveau type de programmation », explique Ghislain Lefebvre.**

Un premier atelier d'introduction a eu lieu en novembre et animé par Maxime Dion, développeur en informatique quantique. Cet atelier visait à initier le groupe de lecture à l'information quantique, en partant de l'explication de ce qu'est un ordinateur quantique, et en abordant les premières notions de ce type de programmation.

Pour le professeur Tardif, du Département de systèmes d'information et méthodes quantitatives de gestion, le moment est propice pour s'initier à la programmation quantique et tester ses applications : « Afin d'explorer davantage le potentiel mis en commun de ces deux domaines, des groupes de lecture seront mis sur pied. À intervalle régulier, le groupe se penchera sur des articles scientifiques pertinents aux applications de l'information quantique en méthodes quantitatives de gestion et tentera d'identifier des pistes de recherche dans le domaine. »

**« Nous n'avons pas l'intention de nous arrêter en si bon chemin, c'est un univers de possibilités qui s'ouvre, et nous voulons nous assurer que le corps professoral et la communauté étudiante en connaissent davantage sur le sujet, ajoute le professeur Alain Bélanger. Il est de notre devoir de constamment être à l'affût des avancées dans notre domaine, et c'est ce que nous visons dans cette collaboration avec l'IQ. »**

# SENSIBILISATION ET FORMATION

## COLLOQUE ACFAS 2021 – LA DEUXIÈME RÉVOLUTION QUANTIQUE : ÉTAT DES LIEUX

La 88e édition du rendez-vous francophone annuel des sciences, organisé par l'ACFAS présentait un caractère tout à fait inédit, une première édition présentée entièrement en ligne. Les deux universités hôtesses, l'Université de Sherbrooke et l'Université Bishop's ont accueilli du 3 au 7 mai 2021, plus de 6000 congressistes provenant de 35 pays.

Parmi les colloques organisés dans le cadre du congrès, celui de l'Institut quantique préparé par un comité composé de Dave Touchette, Yves Bérubé-Lauzière, Denis Morris, Marc-Antoine Roux, André-Marie Tremblay et Karl Thibault.

Avec le colloque *La deuxième révolution quantique*, les membres du comité se sont donnés comme mandat de réunir des chercheurs et chercheuses de renommée internationale qui œuvrent dans ce domaine de recherche et qui ont réfléchi aux enjeux sociétaux liés à cette deuxième révolution quantique.

Photo : Michel Caron UdeS

LE 3 MAI 2021, OUVERTURE DU 88e CONGRÈS DE L'ACFAS. ÉVÉNEMENT QUI A LIEU SUR LA SCÈNE DU CENTRE CULTUREL MAIS SANS PUBLIQUE ET DIFFUSÉ EN VIRTUEL. Pr JEAN-PIERRE PERREAULT, VICE-RECTEUR À LA RECHERCHE ET AUX ÉTUDES SUPÉRIEURES DE L'UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE ET PRÉSIDENT DE L'ACFAS.

Avec en tête l'objectif de sensibiliser à la fois les gens du domaine et le grand public aux toutes dernières et futures innovations en technologies quantiques et à leurs impacts sociétaux potentiels les chercheurs et chercheuses Thierry Giamarchi (Université de Genève), Louis Taillefer (UdeS - Université de Sherbrooke), Anne Broadbent (Université d'Ottawa), Oussama Moutanabbir (Polytechnique Montréal), Catherine Pépin (Institut de Physique Théorique, CEA Saclay) Olivier Landon-Cardinal (ÉTS - École de technologie supérieure) et Eva Dupont-Ferrier (UdeS - Université de Sherbrooke) ont tour à tour dressés les plus récents développements dans le domaine des sciences quantiques.

La journée s'est terminée par un panel habilement mené par la journaliste de Radio-Canada, Bin Anh Vu Van.

Les panélistes Félix Beaudoin (Les Technologies NanoAcademic), Alexandre Blais (UdeS - Université de Sherbrooke), Jean-Paul Delahaye (Université de Lille), Julie Lefebvre (Conseil national de recherches Canada) et Daria Riabinina (Ministère de l'Économie et de l'Innovation) ont tenté de pousser plus loin la réflexion sur l'avenir des technologies quantiques.

Les panélistes s'entendent tous pour inviter le plus grand nombre à s'intéresser. D'une part pour des raisons scientifiques, un afflux de nouvelles personnes en recherche équivaut à une accélération des découvertes dans le domaine. Comme le précise Alexandre Blais : « Il faut un maximum de gens qui puissent exploiter les avantages quantiques et identifier des applications que nous, les chercheurs, n'avons pas encore vus ».

# WINTER SCHOOL – FONCER UBC-CREATE

Les participantes et participants au programme QSciTech ont pris part à un atelier sur l'apprentissage automatique quantique. Offert en ligne à la fin du mois de janvier 2022, réunissant plus de 45 personnes, issues de la communauté étudiante.

Le programme comptant six jours de formation allant d'un atelier sur Qiskit l'outil de développement logiciel, à une introduction à l'apprentissage machine, dans le but de pouvoir développer un code prototype utilisant Python afin de l'utiliser sur les plateformes d'IBM. Une session de poster à la fin de l'atelier a permis à tout le monde de voir l'évolution des projets de chacune équipe.

Les personnes participantes ont également eu droit à un panel réunissant Catalina Albomoz (Xanadu), Samuel Boutin (Microsoft), Sarah Blanchette (IQ). Ces acteurs et actrices du monde de l'informatique quantique ont discuté du domaine, ses aspects passionnants et ses défis, les connaissances clés pour œuvrer dans le domaine. Le panel s'est conclu par un exercice de prospective pour tenter de prédire à quoi ressemblera l'informatique quantique dans les prochaines années.

# ECOLE LIA

La sixième réunion du Laboratoire International Associé (LIA) fran-co-canadien « Circuits et matériaux quantiques » s'est déroulée à Ax-les-Thermes du 28 septembre au 1er octobre 2021. Ce colloque a permis de faire le point sur les circuits supraconducteurs et les dispositifs quantiques hybrides d'une part, et les systèmes corrélés et la supraconductivité non-conventionnelle d'autre part.

Les membres des équipes du LIA, leurs étudiants et post-doctorants, ainsi que leurs collaborateurs ont participé à ce colloque. Alexandre Blais, Mathieu Juan et Jeffrey Quilliam de l'IQ ont présenté dans le cadre de ce colloque.

# PORTES OUVERTES ESPACE IBM Q

Le 24 novembre 2021, l'Espace IBM Quantique de l'IQ a tenu ses deuxièmes portes ouvertes virtuelles. Ce fut une occasion pour la centaine de participants de prendre connaissance des développements les plus récents et les projets en programmation quantique des membres et partenaires de l'Espace IBM Quantique.

En plus d'une présentation portant sur la feuille de route technologique d'IBM, des membres de l'Espace quantique comme Lockheed Martin ou CMC Microsystems ont offerts une mise à jour de leurs projets, tout comme Statistique Canada.

Le directeur scientifique de la plateforme, le Pr Stefanos Kourtis a enchaîné avec l'étalonnage quantique.

**L'IQ a conclu les porte ouvertes en présentant ses projets collaboratifs de recherche et son programme de vulgarisation quantique lors de l'événement. En marge des portes ouvertes, l'équipe de l'Espace IBM Quantique de l'IQ a également donné un atelier pour la communauté interne de l'UdeS en optimisation quantique avec plus de 20 participants.**

# ACT 800/LA QUANTIQUE SE PRÉPARE À RAYONNER À SHERBROOKE

**LE VENDREDI 3 DÉCEMBRE 2021, L'ACCÉLÉRATEUR ENTREPRENEURIAL DESJARDINS (AED) DE L'UDES ASSURAIT LA PRODUCTION DE L'ÉVÉNEMENT DANS LE CADRE DU COURS ACT800 – MODÈLES D'AFFAIRES DE PROJETS ENTREPRENEURIAUX DE TECHNOLOGIES QUANTIQUES.**

Offert dans le cadre du programme de formation QSciTech financé par une subvention CRSNG-Foncer, dirigé par le Pr Yves Bérubé-Lauzière de la Faculté de génie, ce cours donné par le Pr Jean Bibeau de l'École de gestion et directeur de l'AED, vise à développer l'esprit, l'attitude et le langage entrepreneurial en menant une idée de projet de technologie quantique vers un modèle d'affaires. Les deux professeurs sont aussi membres de l'Institut quantique (IQ).

Au total, trois projets étaient présentés par une cohorte hétérogène composée de personnes étudiantes en sciences, d'un professeur de physique quantique, de personnes professionnelles de l'IQ et d'une personne de l'Accélérateur de création d'entreprises technologiques (ACET) Banque Nationale.

Le projet du groupe de QSciTech vise à « développer un outil d'imagerie pour aider les ingénieurs et les scientifiques à localiser les défauts de fabrication ou de conception dans leurs circuits électroniques », explique Marc-Antoine Roux, membre de l'équipe. « L'objectif est d'aider à surmonter les défis de la miniaturisation pour accélérer la phase de recherche et le développement des nouvelles technologies. Plus concrètement, l'outil est un magnétomètre basé sur des boîtes quantiques. »

Photo : AED

DE GAUCHE À DROITE :
JEAN BIBEAU, PIERRE-ANTOINE MOUNY, PATRICK CUSSON, MARC-ANTOINE ROUX, LINXIANG HUANG, SOUFIANE KAGHAD, YVES BÉRUBÉ-LAUZIÈRE.

DE GAUCHE À DROITE :
JEAN BIBEAU, ALEXANDRE PRÉMONT-FOLEY, ROMAIN RUHLMANN, VINCENT REIHER, MARTIN LAFOREST, LAURENT COLAS.

Photo : AED

Un autre projet, piloté par une équipe de l'IQ, a donné naissance au modèle d'affaires d'un laboratoire vivant qui vise à mesurer l'impact de changements proposés dans le modèle de formation des études aux cycles supérieurs. Ayant identifié des lacunes sur le plan de la formation, l'objectif ultime est de produire un modèle exportable pour d'autres instituts et environnements de recherche dans les Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques (STIM).

Photo : AED

DE GAUCHE À DROITE : JEAN BIBEAU, CHRISTIAN SARRA-BOURNET, GHISLAIN LEFEBVRE, MICHEL PIORO-LADRIÈRE, KARL THIBAULT, JULIE MORRISSETTE, YVES BÉRUBÉ-LAUZIÈRE.

Selon le Pr Michel Pioro-Ladrière, directeur adjoint de l'IQ, ce cours influencera de façon positive le développement de la recherche : « À travers le processus du cours, nous avons constaté que nous avions misé juste en souhaitant placer les personnes étudiantes au centre de la recherche. C'est ce qui, entre autres, a mené au démarrage d'entreprises issues de projets étudiants. Tout ça a un effet positif sur la science. Il faut aussi tenir compte du fait que toutes les personnes étudiantes n'ont pas les mêmes intérêts, à chaque personne son parcours. »

Finalement, le projet DevTech, du groupe mené par le responsable désigné par l'ACET, est un laboratoire collaboratif offrant une gamme d'équipements, d'instruments et d'installations utiles à la poursuite de la recherche industrielle en science quantique. Cette initiative vise à favoriser la création de nouvelles entreprises en technologies quantiques à Sherbrooke et dans ses environs afin de faire fleurir l'écosystème quantique.

Laurent Colas, membre de ce groupe, mentionne que le cours ACT800 sera très utile pour son projet dans l'avenir : « Le cours nous force à faire des entrevues avec des personnes d'intérêts dans le domaine, ce qui nous indique ce qui fonctionne et ne fonctionne pas dans le monde des jeunes entreprises. De plus, le cours nous montre les outils et la pensée critique pour vraiment tester les hypothèses, dans l'objectif de rendre le projet robuste et à l'épreuve d'imprévus. »

« Au final, dit le Pr Jean Bibeau, la richesse de cette expérience est venue du dialogue constant et des interactions entre toutes ces personnes étudiantes. Ce sont trois projets que chacune de ces personnes a portés. C'est assez impressionnant de constater l'appropriation du langage, des concepts et des pratiques qu'elles pourront transférer dans toutes leurs sphères de vie. »

Les trois organisations retirent donc une expérience entrepreneuriale enrichissante, qui contribuera à positionner Sherbrooke en tant que pôle majeur en quantique.

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

- Site de l'Accélérateur entrepreneurial Desjardins de l'UdeS
- Site de QSciTech
- Site de l'ACET

# PERSONNES

## NOUVEAUX MEMBRES DE L'IQ

### Anne Mackay

#### SON PARCOURS

Le parcours d'Anne Mackay débute à l'Université Laval, où elle complète un baccalauréat en actuariat. Après deux ans à travailler dans l'industrie, elle décide de retourner sur les bancs d'école pour effectuer une maîtrise en mathématiques financières à l'Université Concordia, et un doctorat en actuariat à l'Université de Waterloo. Elle se dirige ensuite à l'ETH Zurich pour un postdoctorat, qui dure deux ans. Anne devient par la suite professeure à l'UQAM au Département de mathématique, où elle y enseigne les probabilités et les mathématiques actuarielles à tous les cycles. Nouvellement professeure à l'UdeS depuis novembre 2021, Anne occupe un poste interfacultaire en mathématiques à la Faculté des sciences et en finance à l'École de gestion.

#### SON ARRIVÉE À L'IQ

Ses premiers pas à l'IQ s'effectuent par l'entremise d'une co-supervision, avec Alain Bélanger, du département de finance, d'un étudiant à la maitrise de l'École de gestion qui veut explorer la finance quantique. Afin d'aider cet étudiant, Pr Mackay doit donc en apprendre un peu plus sur la quantique. Par l'intermédiaire des ateliers de programmation quantique de l'IQ à l'École de gestion, une relation de collaboration se crée entre elle et l'IQ, grâce à laquelle Anne et son étudiant bénéficient d'un accès à la plateforme IBM Quantique ainsi qu'à l'expertise de leurs programmeurs afin de les aider dans leur démarche.

**« Je ne me serais jamais embarqué dans un tel projet ailleurs qu'ici, à Sherbrooke, où tous les éléments sont en place pour le faire. La courbe d'apprentissage est abrupte, mais comme je suis si bien entourée, c'est un projet vraiment stimulant. »**
**- Anne Mackay**

#### LA PLACE DES MATHÉMATIQUES À L'IQ

Bien sûr, les mathématiques sont à la base des trois matières qui constituent l'Institut quantique, soit la physique, le génie et l'informatique. Toutefois, selon Anne, les mathématiques et la physique ont beaucoup à s'apporter l'un l'autre. « Cette interaction avec les autres permet de voir les similarités et les différences par rapport à l'utilisation des mathématiques, et cette collaboration est nécessaire à la réussite des apprentissages qu'elle provoque. En effet, les mathématiques ont beaucoup à apprendre des gens ici parce qu'ils font une utilisation différente de certains outils. »

#### SES ASPIRATIONS

Anne aspire, au cours des prochaines années, à appliquer des algorithmes de calcul quantique afin de résoudre des problèmes provenant du domaine de la gestion du risque en finance et en assurance. Elle vise à devenir une ambassadrice du calcul quantique dans la communauté actuarielle et financière, et éventuellement, à contribuer à l'avancement des algorithmes à l'aide de ses connaissances en probabilités et statistiques.

# Sylvain Nicolay

## SON PARCOURS

Originaire de Belgique, Pr Sylvain Nicolay débute son parcours en physique à l'École polytechnique de Bruxelles et devient ingénieur physicien. Il se dirige ensuite en Suisse pour réaliser son doctorat à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), où il se spécialise en photonique et électronique quantique. Puis, son entrée sur le marché du travail commence au laboratoire de photovoltaïque de l'EPFL où il est d'abord postdoctorant puis chef d'équipe pendant quatre ans, avant de joindre le Centre Suisse d'Électronique et de Microtechnique (CSEM), où il est chef d'un groupe de recherche dans la photovoltaïque pour les cellules solaires à haut rendement pendant près de 10 ans. Attiré par de nouveaux horizons, Pr Nicolay entreprend une recherche d'emploi au Québec, et découvre ainsi l'existence de l'IQ de l'Université de Sherbrooke. Comme un poste est affiché, il postule, et obtient un emploi de professionnel de recherche.

Ce qui l'a attiré à Sherbrooke est la présence de plusieurs infrastructures de pointe possédant une grande variété d'équipements, telles que l'Institut interdisciplinaire d'innovation technologique (3IT) et l'IQ. La présence de startups telles que Nord Quantique et SBQuantum a aussi pesé dans la balance, car pour Pr Nicolay, il est important que la recherche puisse servir à la société.

## SON ENTRÉE À L'IQ

Ayant donc débuté son parcours à l'IQ comme professionnel de recherche dans le groupe du Pr Michel Pioro-Ladrière, Pr Nicolay est rapidement devenu professeur. Aujourd'hui, il peut désormais travailler sur ses propres thématiques de recherche, mais toujours en collaboration avec le Pr Pioro-Ladrière, avec qui il partage la Chaire pour le déploiement des technologies quantiques.

De son côté, le Pr Pioro-Ladrière travaille sur les qubits de spin, tandis que Pr Nicolay, pour sa part, se concentre sur les matériaux supraconducteurs, dans le but de réaliser des circuits quantiques. Plus précisément, il travaille sur les Jonctions Josephson et essaie de développer un processus de fabrication plus reproductible et contrôlable afin d'industrialiser la technologie. Pr Nicolay enseigne également à la Faculté de génie, dans le Département de génie électrique et informatique.

## LA SUITE

Au cours des cinq prochaines années, Pr Nicolay aspire à réussir à mettre au point des procédés de fabrication qui participeront à une large adoption de la technologie quantique, ce qui passerait par la première démonstration d'une ligne pilote de production à Sherbrooke.

# Allison Wustrow

Allison Wustrow s'est jointe cette année à l'équipe de l'IQ en pleine pandémie. La professeure au département de chimie représente bien les efforts d'interdisciplinarité de l'équipe.

Ses études de premier cycle se feront à l'University of California, Berkeley. Et pourquoi la chimie? « En anglais on dit souvent que la chimie c'est l'étude de la matière. J'ai étudié le chinois et dans cette langue, la chimie c'est l'étude du changement (Huàxué 化学). La chimie c'est vraiment voir les choses qui changent : les atomes, les molécules. C'est ce qui rend le sujet vraiment intéressant parce qu'on peut créer des matériaux qui n'ont jamais existé auparavant. J'ai donc choisi la chimie parce que j'aime la synthèse et ça m'apparait une science qui a le potentiel de changer le monde, qu'il suffise de penser aux batteries, aux ordinateurs, et même aux médicaments. »

Son parcours se poursuit aux études supérieures près des rives du Lac Michigan où elle complète un doctorat à Northwestern University près de Chicago. Elle s'intéresse aux batteries au magnésium au sein du JCESR (Joint Center for Energy Storage Research).

**« Je crois que le premier nouveau matériau que j'ai fait c'était un assemblage de magnésium de chrome et de soufre $MgCr_2S_4$. Ce n'est pas exactement ce que nous recherchions comme cathode. Les personnes qui oeuvrent en chimie organique, comme mon père, peuvent prédire le résultat en sachant que l'atome entre d'une telle manière dans la molécule et en connaissant le mouvement des électrons. Dans mon cas, le résultat est difficile à prévoir tant que nous n'avons pas expérimenté. C'est un peu comme de se dire : voici, je mélange deux poudres, mettons-les au four et voyons ce que ça fait. »**

Photo : UdeS – Michel Caron

Son parcours se poursuit à la Colorado State University pour un stage postdoctoral afin d'approfondir l'étude des matériaux solides et comme elle le précise, « vraiment comprendre la marche à suivre. »

Elle postule à l'Université de Sherbrooke, et, pandémie oblige, fera son entrevue de façon virtuelle et fera son arrivée sur le campus, sans l'avoir vu au préalable. « Je me suis dit : ils ont un département de physique, un département de chimie, c'est vraiment intéressant. J'ai ensuite constaté que je pouvais faire un lien entre le département de chimie et l'IQ. Vu la proximité des deux disciplines, je suis un peu étonnée d'être la première chimiste dans cet institut. »

Comme première chimiste à joindre l'équipe de l'IQ, Allison Wustrow souhaite explorer la synthèse de matériaux, en partageant ses connaissances sur le degré d'oxydation. Comment créer des matériaux, ce qui ne peut être synthétisé, sont autant de questions que souhaite explorer Allison Wustrow.

# PROGRAMME DE BOURSES POSTDOCTORALES DE L'IQ

## Nicolas Gauthier

Le programme de stagiaire postdoctoral a permis d'accueillir Nicolas Gauthier. Il est arrivé à l'IQ en août 2021 pour entreprendre son second stage postdoctoral, cette fois-ci dans le groupe du Pr Jeffrey Quilliam. Il a réalisé son précédent stage dans le groupe d'un spécialiste reconnu de la spectroscopie photoélectronique résolue en angle (ARPES pour l'acronyme anglais) sur les cuprates, le Pr Zhi-Xun Shen de l'Université Stanford.

Comme pour plusieurs personnes étudiantes en physique, c'est l'attrait de l'astrophysique qui incite Nicolas Gauthier à s'inscrire en physique. Après avoir fait ses études collégiales en sciences de la nature au Cégep Régional Lanaudière à l'Assomption, il entreprend un baccalauréat en physique à l'Université de Montréal.

« J'ai eu l'occasion de faire quelques stages durant mon baccalauréat. Le premier était en physique des particules dans le laboratoire de TRIUMF à Vancouver au sein d'une imposante équipe. Mon deuxième stage a été réalisé au sein du groupe du Pr Andrea Bianchi à l'Université de Montréal, en physique des matériaux, plus précisément en croissance et caractérisation des matériaux. Ce sujet m'intéressait davantage, à tel point que c'est dans ce groupe que j'ai débuté ma maîtrise. Je suis donc passé de l'astrophysique au magnétisme. Je suis allé en Europe quelques fois durant ma maîtrise pour faire des mesures sous pression et de la diffusion neutronique avec des collaborateurs suisses, ce qui m'a mené à faire mon doctorat à l'Institut Paul Scherrer, pas très loin de Zürich, en affiliation avec l'ETH Zürich. »

C'est au centre d'infrastructures de grande envergure (sources de neutrons ou de muons, synchrotron, etc.), comme celles présentes à l'Institut Paul Scherrer, que Nicolas Gauthier raffine sa connaissance de la physique des matériaux. L'ampleur imposante de ces grandes installations de recherche et le fait qu'il en existe très peu sur la planète exige des scientifiques une planification rigoureuse et une préparation méticuleuse pour en faire l'utilisation.

« J'ai consacré la grande majorité de mon temps à étudier ce qu'on appelle des aimants frustrés à l'aide de la diffusion neutronique, mais j'ai aussi touché à d'autres catégories de matériaux comme les fermions lourds et les multiferroïques. En plus de la diffusion neutronique, j'ai aussi appris des techniques expérimentales qui sondent la matière avec des muons ou des rayons-x. C'était facilement accessible à l'Institut Paul Scherrer, alors j'ai eu la chance d'être en contact avec plusieurs types d'expérience ».

« A la suite de mon doctorat, j'envisageais faire de la physique de l'ultrarapide. J'avais déjà un peu d'expérience avec la spectroscopie photoélectronique et j'étais excité par l'idée de faire des études de ce type dans le domaine temporel ». Pour réaliser son stage postdoctoral, Nicolas s'est donc tourné vers le professeur Zhi-Xun Shen, un expert dans le domaine de la photoémission, qui l'invite à se joindre à son groupe de recherche. « Dans le laboratoire j'ai eu l'occasion de faire de l'ARPES résolu en temps ce qui m'a permis de mieux comprendre la dynamique électronique, le couplage électron-phonon et les états métastables. » Comme il l'indique, apprendre la technique de spectroscopie photoélectrique, sensible aux électrons de conduction, était particulièrement enrichissante, mais, pour la suite, il a décidé de réorienter ses recherches vers le magnétisme, un sujet qui l'avait vivement passionné durant le doctorat.

### SES INTÉRÊTS DE RECHERCHE

Intéressé par une carrière en recherche dans une université québécoise, Nicolas a observé l'effervescence dans le domaine des sciences quantiques à Sherbrooke et les possibilités d'envisager une vie professionnelle sur place. C'est d'ailleurs cette multitude de possibilités qui a attiré le postdoc à l'IQ.

Il nous détaille ici le projet de recherche qu'il mène pendant son séjour à Sherbrooke. « Il vise à caractériser les corrélations et fluctuations multipolaires dans les matériaux quantiques pour clarifier leur importance dans divers états de la matière. Alors qu'on se limite souvent à l'étude des dipôles magnétiques, les multipôles décrivent complètement la densité de charge électrique et la densité d'aimantation des électrons de valence. Ce projet est particulièrement ambitieux car les multipôles ne sont pas mesurés directement par la plupart des techniques expérimentales. J'utiliserai donc une combinaison de techniques expérimentales (vitesse ultrasonore, résonance magnétique nucléaire, spectroscopie neutronique) ainsi que des modèles théoriques pour mettre en évidence le rôle des multipôles. Mes recherches apporteront de nouvelles perspectives dans le domaine des liquides de spins, des supraconducteurs et de la spintronique. »

Nicolas Gauthier maîtrise plusieurs techniques expérimentales, autant dans les laboratoires de l'IQ que dans des infrastructures de grande envergure à l'international. Cette expertise, jumelée à ces multiples intérêts de recherche, font de lui un chercheur polyvalent pouvant explorer des univers variés.

# IQ EN CHIFFRES

**35** CORPS PROFESSORAL

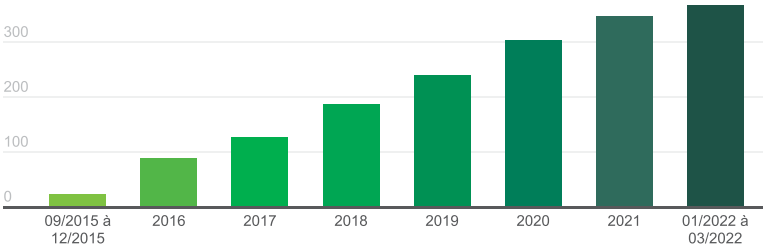
**168** COMMUNAUTÉ ÉTUDIANTE

**18** STAGIAIRES POSTDOCTORAUX

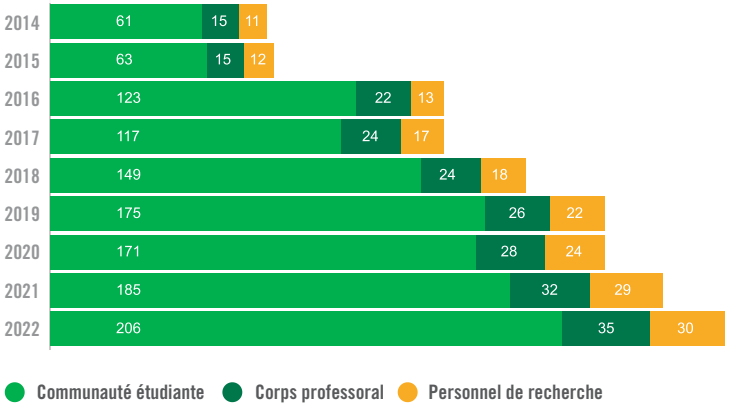
**30** PERSONNEL DE RECHERCHE

**86** PUBLICATIONS

## SÉMINAIRES

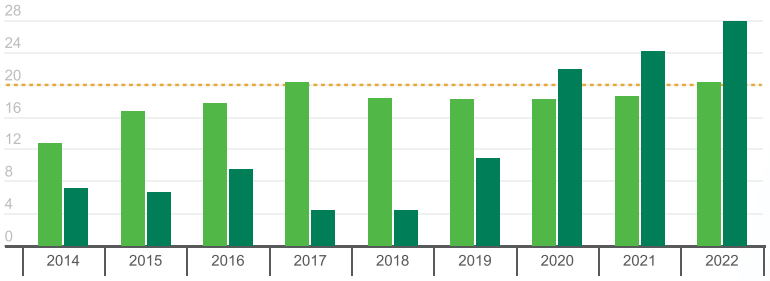



## EFFECTIFS DE L'IQ



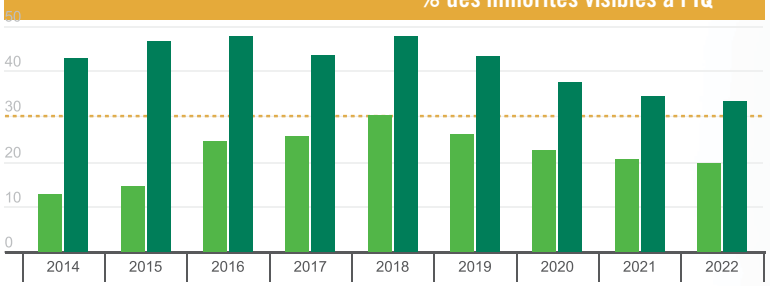
## ÉQUITÉ, DIVERSITÉ ET INCLUSION

### % des femmes étudiantes à l'IQ



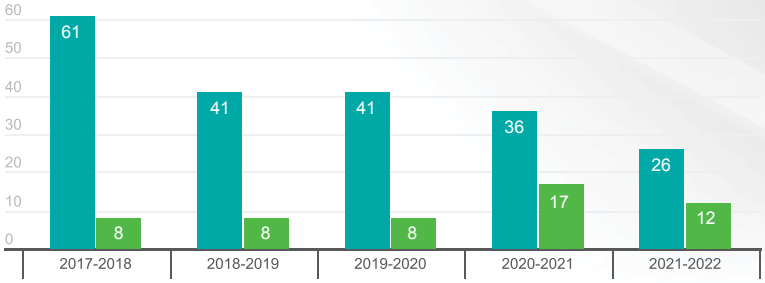

Étudiantes cycles supérieurs · Postdoc · Cible

### % des minorités visibles à l'IQ



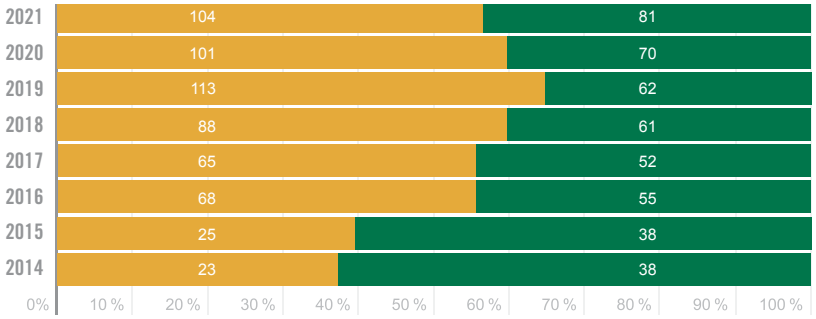

Étudiantes et étudiants cycles supérieurs · Postdoc · Cible

## REPRÉSENTATION DES PERSONNES INVITÉES À L'IQ




Hommes · Femmes

## PROVENANCE DE NOTRE COMMUNAUTÉ ÉTUDIANTE




% internationaux · % local

# VISITEURS DE L'IQ

| | | |
|---|---|---|
| **Martin Fuechsle** | Archer Materials Limited | Australie |
| **Carmen S. Menoni** | Colorado State University | États-Unis |
| **Zach Johnston** | Creative Destruction Lab | Canada |
| **Benjamin Bacq-Labreuil** | École Polytechnique | France |
| **Kristel Crombé** | Ghent University | Belgique |
| **Laurent Bechou** | IMS-CNRS | France |
| **Mathieu Maisonneuve** | INO | Canada |
| **Kenneth Beyerlein** | INRS | Canada |
| **Frédérico Rosei** | INRS | Canada |
| **Luca Planat** | Institut Néel | France |
| **Konrad Lehnert** | JILA NIST | États-Unis |
| **Gennady Y. Chitov** | Laurentienne | Canada |
| **Cyril Proust** | LNCMI, CNRS, Toulouse | France |
| **Petter Grutter** | McGill University | Canada |
| **Walter Reisner** | McGill University | Canada |
| **Nick Provatas** | McGill University | Canada |
| **Pablo Jarillo-Herrero** | MIT | États-Unis |
| **Liang Fu** | MIT | États-Unis |
| **Marianne Moore** | MIT | États-Unis |
| **Nandini Trivedi** | Ohio State University | États-Unis |
| **Georges-Olivier Reymond** | Pasqal | France et Canada |
| **Romain Fouilland** | Pasqal | France et Canada |
| **Sam Mugel** | Multiverse | Canada et Espagne |
| **Asimina Arvanitaki** | Perimeter Institute | Canada |
| **Sylvie Rangan** | Rutgers University | États-Unis |
| **Erin Gee** | Sporobole | Canada |
| **Andrea Damascelli** | UBC | Canada |
| **Joseph Salfi** | UBC | Canada |
| **Ehud Atlman** | UC Berkeley | États-Unis |
| **Dominic Rochefort** | UdeM | Canada |
| **Philippe St-Jean** | UdeM | Canada |
| **Francesca Maria Marchetti** | Universidad Autonoma de Madrid | Espagne |
| **Michel Gingras** | Université de Waterloo | Canada |
| **Lea Santos** | Université Yeshiva | États-Unis |
| **David I. Schuster** | University of Chicago | États-Unis |
| **Hui Deng** | University of Michigan | États-Unis |
| **Adina Luican-Mayer** | University of Ottawa | Canada |
| **Steven Johnston** | University of Tennessee | États-Unis |
| **Iñigo Egusquiza** | University of the Basque Country | Espagne |
| **Juan Felipe Carrasaquilla** | Vector Institute | Canada |
| **Omri Lesser** | Weizmann Institute of Science | Israël |

# MEMBRES
# AXES ET OBJECTIFS DE RECHERCHE

## ALEXANDRE BLAIS

**Département Physique**

*Directeur Scientifique*

Information Quantique

- Développement de qubits robustes aux erreurs.
- Développement de nouvelles portes logiques rapides et de grande fidélité pour les qubits supraconducteurs.
- Amélioration de la mesure des qubits supraconducteurs.
- Développement de nouvelles applications pour les ordinateurs quantiques de taille intermédiaire.

## VINCENT AIMEZ

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Développer des composants III-V a l'état de l'art mondial.
- Réaliser des cellules PV multijonctions dépassant la barre du 50% d'efficacité.

## RICHARD ARÈS

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Explorer la porosification électrochimique des matériaux III-V GaAs, InGaAs et InP, des deux types de dopage.
- Poursuivre le développement de la méthode des nano-cavités pour l'hétéroépitaxie sur germanium et viser une démonstration sur dispositif actif.
- Utiliser le modèle numérique de M. Rondeau pour concevoir d'un injecteur moléculaire à grande surface de haute performance

## MICHEL PIORO-LADRIÈRE

**Département Physique**

*Directeur adjoint*

Information Quantique

- Réaliser un qubit de spin à l'aide d'une solution industrielle
- Fabriquer un semiconducteur unidimensionnel de taille atomique
- Mesurer l'influence du couplage spin-orbite synthétique sur le facteur gyromagnétique
- Caractériser le contrôle cohérent d'un ensemble de spins opérant à la température ambiante
- Réaliser un dispositif de type CCD dans la limite quantique
- Étudier la faisabilité d'une nouvelle approche pour le calcul quantique efficace en ressources matérielles

## JEAN BIBEAU

**École de gestion**

Complice Quantique

- Optimiser l'échange de connaissances et de pratiques entre le milieu académique et industriel
- Mettre les personnes étudiantes au cœur de ces lieux d'échange
- Ouvrir le champ et l'apprentissage de l'entrepreneuriat au-delà des projets de démarrage d'entreprises
- Susciter une réflexion sur les postures enseignantes et étudiantes dans les lieux d'apprentissage
- Diversifier les manières de transmettre les connaissances
- Faire de la science quantique un lieu d'émergence de réflexions et d'actions transdisciplinaires

## CLAUDE BOURBONNAIS

**Département Physique**

Matériaux Quantique

- Publication de travaux sur l'application du groupe de renormalisation aux systèmes critiques quantiques de basse dimensionalité sous l'influence du dopage
- Publication de travaux sur la théorie de l'effet Seebeck dans les systèmes fortement corrélés de basse dimensionalité

## YVES BÉRUBÉ-LAUZIÈRE

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Développer des protocoles et algorithmes de contrôle optimal et par rétroaction basée sur la mesure de dispositifs de qubits pour la préparation et la stabilisation rapide et à haute fidélité d'états quantiques.
- Préparation d'états hautement non-classiques dans des résonateurs par rétroaction quantique.
- Préparation et stabilisation d'états quantiques magnoniques par rétroaction basée sur la mesure.
- Développer la compilation de circuits pour ordinateur quantique à ions déplaçables dans des pièges électromagnétiques et proposer de nouvelles architectures pour ce type d'ordinateur.
- Exploiter les symétries des molécules pour la réduction de la charge de calcul sur ordinateur quantique pour simuler ces molécules.

## SERGE CHARLEBOIS

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Cryptographie quantique: exploitation de la haute résolution temporelle pour augmenter la fiabilité des protocoles de communication quantique
- Développement de détecteurs monophotoniques dans l'infrarouge.
- Développement de technologies abilitantes qui permettrons la réalisation de systèmes de communication et de traitement de l'information quantique.

## FRANÇOIS BOONE

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Conception, fabrication et caractérisation de composants passifs micro-usinés
- Conception et développement de MMIC et de composant THz
- Caractérisation des bétons par mesures hyperfréquences

## FÉLIX CAMIRAND LEMYRE

**Département de Mathématiques**

Information quantique

- Contribuer au développement de méthode d'initialisation automatique de réseaux de boîtes quantiques
- Comprendre le rôle des erreurs de mesure dans la construction de diagrammes de stabilité.

## DOMINIQUE DROUIN

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Développement d'un procédé de microfabrication de circuit quantique supraconducteur ouverte par l'entremise de la CMC
- Développement d'un procédé de fabrication de qubit à base de donneur
- Développement d'un procédé de fabrication de qubit de spin basé sur la technologie SiGe

## RENÉ CÔTÉ

**Département Physique**

Matériaux Quantique

- Étude de l'effet des termes d'axion dans la rotation de Kerr d'un semimétal de Weyl
- Étude de la signature en transport des cristaux de mérons dans un gaz d'électrons bidimensionnel
- Étude des phases cohérentes induites par un champ électrique non uniforme dans le graphène et les microstructures quantiques.

## PAUL CHARRETTE

**Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Conception d'un transducteur quantique
- Cavités plasmoniques pour des applications quantiques

## ION GARATE ARAMBERRI

**Département Physique**

Matériaux Quantique

- Recherche fondamentale sur les matériaux topologiques. Par exemple, découvrir de nouveaux phénomènes phononiques d'origine topologique.
- Recherche appliquée sur les matériaux topologiques. Par exemple, découvrir de nouveaux phénomènes ou proposer de nouveaux dispositifs d'intérêt technologique.

## PATRICK FOURNIER

**Département Physique**

Matériaux Quantique

- Mettre au point une méthode de mesure directe de l'effet magnétocalorique rotatif
- Mettre au point une méthode de lithographie inversée (substrate selective epitaxy)
- Mesurer l'effet Little-Parks dans les cuprates dopés aux électrons en fonction du dopage
- Étudier l'anisotropie de transport dans couches minces de PrCeCuO avec orientations (100) et (110)
- Poursuivre l'étude des antennes d'émission THz à base d'oxydes magnétiques

## MATHIEU JUAN

**Département Physique**

Information Quantique

- Fabrication de qubits transmons de haute cohérence
- Optimisation du couplage optomécanique pour atteindre le couplage fort à un photon
- Mise au point de piège de Paul pour la lévitation à températures cryogéniques
- Mise au point de système de transduction quantique

## STEFANOS KOURTIS

**Département Physique**

Matériaux Quantique

- Conception et mise en application de nouveaux algorithmes de réseaux de tenseurs pour le décodage de codes correcteurs de contrôles de parité de faible densité à multiples qubits
- Modélisation de circuits d'ordinateurs quantiques bruités de taille intermédiaire menant aux états de haute intrication
- Caractérisation de la dynamique, l'intrication et la thermalisation de systèmes quantiques manifestant une brisure dynamique de l'ergodicité

## MAX HOFHEINZ

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Démontrer expérimentalement le premier étage d'un compteur de photons micro-ondes.
- Mieux comprendre la saturation des amplificateurs à la limite quantique basés sur l'effet tunnel inélastique.
- Étudier les effets de non-réciprocité dans circuits de jonctions Josephson polarisées en tension.
- Observer la réponse micro-ondes d'une jonction à une impulsion optique.

## ÉVA DUPONT-FERRIER

**Département Physique**

Information Quantique

- Qubit MOS avec des transistors de la microélectronique
- Développements de qubit de spins avec des dopants dans les transistors MOS
- Interfacage de spins avec circuits supraconducteurs
- Établissement de protocoles quantiques avec des dispositifs issus des filières microélectronique
- Étude cryogénique de transistors MOS pour la nanoélectronique quantique
- Fabrication de transistor MOS à dopant unique avec la plateforme 3IT

## FRÉDÉRIC MAILHOT

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Développer un compilateur pour un ordinateur quantique à ions déplacés
- Faciliter l'interaction entre ordinateurs classiques et quantiques, à l'aide de bibliothèques (librairies) qui encapsulent les bibliothèques existantes et proposent un niveau d'abstraction plus élevé
- Explorer les langages de description matériel/logiciel et proposer des extensions pour faciliter la description de systèmes complets classiques/quantiques.
- Établir un modèle logiciel de description hybride classique/quantique pour développer un simulateur de haut niveau et permettre le partitionnement classique/quantique

## ANNE MACKAY

**Département de mathématiques**

Complices quantiques

- Identifier des problèmes reliés aux mathématiques financières qui peuvent être résolus plus efficacement en utilisant le calcul quantique.
- Construire les solutions quantiques pour certains problèmes identifiés et comparer celles-ci à des solutions traditionnelles.
- Utiliser les réseaux de tenseurs et les matrix product states pour faciliter la préparation de distributions de probabilité au coeur des algorithmes de finance quantique.
- Établir une collaboration fructueuse entre le Département de mathématiques, l'École de gestion et l'Institut quantique.
- Établir une expertise unique en finance quantique à l'Université de Sherbrooke.

## ISABELLE LACROIX

**École de politique appliquée**

Complice quantique

- Responsabilité sociale des chercheurs et chercheuses, un projet en collaboration avec le Bureau du scientifique en chef du Québec et l'ACFAS.
- Impacts sociétaux du quantiques: les développeurs technologiques, ces entrepreneurs politiques et les relations avec les décideurs politiques (3 étudiant-e-s gradué-e-s).

## DENIS MORRIS

**Département Physique**

Matériaux Quantique & Génie Quantique

- Ingénierie des défauts luminescents dans des semiconducteurs à grand gap (hBN, AlN, diamant) et caractéristiques optiques et optoélectroniques de ces défauts
- Développement d'émetteurs térahertz large-bande et dispositifs associés : optique femtoseconde et spintronique
- Propriétés électroniques et dynamiques des photoporteurs de charge dans des matériaux 2D, et dans des nanostructures semiconductrices sondées à l'aide de technique de spectroscopie térahertz

## SYLVAIN NICOLAY

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Démonstration d'un procédé de fabrication de Jonction Josephson bridgeless (type Manhattan ou par épitaxie)
- Comparaison du matériau NbN déposé par ALD Vs PVD pour les résonateurs micro-onde. En particulier, l'effet du désordre sur les propriétés supraconductrices.
- Etude des soucrs de perte de cohérence dans les matériaux supraconducteurs de type NbN.
- Démonstration d'un amplificateur paramétrique à haute inductance cinétique en utilisant le matériau Nb(Ti)N.

## JEAN-FRANÇOIS PRATTE

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

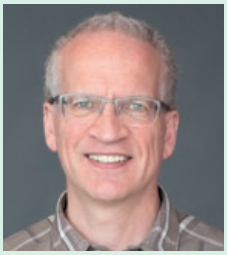
- Réaliser la fabrication de Photon-to-Digital Converters en 3D
- Valoriser un brevet sur une nouvelle technologie de Time-to-Digital Converter
- Signer une entente avec un industriel pour la commercialisation de Photon-to-Digital Converters pour construire des expériences en physique des particules

## JEFFREY QUILLIAM

**Département Physique**

Matériaux Quantique

- Inventer des nouvelles techniques de mesure pour étudier des excitations émergentes dans les matériaux quantiques. Par exemple, fabriquer des dispositifs de spintronique qui incorporent des liquides de spins, utiliser des résonateurs supraconducteurs pour sonder des matériaux magnétiques de faible dimension, etc.
- Effectuer des expériences à très fort champ au LNCMI en France.



## DAVID SÉNÉCHAL

**Département Physique**

Matériaux Quantique

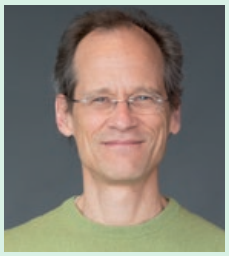
- Développement continu de méthodes numériques basées sur les petits systèmes (amas) pour l'étude des électrons fortement corrélés.
- Développement d'une bibliothèque ouverte pour les réseaux de tenseurs
- Étude de la supraconductivité dans les systèmes moirés (bicouche de graphène, etc)
- Étude du modèle de Hubbard à trois bandes pour les supraconducteurs à haute température critique

## BERTRAND REULET

**Département Physique**

Information Quantique

- Rôle du bruit et de l'activité spontanée comme révélateur de topologies neuronales au sein de réseaux de neurones formels à décharges
- Rôle du bruit et de l'activité spontanée comme révélateur de topologies neuronales au sein de micro-circuits neuronaux du cerveau
- Apprentissage de réseaux de neurones profonds à décharges
- Étude de la criticalité pour des réseaux de neurones récurrents
- Liens entre quantique et réseaux de neurones à décharges



## LOUIS TAILLEFER

**Département Physique**

Matériaux Quantique

- Élucider la nature de la mystérieuse phase pseudogap des cuprates
- Comprendre le mécanisme responsable de la dissipation Planckienne dans les métaux
- Comprendre les mécanismes responsables de l'effet Hall thermique dans les isolants
- Découvrir la signature d'excitations nouvelles dans les liquides de spin

## JULIEN SYLVESTRE

**Département de Génie Mécanique**

Génie Quantique

- Découverte de nouvelles tâches de traitement de l'information avec avantage quantique
- Adaptation pour architecture concrète de protocoles abstraits avec avantage quantique
- Développer compréhension des limites au traitement de l'information quantique
- Dévelopement du cadre du coût de l'information quantique
- Dévelopement de schéma d'encodage quantique interactif

## JEAN ROUAT

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

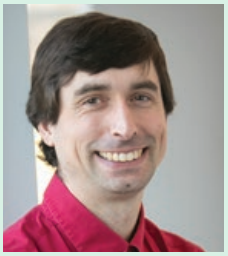
- Modélisation thermomécanique et fiabilité des microsystèmes (microélectronique, MEMS, photovoltaïque, etc.)
- Manipulation de l'information par des systèmes mécaniques micro et nanométriques, microscopie acoustique à haute vitesse (entrepreneuriat)

## ANDRÉ-MARIE TREMBLAY

**Département Physique**

Matériaux Quantique

- Améliorer la théorie auto-cohérente à deux particules pour décrire les propriétés électroniques des matériaux quantiques lorsque les interactions sont de force comparable à celle venant de l'énergie cinétique.
- Trouver le paramètre d'ordre supraconducteur du ruthénate de strontium et étudier ses analogues où le ruthénium est remplacé par du fer ou de l'osmium.
- Étudier l'effet de la frustration sur la dissipation Planckienne.
- Développer un solutionneur d'impureté quantique basé sur le Monte Carlo Variationnel
- Mettre au point une méthode de prolongement analytique basée sur l'apprentissage profond.



## MARC-ANDRÉ TÉTREAULT

**Département de Génie Électrique et Génie Informatique**

Génie Quantique

- Développement d'une plateforme FPGA cryogénique
- Développement d'instrumentation de tests et de caractérisation
- Augmenter d'un facteur 8 la nombre de dispositifs pouvant être simultanément testés
- Réduire d'un facteur 10 à 1000 le temps requis pour tester des prototypes quantiques

## DAVE TOUCHETTE

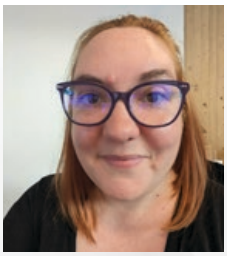
**Département d'informatique**

Information Quantique

- Découverte de nouvelles tâches de traitement de l'information avec avantage quantique
- Adaptation pour architecture concrète de protocoles abstraits avec avantage quantique
- Développer compréhension des limites au traitement de l'information quantique
- Dévelopement du cadre du coût de l'information quantique
- Dévelopement de schéma d'encodage quantique interactif

# PERSONNEL

## ADMINISTRATION



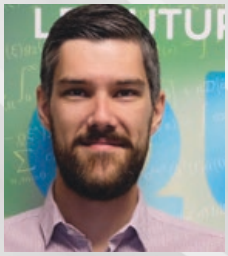
**GENEVIÈVE BRETON-MORIN**
Secrétaire de direction

**GHISLAIN LEFEBVRE**
Responsable – Développement des partenariats

**TOM MALLAH**
Coordonnateur de programme – Communauté et rayonnement

**JULIE MORRISSETTE**
Coordonnatrice à la comptabilité

**CHRISTIAN SARRA-BOURNET**
Directeur Exécutif



**KARL THIBAULT**
Coordonnateur – Entrepreneuriat et programme scientifique

**HUGUES VINCELETTE**
Responsable Communications

# ÉQUIPE TECHNIQUE ET PROFESSIONNELS

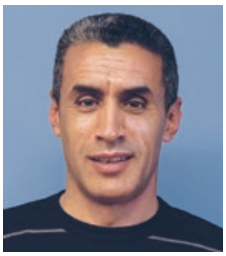
**YOUCEF ATAELLAH BIOUD**
Professionnel de Recherche

**GUY BERNIER**
Coordonnateur Laboratoires

**BENOIT COUTURE**
Technicien Génie Mécanique

**FRÉDÉRIC FRANCOEUR**
Technicien Génie Mécanique

**SIMON FORTIER**
Technicien Physique



**BOURAOUI ILAHI**
Professionnel de Recherche

**MICHAEL LACERTE**
Technicien Physique

**GABRIEL LALIBERTÉ**
Technicien Physique

**CHRISTIAN LUPIEN**
Professionnel de Recherche

**STÉPHANE PELLETIER**
Technicien Physique

**BOBBY RIVARD**
Technicien Physique

**ÉRIC GIGUÈRE**
Professionnel de Recherche

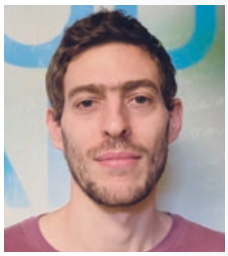
**PATRICK VACHON**
Technicien Support Informatique

**MAXIME DION**
Professionnel de Recherche

**JORDAN BAGLO**
Professionnel de Recherche

**STÉPHANE MORIN**
Technicien Physique

**JEAN-FRÉDÉRIC LAPRADE**
Professionnel de recherche



**ÉDOUARD PINSOLLE**
Professionnel de Recherche

**SARAH BLANCHETTE**
Professionnelle de recherche

**MARCO ARMENTA**
Professionnel de recherche

**L'IQ EST SOUTENU PAR DEUX ENTITÉS : UN CONSEIL D'ORIENTATION ET UN CONSEIL SCIENTIFIQUE. CES CONSEILS IDENTIFIENT LES GRANDES ORIENTATIONS DE RECHERCHE ET LES DOMAINES EN ÉMERGENCE QUI PRÉSENTENT UN INTÉRÊT POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'INSTITUT, AINSI QUE LES OCCASIONS DE COLLABORATION SCIENTIFIQUE AVEC DES PARTENAIRES EXTÉRIEURS. DE PLUS, ILS APPUIENT LA DIRECTION DANS SA RECHERCHE DE COLLABORATRICES ET DE COLLABORATEURS ET AGISSENT COMME AMBASSADEURS DANS LES ACTIVITÉS AUXQUELLES ILS SONT CONVIÉS. ILS SONT COMPOSÉS DE MEMBRES DE L'INDUSTRIE, DU MILIEU ACADÉMIQUE ET DU GOUVERNEMENT AYANT UNE VASTE EXPÉRIENCE EN ADMINISTRATION ET POLITIQUE SCIENTIFIQUE.**

## CONSEIL D'INSTITUT

Pr Jean-Pierre Perreault
Vice-recteur à la recherche et aux études supérieures

Pre Carole Beaulieu
Doyenne de la Faculté des sciences

Pr Jean Proulx
Doyen de la Faculté de génie

Pre Anick Lessard
Doyenne Faculté des lettres et sciences humaines

Pr Alexandre Blais
Directeur scientifique de l'Institut quantique

## DIRECTION IQ

## CONSEIL D'ORIENTATION

### DAVID DANOVITCH

Professeur en génie électrique et informatique, Université de Sherbrooke

Titulaire de la Chaire cadre CRSNG-IBM Canada en encapsulation microélectronique pour l'échelonnement de la performance.

Membre du comité de conseil (TAC) de CMC Microsystems

### CLAUDE JEAN

Vice-président exécutif et directeur-général, Teledyne-DALSA

Vice-président, Conseil d'administration, C2MI

### MARIE D'IORIO

Directrice exécutive, Cabinet du vice-recteur à la recherche, Université d'Ottawa

Présidente, NanoCanada

Secrétaire internationale, Société Royale du Canada

### RAYMOND LAFLAMME

Titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur l'information quantique

### DENIS THÉRIEN

Vice-président recherche et partenariats ServiceNow

Ancien vice-président de la recherche et des partenariats, ICRA

### RÉMI QUIRION

Scientifique en chef du Québec

Président Réseau international des scientifiques en chef et conseillers scientifiques (INGSA)

## CONSEIL SCIENTIFIQUE

### DAVID DANOVITCH

Professeur en génie électrique et informatique, Université de Sherbrooke

Titulaire de la Chaire cadre CRSNG-IBM Canada en encapsulation microélectronique pour l'échelonnement de la performance.

Membre du comité de conseil (TAC) de CMC Microsystems

### MICHEL DEVORET

Professeur de physique appliquée Frederick W. Beinecke au Yale Quantum Institute

Membre de l'Académie des sciences

### DAVID DIVICENZO

Directeur de l'Institute of Theoretical Nanoelectronics au Peter Grünberg Institute de Jülich

Professeur à l'Institute for Quantum Information de l'Université RWTH d'Aachen

### DAVID REILLY

Professeur de physique à l'Université de Sydney

Chercheur principal et directeur de Microsoft Quantum – Sydney

Chercheur en chef à l'ARC Centre of Excellence, Engineered Quantum Systems (EQuS)

### ANTOINE GEORGES

Professeur au Collège de France, titulaire de la chaire de Physique de la matière condensée

Membre de l'Académie des sciences

Directeur du Center for Computational Quantum Physics (CCQ), Flatiron Institute

# COLLABORATEURS ET PARTENAIRES DE L'IQ

## INSTITUTIONS INTERNATIONALES

Académie tchèque de la science, République Tchèque
Amrita Vishwa Vidyapeetham, Inde
Austrian Academy of Sciences, Austria
Berkeley, États-Unis
Bordeaux IMS, France
Boston University, États-Unis
Brookhaven National Laboratory, États-Unis
California State University, États-Unis
Caltech, États-Unis
CEA Grenoble, France
CEA Saclay, France
Chalmers University, Suède
Centre for Quantum Computation and Communication Technology (CQC2T), Australie
Center for Quantum Technologies, Singapore
Centre National de Recherche Scientifique, France
City University of New York, États-Unis
Colombia University, États-Unis
Colorado State University, États-Unis
Cornell University, États-Unis
Darmouth College, États-Unis
Donostia International Physics Center, Espagne
Duke University, États-Unis
École Centrale de Lyon, France
École des Mines de Paris – ParisTech, France
École normale supérieure, France
École Polytechnique de Paris, France
ETH Zurich, Suisse
Flatiron Institute, CCQ, États-Unis
Fritz Haber Institute of the Max Planck Society, Allemagne
G2ELab/CNRS, Grenoble, France
Georgia Institute of Technology, États-Unis
ICTP Trieste, Italie
IEMN, Université de Lille, France
Indian Institute of Technology, Inde
INL-Lyon, France
INRIA Paris, France
INRS-Énergie, Matériaux et Télécommunications, France
INSA Lyon, France
Instituts Fraunhofer, Allemagne
Institute for Experimental Physics, Innsbruck, Austria
Institute of Photonic Sciences, Barcelone, Espagne
Institute of Physics, Chinese Academy of Science, Chine
Institute for quantum optics and quantum information, Autriche
Isfahan Institute of Technology, Iran
Konstanz University, Allemagne
Laboratoire de Physique des Solides Orsay, France
Ljubljana, Slovénie
LNCMI – Grenoble, France
LNCMI – Toulouse, France
LTM, Grenoble, France
Macquarie University, Australie
Max Planck Institute, Allemagne
MIT, États-Unis
Nanjing University, Chine
Northwestern University, États-Unis
Oak Ridge National Laboratory, États-Unis
Ohio State University
Paul Scherrer Institute
Pennsylvania State University, États-Unis

Princeton, États-Unis
Quantum Science and Nanomaterials (QMat), University of Strasbourg, France
Rice University, États-Unis
Rochester University, États-Unis
Royal Holloway, University of London, Royaume-Uni
Rutgers University, États-Unis
Sorbonne Université, France
Stanford University, États-Unis
Stellenbosch University, Afrique du Sud
Stevens Institute of Technology, États-Unis
Technical University of Isfahan, Iran
Temple University, États-Unis
Tianjin University, Chine
TU Delft, Pays-Bas
UC Berkeley, États-Unis
UCL, Royaume-Uni
UCLA Physics and Astronomy, États-Unis
Universidad Autonoma de Madrid, Espagne
Universität Karlsruhe, Allemagne
Universität Mainz, Allemagne
Universität Stuttgart, Allemagne
Universität Ulm, Allemagne
Université de Bâle, Suisse
Université de Bordeaux, France
Université de Francfort, Allemagne
Université de Gênes, Italie
University of Ghent, Belgique
Université de Grenoble, France
Université de Innsbruck, Autriche
Université de Lorraine, France
Université de Lyon 1, France
Université de Lund, Pays-Bas
Université de Melbourne, Australie
Université de Saida, Algérie
Université de Sydney, Australie
Université des Sciences et Technologies de Lille 1, France
Université Internationale de Rabat, Maroc
Université Paris-Diderot, France
Université Pierre et Marie Curie, France
Université Sun Yat-sen, Chine
Université Tahar Moulay, Saida, Algérie
Université Yeshiva, États-Unis
University of the Basque Country, Espagne
University of Birmingham, Angleterre
University of California, Santa Barbara, États-Unis
University of Cambridge, Royaume-Uni
University of Chicago, États-Unis
University of Colorado, États-Unis
University of Florida
University of Fribourg, Switzerland
University of Glasgow
University of Indiana, États-Unis
University of Leipzig, Allemagne
University of Michigan, États-Unis
University of New South Wales, Australia
University of North Carolina, États-Unis
University of Notre Dame, Indiana, États-Unis
University of Rhode Island, États-Unis
University of Texas at Austin, États-Unis
University of Tennessee, États-Unis
University of Tokyo, Japon
University of Twente, Pays-Bas
University of Virginia, États-Unis
Weizmann Institute of Science, Israël
Xiamen University, Chine
Yale University, États-Unis

# INSTITUTIONS CANADIENNES

Arthur B. McDonald Canadian Astroparticle Physics Research Institute
Agence Spatiale Canadienne
Carleton University
Centre canadien d'accélération des particules (TRIUMF)
Centre de Collaboration MiQro Innovation (C2MI)
Dalhousie University
École de technologie supérieure (ÉTS)
Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique (3IT)
Institut National d'Optique (INO)
Institut national de la Recerche Scientifique (INRS)
Institut Transdisciplinaire d'Information Quantique (INTRIQ)
Institut de Valorisation des Données (IVADO)
McMaster University
Memorial University
MILA
Polytechnique Montréal
Perimeter Institute
Regroupement québécois en matériaux de pointe (RQMP)
Regroupement stratégique en microsystèmes (RESMiQ)
Simon Fraser University
SNOLAB
Stewart Blusson Quantum Matter Institute (SBQMI)
Transformative Quantum Technologies (TQT)
Université de Montréal
Université de Trois-Rivières
Université Laval
University of Alberta
University of British Columbia
University of Calgary
University of Manitoba
University of Ottawa
University of Toronto
University of Waterloo
Université McGill
Vector Institute
Western University

# INDUSTRIE ET GOUVERNEMENT

1QBit, Canada
Alice & Bob, France
Anyon Systems, Inc., CanadaArmy Research Office, États-Unis
Archer Materials Limited, Australie
Army Research Office, États-Unis
BlueFors Inc., Finlande
Canadian Institute for Advanced Research (CIFAR), Canada
Calcul Canada, Canada
Calcul Québec, Canada
Centre National de Recherche du Canada (CNRC), Canada
CMC Microsystems, Canada
Creative Destruction Lab, Canada
D-Wave, Canada
EeroQ, États-Unis
Fonds d'excellence à la recherche Apogée Canada, Canada
Fonds de recherche du Québec, Canada
Google AI Quantum Hardware Team, Santa Barbara, California, États-Unis
Gordon & Betty Moore Foundation, États-Unis
IBM Albany, États-Unis
IBM Canada, Canada
IBM, Watson, États-Unis
IBM Yorktown, États-Unis
IBM Zurich, Suisse
IMEC, Belgique
JILA Science, États-Unis
Keysight Technologies Canada Inc., Canada
Microsoft Research, États-Unis
Mitacs, Canada
MiQroInnovation Collaborative Centre (C2MI), Canada
Multiverse Computing, Canada
Nanoacademic Technologies, Canada
Nord quantique, Canada
Oxford Instruments, Canada
Pasqal, France
QDevil, Pays-Bas
Quantonation, France
Quantum Numbers Corp, Canada
Quantum Silicon, Canada
Raytheon BBN Technologies, États-Unis
Rigetti Computing, États-Unis
Sandia National Laboratories, États-Unis
SBQuantum, Canada
STMicroelectronics, France
Teledyne Dalsa Semiconductor, Canada
Thalès, France
Xanadu, Canada
Zapata Computing, Canada

# PRIX ET MENTIONS

## PRIX INTERNATIONAUX

### MEMBRE DE LA ROYAL SOCIETY OF LONDON
Louis Taillefer

### BOURSE GUGGENHEIM
Alexandre Blais

## PRIX NATIONAUX

### CRSNG – BOURSES DE RECHERCHE PREMIER CYCLE
Michaël Bédard
Jean-Baptiste Bertrand-Réhaume
Nicolas Bertolini
Théo Nathaniel Dionne

### CRSNG – BOURSES D'ÉTUDES SUPÉRIEURES – MAÎTRISE
Keven Deslandes
Julien Corriveau-Trudel
Patrick Dufour
Clovis Farley
Carl Moreau

### CRSNG – BOURSES D'ÉTUDES SUPÉRIEURES – DOCTORAT
Ismaël Balafrej

### CRSNG – BOURSES D'ÉTUDES SUPÉRIEURES DU CANADA – DOCTORAT
Mathieu Bélanger
Simon Bolduc Beaudoin
Marie-Ève Boulanger
Jérémy Côté
Élie Génois
Catherine Leroux
Olivier-Michel Tardif
Maxime Tremblay
Sara Turcotte

### CRSNG BOURSES VANIER
Chloé-Aminata Gauvin-Ndiaye

## PRIX PROVINCIAUX

### FRQNT – BOURSES D'ÉTUDES SUPÉRIEURES – MAÎTRISE
Valérie Gauthier
Alexandre Guilbault
Carl Moreau

### FRQNT – BOURSES D'ÉTUDES SUPÉRIEURES – DOCTORAT
Jessica Lemieux

### INTRIQ – CONFETI 2022
Martin Schnee (meilleure introduction)
Joffrey Rivard (meilleure présentation de spécialité)
Samuel Desrosiers (meilleure présentation de spécialité)
Claude Rohrbacher (Prix Anyon)

## PRIX DE L' UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

### BOURSES D'EXCELLENCE DIVERSITÉ IQ
Marianne Ward
Mohamed Nabil Yacine Lhachemi

### BOURSES UDES EXCELLENCE MAÎTRISE
Marc-Antoine Gauthier
Pierre Lefloïc
Philippe Martel-Dion

### BOURSES UDES EXCELLENCE DOCTORAT
Guillaume Dion
Maxime Lapointe-Major

### PRIX DE L'EXCELLENCE DE L'ENCADREMENT AUX ÉTUDES SUPÉRIEURES EN RECHERCHE
André-Marie Tremblay

### PRIX INSPIRATION
Patrick Vachon

# FINANCES

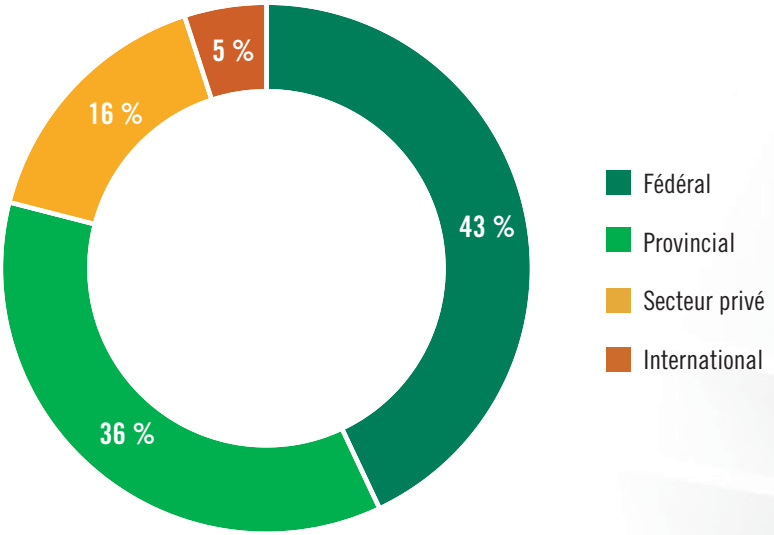



Figure 1. Provenance des subventions de recherche et contrats (non vérifiés)
Revenus totaux : 16.0 M$ (Excluant financement Apogée)

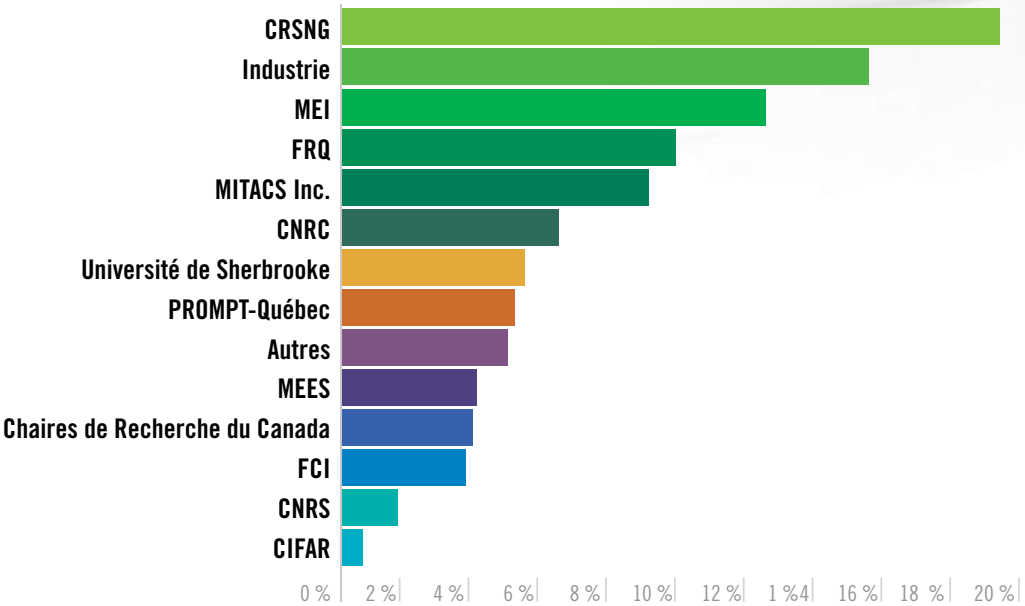



Figure 2. Subventions de recherche et contrats par agence de financement
(non vérifiés) Revenus totaux: 16.9M$ (Excluant financement Apogée)

# PUBLICATIONS DE 2021

## JOURNAUX AVEC REVUE


Adhikari, G., Kharusi, S. A., Angelico, E., Anton, G., Arnquist, I. J., Badhrees, I., Bane, J., Belov, V., Bernard, E. P., Bhatta, T., Bolotnikov, A., Breur, P. A., Brodsky, J. P., Brown, E., Brunner, T., Caden, E., Cao, G. F., Cao, L., Chambers, C., … Ziegler, T. (2021). nEXO : Neutrinoless double beta decay search beyond $10^{28}$ year half-life sensitivity. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, *49*(1), 015104. https://doi.org/10.1088/1361-6471/ac3631

Albert, P., Jaouad, A., Hamon, G., Volatier, M., Deshayes, Y., Béchou, L., Aimez, V., & Darnon, M. (2021). Three-junction monolithic interconnected modules for concentrator photovoltaics. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, *29*(6), 603613. https://doi.org/10.1002/pip.3404

Albert, P., Jaouad, A., Hamon, G., Volatier, M., Valdivia, C. E., Deshayes, Y., Hinzer, K., Béchou, L., Aimez, V., & Darnon, M. (2021). Miniaturization of InGaP/InGaAs/Ge solar cells for micro-concentrator photovoltaics. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, *29*(9), 990999. https://doi.org/10.1002/pip.3421

Allali, A., Klose, A. D., Bérubé-Lauzière, Y., & Bérubé-Lauzière, Y. (2021). Efficient numerical modelling of time-domain light propagation in curved 3D absorbing and scattering media with finite differences. *Biomedical Optics Express*, *12*(3), 14221436. https://doi.org/10.1364/BOE.413854

Amrani, A. E., Paradis, É., Danovitch, D., & Drouin, D. (2021). A Novel Chip-Join Assembly Using Heterogeneous Sn-Ag Bumps. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, *11*(4), 537542. https://doi.org/10.1109/TCPMT.2021.3065579

Anshu, A., Leung, D., & Touchette, D. (2022). Incompressibility of Classical Distributions. *IEEE Transactions on Information Theory*, *68*(3), 17581771. https://doi.org/10.1109/TIT.2021.3130131

Benhabib, S., Lupien, C., Paul, I., Berges, L., Dion, M., Nardone, M., Zitouni, A., Mao, Z. Q., Maeno, Y., Georges, A., Taillefer, L., & Proust, C. (2021). Ultrasound evidence for a two-component superconducting order parameter in Sr2RuO4. *Nature Physics*, *17*(2), 194198. https://doi.org/10.1038/s41567-020-1033-3

Bioud, Y. A., Paradis, E., Boucherif, A., Drouin, D., & Arès, R. (2021). Shape control of cathodized germanium oxide nanoparticles. *Electrochemistry Communications*, *122*, 106906. https://doi.org/10.1016/j.elecom.2020.106906

Blais, A., Grimsmo, A. L., Girvin, S. M., & Wallraff, A. (2021). Circuit quantum electrodynamics. *Reviews of Modern Physics*, *93*(2), 025005. https://doi.org/10/gj4d2g

Blonkowski, S., Labalette, M., Jeannot, S., Ecoffey, S., Souifi, A., & Drouin, D. (2021). Modeling current and voltage peaks generation in complementary resistive switching devices. *Solid-State Electronics*, *183*, 108122. https://doi.org/10.1016/j.sse.2021.108122

Boutin, S., Lopes, P. L. S., Mu, A., Mendes, U. C., & Garate, I. (2021). Topological Josephson bifurcation amplifier : Semiclassical theory. *Journal of Applied Physics*, *129*(21), 214302. https://doi.org/10.1063/5.0050672

Bouziri, H., Pepin, C. M., Koua, K., Benhouria, M., Paulin, C., Ouyang, J., Normandin, M., Pratte, J.-F., Fakhri, G. E., Lecomte, R., & Fontaine, R. (2022). Investigation of a Model-Based Time-Over-Threshold Technique for Phoswich Crystal Discrimination. *IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Sciences*, *6*(4), 393403. https://doi.org/10.1109/TRPMS.2021.3077412

Camirand Lemyre, F., Chalifoux, K., Desharnais, B., & Mireault, P. (2022). Squaring Things Up with R2 : What It Is and What It Can (and Cannot) Tell You. *Journal of Analytical Toxicology*, *46*(4), 443448. https://doi.org/10.1093/jat/bkab036

Choquette, A., Di Paolo, A., Barkoutsos, P. Kl., Sénéchal, D., Tavernelli, I., & Blais, A. (2021). Quantum-optimal-control-inspired ansatz for variational quantum algorithms. *Physical Review Research*, *3*(2), 023092. https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.3.023092

Collignon, C., Ataei, A., Gourgout, A., Badoux, S., Lizaire, M., Legros, A., Licciardello, S., Wiedmann, S., Yan, J.-Q., Zhou, J.-S., Ma, Q., Gaulin, B. D., Doiron-Leyraud, N., & Taillefer, L. (2021). Thermopower across the phase diagram of the cuprate $La_{1.6x}Nd_{0.4}Sr_xCuO_4$ : Signatures of the pseudogap and charge density wave phases. *Physical Review B*, *103*(15), 155102. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.155102

Cozette, F., Hassan, B., Rodriguez, C., Frayssinet, E., Comyn, R., Lecourt, F., Defrance, N., Labat, N., Boone, F., Soltani, A., Jaouad, A., Cordier, Y., & Maher, H. (2021). New barrier layer design for the fabrication of gallium nitride-metal-insulator-semiconductor-high electron mobility transistor normally-off transistor. *Semiconductor Science and Technology*, *36*(3), 034002. https://doi.org/10.1088/1361-6641/abd489

Czischek, S., Yon, V., Genest, M.-A., Roux, M.-A., Rochette, S., Lemyre, J. C., Moras, M., Pioro-Ladrière, M., Drouin, D., Beilliard, Y., & Melko, R. G. (2021). Miniaturizing neural networks for charge state autotuning in quantum dots. *Machine Learning: Science and Technology*, *3*(1), 015001. https://doi.org/10.1088/2632-2153/ac34db

Dash, S. S., & Sénéchal, D. (2021). Charge- and pair-density-wave orders in the one-band Hubbard model from dynamical mean field theory. *Physical Review B*, *103*(4), 045142. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.045142

Dawant, R., Seils, R., Ecoffey, S., Schmid, Rainer., & Drouin, D. (2022). Hybrid cross correlation and line-scan alignment strategy for CMOS chips electron-beam lithography processing. *Journal of Vacuum Science & Technology B*, *40*(1), 012601. https://doi.org/10.1116/6.0001278

de Lafontaine, M., Pargon, E., Gay, G., Petit-Etienne, C., David, S., Barnes, J.-P., Rochat, N., Jaouad, A., Volatier, M., Fafard, S., Aimez, V., & Darnon, M. (2021). Anisotropic and low damage III-V/Ge heterostructure etching for multijunction solar cell fabrication with passivated sidewalls. *Micro and Nano Engineering*, *11*, 100083. https://doi.org/10.1016/j.mne.2021.100083

Di Paolo, A., Baker, T. E., Foley, A., Sénéchal, D., & Blais, A. (2021). Efficient modeling of superconducting quantum circuits with tensor networks. *Npj Quantum Information*, *7*(1), 111. https://doi.org/10.1038/s41534-020-00352-4

Diallo, T. M., Aziziyan, M. R., Arvinte, R., Arès, R., Fafard, S., & Boucherif, A. (2021). CVD growth of high-quality graphene over Ge (100) by annihilation of thermal pits. *Carbon*, *174*, 214226. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.12.024

Dupuy, A., Aziziyan, M. R., Machon, D., Arès, R., & Boucherif, A. (2021). Anisotropic mesoporous germanium nanostructures by fast bipolar electrochemical etching. *Electrochimica Acta*, *378*, 137935. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.137935

Dupuy, A., Roland, A., Aziziyan, M. R., Sauze, S., Machon, D., Arès, R., & Boucherif, A. (2021). Monolithic integration of mesoporous germanium : A step toward high-performance on-chip anode. *Materials Today Communications*, *26*, 101820. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101820

Ezzouine, Z., Danovitch, D., Bechou, L., Pioro-Ladrière, M., & Lacerte, M. (2021). Contact Resistance Behavior of Land Grid Array Sockets at Cryogenic Temperatures Required for Quantum Measurements. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, *11*(3), 367374. https://doi.org/10.1109/TCPMT.2021.3060968

Fandio, D. J. J., Ilahi, B., Dion, M., Petrov, B., Pelletier, H., Arès, R., & Morris, D. (2021). Ultrafast photocarrier dynamics in Fe-implanted InGaAs polycrystalline photoconductive materials. *Journal of Physics: Condensed Matter*, *33*(38), 385701. https://doi.org/10.1088/1361-648X/ac1093

Genois, É., Gross, J. A., Di Paolo, A., Stevenson, N. J., Koolstra, G., Hashim, A., Siddiqi, I., & Blais, A. (2021). Quantum-Tailored Machine-Learning Characterization of a Superconducting Qubit. *PRX Quantum*, *2*(4), 040355. https://doi.org/10.1103/PRXQuantum.2.040355

Ghaffari, O., Tong, W., Larimi, Y. N., al Sayed, C., Ganjali, A., Morissette, J.-F., Grenier, F., Jasmin, S., Fréchette, L., & Sylvestre, J. (2021). Experimental Investigation of the Effect of Heat Spreading on Boiling of a Dielectric Liquid for Immersion Cooling of Electronics. *Journal of Electronic Packaging*, *143*(4). https://doi.org/10.1115/1.4051943

Girod, C., LeBoeuf, D., Demuer, A., Seyfarth, G., Imajo, S., Kindo, K., Kohama, Y., Lizaire, M., Legros, A., Gourgout, A., Takagi, H., Kurosawa, T., Oda, M., Momono, N., Chang, J., Ono, S., Zheng, G. -q., Marcenat, C., Taillefer, L., & Klein, T. (2021). Normal state specific heat in the cuprate superconductors $La_{2x}Sr_xCuO_4$ and $Bi_{2+y}La_xCuO_{6+\delta}$ near the critical point of the pseudogap phase. *Physical Review B*, *103*(21), 214506. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.214506

Giustino, F., Lee, J. H., Trier, F., Bibes, M., Winter, S. M., Valentí, R., Son, Y.-W., Taillefer, L., Heil, C., Figueroa, A. I., Plaçais, B., Wu, Q., Yazyev, O. V., Bakkers, E. P. A. M., Nygård, J., Forn-Díaz, P., Franceschi, S. D., McIver, J. W., Torres, L. E. F. F., … Roche, S. (2020). The 2021 quantum materials roadmap. *Journal of Physics: Materials*, *3*(4), 042006. https://doi.org/10.1088/2515-7639/abb74e

González, Y., Hadj Youssef, A., Dörfler, A., Katoch, R., El Mesoudy, A., Sarkissian, A., Drouin, D., & Ruediger, A. (2021). Competing tunneling conduction mechanisms in oxygen deficient Hf0.5Zr0.5O2. *Applied Physics Letters*, *119*(13), 132906. https://doi.org/10.1063/5.0064496

Gourgout, A., Ataei, A., Boulanger, M.-E., Badoux, S., Thériault, S., Graf, D., Zhou, J.-S., Pyon, S., Takayama, T., Takagi, H., Doiron-Leyraud, N., & Taillefer, L. (2021). Effect of pressure on the pseudogap and charge density wave phases of the cuprate Nd-LSCO probed by thermopower measurements. *Physical Review Research*, *3*(2), 023066. https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.3.023066

Gray, J., & Kourtis, S. (2021). Hyper-optimized tensor network contraction. *Quantum*, *5*, 410. https://doi.org/10.22331/q-2021-03-15-410

Grimsmo, A. L., Royer, B., Kreikebaum, J. M., Ye, Y., O'Brien, K., Siddiqi, I., & Blais, A. (2021). Quantum Metamaterial for Broadband Detection of Single Microwave Photons. *Physical Review Applied*, *15*(3), 034074. https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.15.034074

Grissonnanche, G., Fang, Y., Legros, A., Verret, S., Laliberté, F., Collignon, C., Zhou, J., Graf, D., Goddard, P. A., Taillefer, L., & Ramshaw, B. J. (2021). Linear-in temperature resistivity from an isotropic Planckian scattering rate. *Nature*, *595*(7869), 667672. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03697-8

Gyenis, A., Di Paolo, A., Koch, J., Blais, A., Houck, A. A., & Schuster, D. I. (2021). Moving beyond the Transmon : Noise-Protected Superconducting Quantum Circuits. *PRX Quantum*, *2*(3), 030101. https://doi.org/10.1103/PRXQuantum.2.030101

Gyenis, A., Mundada, P. S., Di Paolo, A., Hazard, T. M., You, X., Schuster, D. I., Koch, J., Blais, A., & Houck, A. A. (2021). Experimental Realization of a Protected Superconducting Circuit Derived from the 0–$\varpi$ Qubit. *PRX Quantum*, *2*(1), 010339. https://doi.org/10.1103/PRXQuantum.2.010339

Hu, L.-H., Yu, J., Garate, I., & Liu, C.-X. (2021). Phonon Helicity Induced by Electronic Berry Curvature in Dirac Materials. *Physical Review Letters*, *127*(12), 125901. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.127.125901

Kowalski, N., Dash, S. S., Sémon, P., Sénéchal, D., & Tremblay, A.-M. (2021). Oxygen hole content, charge-transfer gap, covalency, and cuprate superconductivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(40), e2106476118. https://doi.org/10.1073/pnas.2106476118

Kundu, S., & Sénéchal, D. (2021). Spin density wave order in interacting type-I and type-II Weyl semimetals. *Physical Review B*, *103*(8), 085136. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.085136

Lebrun, A., Cloutier-Langevin, C., Plante, A.-S., Savard, C., Weisnagel, S. J., Robitaille, J., Lemyre, F. C., & Morisset, A.-S. (2021). Trimester-Specific and Total Gestational Weight Gain in Two Consecutive Pregnancies. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*, *43*(4), 483-489.e3. https://doi.org/10.1016/j.jogc.2020.12.009

Lemieux, J., Duclos-Cianci, G., Sénéchal, D., & Poulin, D. (2021). Resource estimate for quantum many-body ground-state preparation on a quantum computer. *Physical Review A*, *103*(5), 052408. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.103.052408

Leon, R. C. C., Yang, C. H., Hwang, J. C. C., Camirand Lemyre, J., Tanttu, T., Huang, W., Huang, J. Y., Hudson, F. E., Itoh, K. M., Laucht, A., Pioro-Ladrière, M., Saraiva, A., & Dzurak, A. S. (2021). Bell-state tomography in a silicon many-electron artificial molecule. *Nature Communications*, *12*(1), 3228. https://doi.org/10.1038/s41467-021-23437-w

Leroux, C., Di Paolo, A., & Blais, A. (2021). Superconducting Coupler with Exponentially Large On:Off Ratio. *Physical Review Applied*, *16*(6), 064062. https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.16.064062

Leung, D., Nayak, A., Shayeghi, A., Touchette, D., Yao, P., & Yu, N. (2021). Capacity Approaching Coding for Low Noise Interactive Quantum Communication Part I : Large Alphabets. *IEEE Transactions on Information Theory*, *67*(8), 54435490. https://doi.org/10.1109/TIT.2021.3086221

Lizaire, M., Legros, A., Gourgout, A., Benhabib, S., Badoux, S., Laliberté, F., Boulanger, M.-E., Ataei, A., Grissonnanche, G., LeBoeuf, D., Licciardello, S., Wiedmann, S., Ono, S., Raffy, H., Kawasaki, S., Zheng, G.-Q., Doiron-Leyraud, N., Proust, C., & Taillefer, L. (2021). Transport signatures of the pseudogap critical point in the cuprate superconductor $Bi_2Sr_{2-x}La_xCuO_{6+\delta}$. *Physical Review B*, *104*(1), 014515. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.104.014515

Loignon-Houle, F., Gundacker, S., Toussaint, M., Lemyre, F. C., Auffray, E., Fontaine, R., Charlebois, S. A., Lecoq, P., & Lecomte, R. (2021). DOI estimation through signal arrival time distribution : A theoretical description including proof of concept measurements. *Physics in Medicine & Biology*, *66*(9), 095015. https://doi.org/10.1088/1361-6560/abf604

Lu, X., & Sénéchal, D. (2021). Spin texture in a bilayer high-temperature cuprate superconductor. *Physical Review B*, *104*(2), 024502. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.104.024502

Lubio, A. D., Dörfler, A., Plathier, J., Dequivre, T., Kolhatkar, G., Charlebois, S. A., & Ruediger, A. (2021). Correlation of local strain and temperature measurements in confocal Raman microscopy. *Journal of Raman Spectroscopy*, *52*(6), 11231134. https://doi.org/10.1002/jrs.6096

Machon, D., Sauze, S., Arès, R., & Boucherif, A. (2021). Probing the coupling between the components in a graphene–mesoporous germanium nanocomposite using high-pressure Raman spectroscopy. *Nanoscale Advances*, *3*(9), 25772584. https://doi.org/10.1039/D1NA00123J

Melnick, C., Sémon, P., Yu, K., D'Imperio, N., Tremblay, A.-M., & Kotliar, G. (2021). Accelerated impurity solver for DMFT and its diagrammatic extensions. *Computer Physics Communications*, *267*, 108075. https://doi.org/10.1016/j.cpc.2021.108075

Nguena, E., Danovitch, D., Sylvestre, J., & Langlois, R. (2021). A kinetic study of liquid gallium diffusion in a tin-based solder alloy and its role in solder embrittlement. *Journal of Materials Science*, *56*(11), 71297141. https://doi.org/10.1007/s10853-020-05673-5

Omri, M., Al-turki, Y., Léveillé, É., Arès, R., & Fréchette, L. (2021). Cooling Arrangements for Hybrid Thermal-CPV Receivers with High Output Coolant Temperature for Combined Electricity Generation and Water Desalination. *Complexity*, *2021*, e2390489. https://doi.org/10.1155/2021/2390489

Pahlevanzadeh, B., Sahebsara, P., & Sénéchal, D. (2021). Chiral *p*-wave superconductivity in twisted bilayer graphene from dynamical mean field theory. *SciPost Physics*, *11*(1), 017. https://doi.org/10.21468/SciPostPhys.11.1.017

Palhares, J. H. Q., Beilliard, Y., Alibart, F., Bonturim, E., Florio, D. Z. de, Fonseca, F. C., Drouin, D., & Ferlauto, A. S. (2021). Oxygen vacancy engineering of $TaO_x$-based resistive memories by Zr doping for improved variability and synaptic behavior. *Nanotechnology*, *32*(40), 405202. https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac0e67

Peugeot, A., Ménard, G., Dambach, S., Westig, M., Kubala, B., Mukharsky, Y., Altimiras, C., Joyez, P., Vion, D., Roche, P., Esteve, D., Milman, P., Leppäkangas, J., Johansson, G., Hofheinz, M., Ankerhold, J., & Portier, F. (2021). Generating Two Continuous Entangled Microwave Beams Using a dc-Biased Josephson Junction. *Physical Review X*, *11*(3), 031008. https://doi.org/10.1103/PhysRevX.11.031008

Pouliot, F., Beauregard, J.-M., Saad, F., Trudel, D., Richard, P. O., Turcotte, É., Rousseau, É., Probst, S., Kassouf, W., Anidjar, M., Camirand Lemyre, F., Bouvet, G. F., Neveu, B., Tétu, A., & Guérin, B. (2021). The Triple-Tracer strategy against Metastatic PrOstate cancer (3TMPO) study protocol. *BJU International*, *n/a*(n/a). https://doi.org/10.1111/bju.15621

Pratte, J.-F., Nolet, F., Parent, S., Vachon, F., Roy, N., Rossignol, T., Deslandes, K., Dautet, H., Fontaine, R., & Charlebois, S. A. (2021). 3D Photon-To-Digital Converter for Radiation Instrumentation : Motivation and Future Works. *Sensors*, *21*(2), 598. https://doi.org/10.3390/s21020598

Richan, E., & Rouat, J. (2021). A proposal and evaluation of new timbre visualization methods for audio sample browsers. *Personal and Ubiquitous Computing*, *25*(4), 723736. https://doi.org/10.1007/s00779-020-01388-1

Rolland, G., Rodriguez, C., Gommé, G., Boucherif, A., Chakroun, A., Bouchilaoun, M., Pepin, M. C., El Hamidi, F., Maher, S., Arès, R., MacElwee, T., & Maher, H. (2021). High Power Normally-OFF GaN/AlGaN HEMT with Regrown p Type GaN. *Energies*, *14*(19), 6098. https://doi.org/10.3390/en14196098

Rondeau, M., & Arès, R. (2021). On the Test Particle Monte-Carlo method to solve the steady state Boltzmann equation, the congruity of its results with experiments and its potential for shared memory parallelism. *Journal of Computational Physics*, *444*, 110590. https://doi.org/10.1016/j.jcp.2021.110590

Schäfer, T., Wentzell, N., Šimkovic, F., He, Y.-Y., Hille, C., Klett, M., Eckhardt, C. J., Arzhang, B., Harkov, V., Le Régent, F.-M., Kirsch, A., Wang, Y., Kim, A. J., Kozik, E., Stepanov, E. A., Kauch, A., Andergassen, S., Hansmann, P., Rohe, D., … Georges, A. (2021). Tracking the Footprints of Spin Fluctuations : A MultiMethod, Multi-Messenger Study of the Two-Dimensional Hubbard Model. *Physical Review X*, *11*(1), 011058. https://doi.org/10.1103/PhysRevX.11.011058

Sharafiev, A., Juan, M. L., Gargiulo, O., Zanner, M., Wögerer, S., García-Ripoll, J. J., & Kirchmair, G. (2021). Visualizing the emission of a single photon with frequency and time resolved spectroscopy. *Quantum*, *5*, 474. https://doi.org/10.22331/q-2021-06-10-474

Shillito, R., Gross, J. A., Di Paolo, A., Genois, É., & Blais, A. (2021). Fast and differentiable simulation of driven quantum systems. *Physical Review Research*, *3*(3), 033266. https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.3.033266

Stiegler, T., Sangiorgio, S., Brodsky, J. P., Heffner, M., Kharusi, S. A., Anton, G., Arnquist, I. J., Badhrees, I., Barbeau, P. S., Beck, D., Belov, V., Bhatta, T., Bolotnikov, A., Breur, P. A., Brown, E., Brunner, T., Caden, E., Cao, G. F., Cao, L., … Ziegler, T. (2021). Event reconstruction in a liquid xenon Time Projection Chamber with an optically-open field cage. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, *1000*, 165239. https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.165239

Stricher, R., Gond-Charton, P., Amnache, A., Campos, J. F. A., Frechette, L., Drouin, D., & Ecoffey, S. (2021). In Situ Doped Polysilicon (ISDP) Hydrophilic Direct Wafer Bonding for MEMS Applications. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, *10*(6), 064010. https://doi.org/10.1149/2162-8777/ac0b8f

Sylvestre, J., & Morissette, J.-F. (2021). Neuromorphic metamaterial structures. *Materials & Design*, *210*, 110078. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110078

Thibault, K., Gabelli, J., Lupien, C., & Reulet, B. (2021). Noise feedback in an electronic circuit. *Physical Review Research*, *3*(3), 033058. https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.3.033058

Tong, W., Ganjali, A., Ghaffari, O., Sayed, C. al, Fréchette, L., & Sylvestre, J. (2022). Numerical and Parametric Investigation of the Effect of Heat Spreading on Boiling of a Dielectric Liquid for Immersion Cooling of Electronics. *Journal of Electronic Packaging*, *144*(4). https://doi.org/10.1115/1.4053310

Touré, M. K., Souaré, P. M., & Sylvestre, J. (2021). Best Practices for Thermal Modeling in Microelectronics with Natural Convection Cooling : Sensitivity Analysis. *Journal of Electronics Cooling and Thermal Control*, *10*(2), 1533. https://doi.org/10.4236/jectc.2021.102002

Vadnais, S., & Côté, R. (2021). Quantum magnetic oscillations in Weyl semimetals with tilted nodes. *Physical Review B*, *104*(14), 144409. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.104.144409

Vincenot, M., Coulombe-Lévêque, A., Sean, M., Camirand Lemyre, F., Gendron, L., Marchand, S., & Léonard, G. (2021). Development and Validation of a Predictive Model of Pain Modulation Profile to Guide Chronic Pain Treatment : A Study Protocol. *Frontiers in Pain Research*, *2*. https://doi.org/10.3389/fpain.2021.606422

Wagenpfeil, M., Ziegler, T., Schneider, J., Fieguth, A., Murra, M., Schulte, D., Althueser, L., Huhmann, C., Weinheimer, C., Michel, T., Anton, G., Adhikari, G., Kharusi, S. A., Angelico, E., Arnquist, I. J., Badhrees, I., Bane, J., Beck, D., Belov, V., … Zeldovich, O. (2021). Reflectivity of VUV-sensitive silicon photomultipliers in liquid Xenon. *Journal of Instrumentation*, *16*(08), P08002. https://doi.org/10.1088/1748-0221/16/08/P08002

Walsh, C., Charlebois, M., Sémon, P., Sordi, G., & Tremblay, A.-M. S. (2021). Information-theoretic measures of superconductivity in a two-dimensional doped Mott insulator. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(25), e2104114118. https://doi.org/10.1073/pnas.2104114118

Wei, S., Joshi, N., Salerno, M., Ouellette, D., Saleh, L., Delorenzo, C., Woody, C., Schlyer, D., Purschke, M. L., Pratte, J.-F., Junnarkar, S., Budassi, M., Cao, T., Fried, J., Karp, J. S., & Vaska, P. (2022). PET Imaging of Leg Arteries for Determining the Input Function in PET/MRI Brain Studies Using a Compact, MRI-Compatible PET System. *IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Sciences*, *6*(5), 583591. https://doi.org/10.1109/TRPMS.2021.3111841

Zelenskiy, A., Quilliam, J. A., Shapiro, A. Ya., & Quirion, G. (2021). Magnetic phases of the S = triangular-lattice antiferromagnet RbFe(MoO4)2 as determined by ultrasound velocity measurements. *Physical Review B*, *103*(22), 224422. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.224422

Zhong, T., Andrews, M., Fournier, P., & Dion, M. (2021). Permanent encoding of nano- to macro-scale hierarchies of order from evaporative magnetic fluids. *Nano Select*, *2*(3), 591599. https://doi.org/10.1002/nano.202000149

## ACTES DE CONFÉRENCES

Anshu, A., Hadiashar, S. B., Jain, R., Nayak, A., & Touchette, D. (2021). One-Shot Quantum State Redistribution and Quantum Markov Chains. *2021 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, 130135. https://doi.org/10.1109/ISIT45174.2021.9517813

Bahadi, S., Rouat, J., & Plourde, É. (2021). Adaptive Approach for Sparse Representations Using the Locally Competitive Algorithm for Audio. *2021 IEEE 31st International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP)*, 16. https://doi.org/10.1109/MLSP52302.2021.9596348

Celotti, L., Brodeur, S., & Rouat, J. (2021). *AriEL : Volume coding for sentence generation comparisons*. https://openreview.net/forum?id=qTTccuW4dja

de Lafontaine, M., Gay, G., Pargon, E., Petit-Etienne, C., Stricher, R., Ecoffey, S., Volatier, M., Jaouad, A., Fafard, S., Aimez, V., & Darnon, M. (2021). III-V/Ge Multijunction Solar Cell with Through Cell Via Contact Fabrication and Characterization. *2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 22312233. https://doi.org/10.1109/PVSC43889.2021.9519047

Garg, N., Balafrej, I., Beilliard, Y., Drouin, D., Alibart, F., & Rouat, J. (2021). Signals to Spikes for Neuromorphic Regulated Reservoir Computing and EMG Hand Gesture Recognition. *International Conference on Neuromorphic Systems 2021*, 18. https://doi.org/10.1145/3477145.3477267

Ghaffari, O., Sayed, C. A., Vincent, M., Larimi, Y. N., Grenier, F., Jasmin, S., Fréchette, L., & Sylvestre, J. (2021). Two-Phase Closed-Loop Thermosyphon Filled with a Dielectric Liquid for Electronics Cooling Applications. *2021 20th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (iTherm)*, 7480. https://doi.org/10.1109/ITherm51669.2021.9503149

Hamza, M. H., Bioud, Y. A., Boucherif, A., Arès, R., & Hatem, T. M. (2021). Effect of voided germanium thin-films grown onto silicon substrate on dislocations evolution. *2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 06020604. https://doi.org/10.1109/PVSC43889.2021.9518635

Kempf, E., Labeye, P., Grosse, P., Boeuf, F., Monfray, S., Charette, P. G., & Orobtchouk, R. (2021). Design and Fabrication of a Ring-Coupled Mach-Zehnder Interferometer Gyroscope. *ESSCIRC 2021 - IEEE 47th European Solid State Circuits Conference (ESSCIRC)*, 179182. https://doi.org/10.1109/ESSCIRC53450.2021.9567877

Mbeunmi, A. B. P., Turala, A., Arvinte, R., Validiva, C. E., Hinzer, K., Aimez, V., Arès, R., Boucherif, A., & Fafard, S. (2021). Development of dual junction GaInP/GaAs solar cells for high-performance concentrator photovoltaic quad-junction III-V/IV. *Physics, Simulation, and Photonic Engineering of Photovoltaic Devices X*, *11681*, 2834. https://doi.org/10.1117/12.2578808

Sayed, C. A., Ghaffari, O., Larimi, Y. N., Grenier, F., Jasmin, S., Fréchette, L., & Sylvestre, J. (2021). Two-Phase Immersion Cooling of Microprocessors with Electroplated Porous Heat Spreaders : Thermal Performance and Reliability. *2021 20th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (iTherm)*, 410416. https://doi.org/10.1109/ITherm51669.2021.9503279

## CHAPITRES DE LIVRE


Amirsoleimani, A., Liu, T., Alibart, F., Ecoffey, S., Chang, Y.-F., Drouin, D., & Genov, R. (2021). Mitigating State-Drift in Memristor Crossbar Arrays for Vector Matrix Multiplication. Dans *Memristor : An Emerging Device for Post-Moore's Computing and Applications*. BoD – Books on Demand.

Dion, G., Oudrhiri, A. I.-E., Barazani, B., Tessier-Poirier, A., & Sylvestre, J. (2021). Reservoir Computing in MEMS. Dans K. Nakajima & I. Fischer (Éds.), *Reservoir Computing : Theory, Physical Implementations, and Applications* (p. 191217). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1687-6_9


## PRÉSENTATIONS DE CONFÉRENCE


Aghdaei, A., Pandiyan, R., Ilahi, B., Chicoine, M., El Gowini, M., Schiettekatte, F., Frechette, L. G., & Morris, D. (2021). Evidence of new point defects optical features in Zr-implanted polycrystalline AlN films. *APS March Meeting*, *2021*, S53.004.

Albert, P., Deshayes, Y., Hamon*, G., JAOUAD, A., VOLATIER, M., Aimez, V., Bechou, L., & Darnon, M. (2021, avril). InGaP/InGaAs/Ge microcells robustness assessment. *17th Conference on Concentrated Photovoltaics Systems (CPV17)*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03349727

Allaglo, N., Gingras, O., & Tremblay, A.-M. (2021). Influence of uniaxial pressure and spin-orbit coupling on spin fluctuations in superconducting strontium ruthenate. *APS March Meeting*, *2021*, C48.014.

Andersen, C. K., Remm, A., Lazar, S., Krinner, S., Lacroix, N., Hellings, C., di Paolo, A., Swiadek, F., Norris, G., Hermann, J., Gabureac, M., Blais, A., Eichler, C., & Wallraff, A. (2021). A Device for Realizing Error Correction with a Distance-3 Surface Code using Superconducting Circuits. *APS March Meeting*, *2021*, C34.001.

Badaroudine, A., Lachance-Quirion, D., Chakravarty, A., Njejimana, L., Roux, M.-A., Messaoudi, N., Crocker, C., Dubé, H., Halde, V., Bernard, O., Roy-Guay, D., Tétrault, M.-A., & Pioro-Ladriere, M. (2021). A portable diamond-based quantum demonstrator based on a quantum control and readout platform. *APS March Meeting*, *2021*, A32.005.

Boulanger, M.-E., Grissonnanche, G., Badoux, S., Lefrancois, E., Legros, A., Gourgout, A., Dion, M., Wang, C., Chen, X., Liang, R., Hardy, W., Bonn, D., & Taillefer, L. (2021). Thermal Hall Conductivity in Cuprates. *APS March Meeting*, *2021*, S48.001.

Bourgeois-Hope, P., Laliberté, F., Lefrançois, E., Grissonnanche, G., de Cotret, S. R., Gordon, R., Kitou, S., Sawa, H., Cui, H., Kato, R., Taillefer, L., & Doiron-Leyraud, N. (2019). Thermal Conductivity of the Quantum Spin Liquid Candidate EtMe3Sb [Pd (dmit )2]2 : No Evidence of Mobile Gapless Excitations. *Physical Review X*, *9*, 041051. https://doi.org/10.1103/PhysRevX.9.041051

CHANCEREL, F., Regreny, P., Leclercq, J.-L., Volatier, M., Jaouad, A., Darnon, M., Fafard, S., gendry, michel, & Aimez, V. (2021). Comparison of Various InGaAs-based Solar Cells for Concentrated Photovoltaics Applications. *17th Conference on Concentrated PhotoVoltaïcs System*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03407479

Cohen, J., di Paolo, A., Chen, L., Chistolini, T., Kreikebaum, J. M., Nguyen, L., Naik, R., Santiago, D., Siddiqi, I., & Blais, A. (2021). Novel two-qubit gates for the light fluxonium qubit. *APS March Meeting*, *2021*, L28.009.

Darnon, M., LAFONTAINE, M. D., Albert, P., Hamon, G., VOLATIER, M., Aimez, V., Jaouad, E. P., & A. (2021, janvier). Plasma Etching : An Enabler to Better Concentrated Photovoltaics Systems. *Joint International Conference on the 8th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP) & 9th International Symposium n Functional Materials (ISFM)*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03349738

Dash, S., & Senechal, D. (2021a). Charge and pair density waves in the one band Hubbard model with cluster dynamical mean-field theory. *APS March Meeting*, *2021*, A47.002.

Dash, S., & Senechal, D. (2021b). Optimizing superconductivity in the three-band Hubbard model. *APS March Meeting*, *2021*, M47.002.

Dawant, R., Ecoffey, S., Seils, R., Schmid, R., & Drouin, D. (2021, juin). Comparison of alignment markers and method for electron-beam lithography on CMOS dies. *The 64th International Conference on Electron, Ion and Photon Beam Technology and Nanofabrication - EIPBN*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03364705

de Lafontaine, M., Ayari, F., Pargon, E., Gay, G., PETIT-ETIENNE, C., Turala, A., Jaouad, A., Volatier, M., Fafard, S., Aimez, V., & Darnon, M. (2021). Multijunction Solar Cell Mesa Isolation : A Comparative Study. *17th Conference on Concentrated PhotoVoltaïcs System*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03407487

di Paolo, A., Andersen, C. K., Remm, A., Lazar, S., Krinner, S., Lacroix, N., Hellings, C., Swiadek, F., Norris, G., Hermann, J., Gabureac, M., Eichler, C., Wallraff, A., & Blais, A. (2021). Realistic numerical simulation of a distance-3 surface code implemented on a superconducting chip. *APS March Meeting*, *2021*, C34.014.

Downey, P.-O., Kowalski, N., Sordi, G., Gingras, O., Hebert, C.-D., Charlebois, M., & Tremblay, A.-M. (2021). Pseudogap universality in the doping-driven metal to Mott-insulator transition. *APS March Meeting*, *2021*, P44.004.

Gauvin-Ndiaye, C., Setrakian, M., & Tremblay, A.-M. (2021). Antiferromagnetic fluctuations and gradual breakdown of the Fermi liquid. *APS March Meeting*, *2021*, R43.008.

Genois, E., di Paolo, A., Stevenson, N., Koolstra, G., Hashim, A., Siddiqi, I., Blais, A., & Gross, J. (2021). Quantum-tailored machine-learning characterization of quantum processors. *APS March Meeting*, *2021*, M33.007.

Gingras, O., Cote, M., & Tremblay, A.-M. (2021). Multi-Orbital B1g Superconducting Order Parameter with Complex Components Induced by Spin-Orbit Coupling in Strontium Ruthenate. *APS March Meeting*, *2021*, C48.002.

Gourgout, A., Grissonnanche, G., Collignon, C., Badoux, S., Ataei, A., Laliberte, F., Verret, S., Zhou, J., Doiron-Leyraud, N., & Taillefer, L. (2021). Fermi surface transformation across the pseudogap critical point in the cuprate Nd-LSCO from thermoelectric measurements. *APS March Meeting*, *2021*, R43.011.

Gyenis, A., Mundada, P., di Paolo, A., Hazard, T., You, X., Schuster, D., Koch, J., Blais, A., & Houck, A. (2021). Experimental realization of the soft 0-ϖ qubit. *APS March Meeting*, *2021*, F09.002.

Kowalski, N., Tremblay, A.-M., & Sémon, P. (2021). Superconductivity and doping on oxygen in the three band model. *APS March Meeting*, *2021*, M47.001.

Lafontaine, M. D., Pargon, E., Gay, G., Petit-Etienne, C., Barnes, J., Rochat, N., Volatier, M., Jaouad, A., Fafard, S., Aimez, V., & Darnon, M. (2021, octobre 25). *III-V/Ge Heterostructure Plasma Etching and Passivation With a Single Plasma Process for Low-Damage Multijunction Solar Cell Fabrication,*. AVS 67 Virtual Symposium. https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-03448973

Le Calonnec, C., Petrescu, A., di Paolo, A., Leroux, C., Mundada, P., Vrajitoarea, A., Place, A., Houck, A., & Blais, A. (2021). Floquet theory for effective gate Hamiltonian and crosstalk in a tunable coupling superconducting circuit. *APS March Meeting*, *2021*, X30.003.

Lefrancois, E., Grissonnanche, G., Gourgout, A., Kelley, P., Yan, J., Balz, C., Mandrus, D., Nagler, S., Doiron-Leyraud, N., & Taillefer, L. (2021). Thermal Hall conductivity in the Kitaev spin liquid candidate δRuCl3. *APS March Meeting*, *2021*, J46.009.

Leroux, C., di Paolo, A., & Blais, A. (2021). Superconducting-qubit coupler design with exponentially large on-off ratio. *APS March Meeting*, *2021*, S30.013.

Lu, M., Ville, J.-L., Cohen, J., Petrescu, A., Schreppler, S., Marchenkov, A., Livingston, W., Banerjee, A., Kreikebaum, J. M., Blais, A., Santiago, D., & Siddiqi, I. (2021). Demonstration of Entangling Gate for All-to-All Connected Superconducting Qubits. *APS March Meeting*, *2021*, S30.009.

Manchon, B., Segantini, G., Rojo Romeo, P., BABOUX, N., Barhoumi, R., Ingrid C., I., Alibart, F., Vilquin, B., Drouin, D., & Deleruyelle, D. (2021, septembre). Electrical Characterisation of HfZrO2 Ferroelectric Tunnel Junctions for Neuromorphic Application. *EMRS 2021 Fall Meeting*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03354311

Mundada, P., Vrajitoarea, A., Place, A., di Paolo, A., Le Calonnec, C., Petrescu, A., Leroux, C., Blais, A., & Houck, A. (2021). Fast crosstalk-free perfect entangler in a tunable coupling superconducting circuit. *APS March Meeting*, *2021*, X30.013.

Norman, R., Leveille, E., Caillou, N., Blais, J., Rosa, S., Aimez, V., & Frechette, L. G. (2021, avril). Molding Arrays of Tertiary Optical Elements for Microcell Receivers. *17th Conference on Concentrated PhotoVoltaïcs Systems (CPV17)*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03366480

Petrescu, A., Royer, B., & Blais, A. (2021). Accurate theory for drive-activated nonlinear processes in the SNAIL parametric amplifier. *APS March Meeting*, *2021*, Y32.013.

Premkumar, A., Gyenis, A., Croot, X., Mundada, P., di Paolo, A., Koch, J., Blais, A., & Houck, A. (2021). Towards High-Fidelity Gates in the Soft Zero-Pi Qubit. *APS March Meeting*, *2021*, X31.001.

Reiher, V., & Bérubé-Lauzière, Y. (2021). Optimal control of the operating point of a single electron DQD coupled to a superconducting resonator. *APS March Meeting*, *2021*, P29.002.

Remm, A., Andersen, C. K., Lazar, S., Krinner, S., Lacroix, N., Hellings, C., di Paolo, A., Swiadek, F., Norris, G., Hermann, J., Gabureac, M., Blais, A., Eichler, C., & Wallraff, A. (2021). Quantum Error Correction Using a Distance Three Surface Code with Superconducting Qubits. *APS March Meeting*, *2021*, C34.002.

Ritou, A., Pierre, P. S., Provost, P. O., Forcade, G., Dubuc, C., Dellea, O., Hamon, G., VOLATIER, M., JAOUAD, A., Valdivia, C. E., Hinzer, K., Aimez, V., & Darnon, M. (2021, avril). CPV Module to Rate Antireflective and Encapsulant Coating in Outdoor Conditions. *17th Conference on Concentrated PhotoVoltaïcs Systems (CPV17)*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03349748

Rivard, J., Godfrin, C., Orlov, A., & Dupont-Ferrier, E. (2021). Low Temperature Radiofrequency Reflectometry setup for Charge sensing in CMOS devices. *APS March Meeting*, *2021*, B29.008.

Roux, M.-A., Njejimana, L., Lachance-Quirion, D., Genest, M.-A., Moras, M., Messaoudi, N., Crocker, C., Tétrault, M.-A., & Pioro-Ladriere, M. (2021). Fast and modular measurement platform for quantum dots tuning into the spin qubit regime. *APS March Meeting*, *2021*, S29.007.

Schaefer, T., Wentzell, N., Simkovic, F., He, Y.-Y., Hille, C., Klett, M., Eckhardt, C., Arzhang, B., Harkov, V., Le Régent, F.-M., Wang, Y., Kim, A., Kozik, E., Stepanov, E., Kauch, A., Andergassen, S., Hansmann, P., Rohe, D., Vilk, Y., … Georges, A. (2021). Tracking the Footprints of Spin Fluctuations : A Multi-Method, Multi-Messenger Approach to the Weak-coupling Regime of the Two-Dimensional Hubbard Model. *APS March Meeting*, *2021*, R21.003.

Shillito, R., Gross, J., di Paolo, A., Genois, E., & Blais, A. (2021). Semi-Analytic Method for Rapid Simulation and Optimization of Driven Quantum Systems. *APS March Meeting*, *2021*, S33.009.

Sordi, G., Walsh, C., Sémon, P., & Tremblay, A.-M. (2021). Critical opalescence across the doping-driven Mott transition in the two-dimensional fermionic Hubbard model. *APS March Meeting*, *2021*, B28.004.

Storz, S., Magnard, P., Schär, J., Kurpiers, P., Besse, J.-C., Reuer, K., Gabureac, M., Akin, A., Royer, B., Blais, A., & Wallraff, A. (2021). Quantum Communication Between Distant Superconducting Circuits Combined With Fast, High-Fidelity Readout. *APS March Meeting*, *2021*, Y31.004.

Tétrault, M.-A., Colas, L., Wong, C. H., Vermeulen, K., Bos, W., Kuitenbrouwer, D., Michael. Lacerte, M., & Pioro-Ladriere, M. (2021). Customized high channel density and IR-filtered cryogenic cable solution characterization for quantum test environments. *APS March Meeting*, *2021*, M30.003.

Thériault, S., Grissonnanche, G., Gourgout, A., Boulanger, M.-E., Lefrancois, E., Laliberte, F., Ataei, A., Dion, M., Pyon, S., Zhou, J., Takayama, T., Takagi, H., Doiron-Leyraud, N., & Taillefer, L. (2021). Chiral phonons in the pseudogap phase of cuprates. *APS March Meeting*, *2021*, S48.002.

Tremblay, M., & Kourtis, S. (2021). Quantum LDPC codes from SAT instances. *APS March Meeting*, *2021*, A31.003.

Verret, S., Nourafkan, R., Weyrich, Q., Desrosiers, S., & Tremblay, A.-M. (2021). Neural Networks for Analytic Continuation of Response Functions. *APS March Meeting*, *2021*, B21.002.

Winik, R., Leroux, C., di Paolo, A., Hazard, T., Shillito, R., Vepsalainen, A., Sung, Y., Ao, Z., Kjaergaard, M., Braumueller, J., Schwartz, M., Serniak, K., Kim, D., Yoder, J., Melville, A., Niedzielski, B., Blais, A., Gustavsson, S., & Oliver, W. (2021). Cancellation of unwanted ZZ interactions for cross-resonance gates by superconducting qubit engineering. *APS March Meeting*, *2021*, P28.013.

## PREPRINTS


Abdelnour, J., Rouat, J., & Salvi, G. (2022). *NAAQA : A Neural Architecture for Acoustic Question Answering* (arXiv:2106.06147). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.06147

Baker, T. E., Foley, A., & Sénéchal, D. (2021). *Direct solution of multiple excitations in a matrix product state with block Lanczos* (arXiv:2109.08181). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.08181

Bioud, Y. A., Rondeau, M., Boucherif, A., Patriarche, G., Drouin, D., & Arès, R. (2021). *Dynamic formation of spherical voids crossing linear defects* (arXiv:2101.12012). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.12012

Brousmiche, M., Rouat, J., & Dupont, S. (2021). *Multi-level Attention Fusion Network for Audio-visual Event Recognition* (arXiv:2106.06736). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.06736

Chen, D., He, B., Yao, M., Pan, Y., Lin, H., Schnelle, W., Sun, Y., Gooth, J., Taillefer, L., & Felser, C. (2021). *Anomalous thermoelectric effects and quantum oscillations in the kagome metal $CsV_3Sb_5$* (arXiv:2110.13085). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.13085

Chen, L., Boulanger, M.-E., Wang, Z.-C., Tafti, F., & Taillefer, L. (2021). *Large Phonon Thermal Hall Conductivity in a Simple Antiferromagnetic Insulator* (arXiv:2110.13277). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.13277

Côté, J., & Kourtis, S. (2021). *Entanglement phase transition with spin glass criticality* (arXiv:2112.06939). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.06939

Gandon, A., Calonnec, C. L., Shillito, R., Petrescu, A., & Blais, A. (2021). *Engineering, control and longitudinal readout of Floquet qubits* (arXiv:2108.11260). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.11260

Gourgout, A., Grissonnanche, G., Laliberté, F., Ataei, A., Chen, L., Verret, S., Zhou, J.-S., Mravlje, J., Georges, A., Doiron-Leyraud, N., & Taillefer, L. (2022). *Seebeck coefficient in a cuprate superconductor : Particle-hole asymmetry in the strange metal phase and Fermi surface transformation in the pseudogap phase* (p. 011037). http://arxiv.org/abs/2106.05959

Gross, J. A., Godfrin, C., Blais, A., & Dupont-Ferrier, E. (2021). *Hardware-efficient error-correcting codes for large nuclear spins* (arXiv:2103.08548). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.08548

Kaba, S.-O., Groleau-Paré, B., Gauthier, M.-A., Tremblay, A.-M., Verret, S., & Gauvin-Ndiaye, C. (2022). *Prediction of Large Magnetic Moment Materials With Graph Neural Networks and Random Forests* (arXiv:2111.14712). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.14712

Krinner, S., Lacroix, N., Remm, A., Di Paolo, A., Genois, E., Leroux, C., Hellings, C., Lazar, S., Swiadek, F., Herrmann, J., Norris, G. J., Andersen, C. K., Müller, M., Blais, A., Eichler, C., & Wallraff, A. (2021). *Realizing Repeated Quantum Error Correction in a Distance-Three Surface Code* (arXiv:2112.03708). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.03708

Lu, X., & Sénéchal, D. (2021). *Doping phase diagram of a Hubbard model for twisted bilayer cuprates* (arXiv:2112.00487). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.00487

Pahlevanzadeh, B., Sahebsara, P., & Sénéchal, D. (2021). *Charge order and antiferromagnetism in twisted bilayer graphene from the variational cluster approximation* (arXiv:2112.00181). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.00181

Petrescu, A., Calonnec, C. L., Leroux, C., Di Paolo, A., Mundada, P., Sussman, S., Vrajitoarea, A., Houck, A. A., & Blais, A. (2021). *Accurate methods for the analysis of strong-drive effects in parametric gates* (arXiv:2107.02343). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.02343

Reiher, V., & Bérubé-Lauzière, Y. (2021). *Optimal Control of the Operating Regime of a Single Electron Double Quantum Dot* (arXiv:2104.13571). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.13571

Verret, S., Foley, A., Sénéchal, D., Tremblay, A.-M. S., & Charlebois, M. (2022). *Fermi arcs vs hole pockets : Periodization of a cellular two-band model* (p. 035117). http://arxiv.org/abs/2107.01344


## DANS LES MÉDIAS


1,3 million pour les algorithmes quantiques. (2021, décembre 4). *La Presse*. https://www.lapresse.ca/affaires/tetes-d-affiche/2021-12-04/1-3-million-pour-les-algorithmes-quantiques.php

Beaumont, M. (Réalisateur). (2021, avril 12). Mérite Estrien : Michel Pioro-Ladrière, un leader en physique quantique. Dans *Vivement le retour*. https://ici.radio-canada.ca/ohdio/premiere/emissions/vivement-le-retour/episodes/525460/rattrapage-du-lundi-12-avril-2021/1

Bureau, S. (Réalisateur). (2021a, mai 26). Entrevue avec Louis Taillefer, professeur au département de physique de l'UdeS. Dans *Bien entendu*. https://ici.radio-canada.ca/ohdio/premiere/emissions/bien-entendu/episodes/535498/rattrapage-du-mercredi-26-mai-2021/7

Bureau, S. (Réalisateur). (2021b, août 4). Louis Taillefer : Le quantique. Dans *Bien entendu*. https://ici.radio-canada.ca/ohdio/premiere/emissions/bien-entendu/episodes/558119/rattrapage-du-mercredi-4-aout-2021/6

Cabinet du premier ministre du Québec. (2022). *Lancement des zones d'innovation—Des investissements de plus de 435 M$ pour le lancement de Sherbrooke quantique*. https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/lancement-des-zones-dinnovation-des-investissements-de-plus-de-435-m-pour-le-lancement-de-sherbrooke-quantique-37725

Caron, J. (Réalisateur). (2022, janvier 24). Université de Sherbrooke team makes Québec Science list of top 10 scientific discoveries of 2021 | Quebec AM with Julia Caron | Live Radio. Dans *CBC Listen*. https://www.cbc.ca/listen/live-radio/1-87-quebec-am/clip/15891002-universite-de-sherbrooke-team-makes-quebec-science-list

Côté, D. (2022, février 3). Plus de 690 M$ investis dans les zones d'innovation en Estrie. *Rouge FM*. https://www.iheartradio.ca/rouge-fm/rouge-fm-estrie/nouvelles/plus-de-690-m-investis-dans-les-zones-d-innovation-en-estrie-1.17083265

Custeau, J. (2022a, février 3). Sherbrooke et Bromont deviennent les premières zones d'innovation. *La Tribune*. https://www.lesoleil.com/2022/02/03/sherbrooke-et-bromont-deviennent-les-premieres-zones-dinnovation-77ec02556b2024e304a1587f2a01aad8

Custeau, J. (2022b, février 3). Sherbrooke et Bromont deviennent les premières zones d'innovation. *Le Nouvelliste*. https://www.lesoleil.com/2022/02/03/sherbrooke-et-bromont-deviennent-les-premieres-zones-dinnovation-77ec02556b2024e304a1587f2a01aad8

Delacour, E. (2021, octobre 6). L'informatique quantique : La prochaine manne techno au Québec ? *CScience IA*. https://www.cscience.ca/2021/10/06/linformatique-quantique-la-prochaine-manne-techno-au-quebec/

Delacour, E. (2022, mars 18). L'informatique quantique aura « des implications considérables » pour la cybersécurité. *CScience IA*. https://www.cscience.ca/2022/03/18/linformatique-quantique-aura-des-implications-considerables-pour-la-cybersecurite/

Fortier, M. (2022, mars 26). Changer le monde, qubit par qubit. *Le Devoir*. https://www.ledevoir.com/societe/science/691485/changer-le-monde-qubit-par-qubit

Genois Gagnon, J.-M. (2022, février 3). Deux premières zones d'innovation : Des investissements de 690 millions $. *Journal de Québec - TVA Nouvelles*. https://www.tvanouvelles.ca/2022/02/03/deux-premieres-zones-dinnovation-des-investissements-de-690-millions-1

Goupil, A. (2021, avril 11). La science, vecteur de changements. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2021/04/11/la-science-vecteur-de-changements-7d86289cb81a1ac3512b313507093780

Guay, C. (2021, avril 10). La décennie de la technologie quantique. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2021/04/10/la-decennie-de-la-technologie-quantique-8d18b4915a2d27aae3277ac840c13afd

Johnson, M. (2021, mai 3). L'informatique quantique, la prochaine fierté québécoise ? *L'actualité*. https://lactualite.com/techno/linformatique-quantique-la-prochaine-fierte-quebecoise/

Lamoureux, V. (2021a, juin 28). Alice au pays quantique : Protéger vos données avec des clés quantiques. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2021/06/28/alice-au-pays-quantique-proteger-vos-donnees-avec-des-cles-quantiques-d547df6cfe0f6d1f36b6fd257afa1faa

Lamoureux, V. (2021b, juillet 30). La technologie quantique pour combattre les changements climatiques. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2021/07/30/la-technologie-quantique-pour-combattre-les-changements-climatiques-165b0bd67a5dda3f67f991e4883441fb

Lavoie, S. (2021, mai 21). Susciter l'intérêt des jeunes pour la physique quantique. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2021/05/21/susciter-linteret-des-jeunes-pour-la-physique-quantique-333ae236613dc95b0b9be3db137a9c64

Lavoie, S. (2022, janvier 7). Deux découvertes de l'UdeS en lice au palmarès Québec Science [VIDÉO]. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2022/01/07/deux-decouvertes-de-ludes-en-lice-au-palmares-quebec-science-video-bfaefcccf8e9e06a4db3334c59ccd658

Leblanc, J. (2022, janvier 6). Une limite de vitesse au coeur de la matière—Québec Science. *Québec Science*. https://www.quebecscience.qc.ca/sciences/les-10-decouvertes-de-2021/vitesse-coeur-matiere/

Lemoine, D. (2022a, février 3). *Québec lance des zones de collaboration entre entreprises et chercheurs universitaires | Direction Informatique—Actualités*. Direction Informatique. https://www.directioninformatique.com/quebec-lance-des-zones-de-collaboration-entre-entreprises-et-chercheurs-universitaires/94011

Lemoine, D. (2022b, février 9). *Ordinateurs et processeurs quantiques supraconducteurs développés à Sherbrooke | Direction Informatique—Actualités*. Direction Informatique. https://www.directioninformatique.com/ordinateurs-et-processeurs-quantiques-supraconducteurs-developpes-a-sherbrooke/94237

Léonard, R. (2022, février 4). Le voile est enfin levé sur Sherbrooke quantique. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2022/02/04/le-voile-est-enfin-leve-sur-sherbrooke-quantique-d4123455cf6ff5075aef09fe434723cf

Letarte, M. (2021, octobre 30). Universités : Baccalauréat en sciences quantiques : comment crée-t-on un programme ? *La Presse*. https://www.lapresse.ca/affaires/portfolio/2021-10-30/universites/baccalaureat-en-sciences-quantiques-comment-cree-t-on-un-programme.php

Li, T. (2022, février 4). *IBM apporte au Québec le premier ordinateur quantique universel du Canada | Direction Informatique—Actualités*. Direction Informatique. https://www.directioninformatique.com/ibm-apporte-au-quebec-le-premier-ordinateur-quantique-universel-du-canada/94058

Martinez, E. (2022, février 3). Gros coup de pouce pour le quantique au Québec avec IBM. *Les affaires*. https://www.lesaffaires.com/dossier/special-innovation-et-collaboration/gros-coup-de-pouce-pour-le-quantique-au-quebec-avec-ibm/630647

Ouellet, A. (2021, octobre 13). Le ministre François-Philippe Champagne de passage à l'Institut quantique. *La Tribune*. https://www.lenouvelliste.ca/2021/10/13/le-ministre-francois-philippe-champagne-de-passage-a-linstitut-quantique-46c486832dc4dded97d71a32f01d2764

Ouellet, A. (2022, février 6). Quantique et zone d'innovation : Comprendre les bases avec Alexandre Blais. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2022/02/06/quantique-et-zone-dinnovation--comprendre-les-bases-avec-alexandre-blais-a69079cb969b33638a6538221fef9dc8

Ouellet, A., & Léonard, R. (2022, février 3). Sherbrooke a officiellement sa zone d'innovation. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2022/02/03/sherbrooke-a-officiellement-sa-zone-dinnovation-1c4182d1f6916949fa89f7475e46bd68

Roberge, S. (2021a, octobre 14). Les grands défis de la révolution quantique québécoise. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2021/10/14/les-grands-defis-de-la-revolution-quantique-quebecoise-97f9fc97727a480327f1695e5c21edf9

Roberge, S. (2021b, décembre 6). Un nouveau partenaire majeur pour l'Institut quantique. *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2021/12/06/un-nouveau-partenaire-majeur-pour-linstitut-quantique-3ada7e1995e62619206a8204c8a2a25a

Sherbrooke est quantique. (2021, mai 9). *La Tribune*. https://www.latribune.ca/2021/05/09/sherbrooke-est-quantique-adfd84920399568b991a3b3052b8ec66

Tison, M. (2021, décembre 6). Quand l'Institut quantique atteint une masse critique. *La Presse+*. https://plus.lapresse.ca/screens/ca649b90-8ef3-45e7-b24a-7b145b341830l_0.html

## THÈSES ET MÉMOIRES


Abdelnour, J. (2021). *Système neuronal pour réponses à des questions de compréhension de scène auditives*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18704

Baspin, N. (2021). *Limitations imposées par la géométrie sur les codes quantiques*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18712

Beaulieu, C. (2021). *Les perceptions de jeunes qui ne se sentent pas concernés par la politique sur les acteurs politiques, les institutions politiques et la démocratie*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18628

Bernard, O. (2021). *Développement d'une nouvelle méthode expérimentale permettant la mesure directe de l'effet magnétocalorique rotatif (EMCR)*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18878

Bourgeois-Hope, P. (2021). *La conductivité thermique comme sonde pour les états exotiques des matériaux quantiques*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18351

Brousmiche, M. (2021). *Cross-modal interaction in deep neural networks for audio-visual event classification and localization*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18297

Bureau-Oxton, C. (2021). *Contrôle et caractérisation d'un qubit singulet-triplet entraîné par l'interaction spin-orbite dans le silicium*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18614

Dash, S. S. (2021). *Dynamical mean field theory of superconductivity, pseudogap and charge-order in cuprates*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18994

De Lafontaine, M. (2021). *Conception, fabrication et caractérisation de cellules photovoltaïques multijonctions à contacts en vias traversants*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18547

Devulder, J. (2021). *Caractérisation cryogénique de structures industrielles FD-SOI CMOS pour l'information quantique*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18684

Gauthier, V. (2021). *Système de caractérisation automatique de photodiodes à avalanche monophotoniques sur gaufre de silicium*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18691

Genois, É. (2021). *Caractériser un qubit à l'aide d'apprentissage automatique inspiré par la mécanique quantique*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18713

Ghaffari, F. (2021). *Developing a fabrication process for gallium MEMS*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18652

Girard, P. (2021). *Automatisation d'un équipement expérimental d'analyses métallographiques 3D de C4 sans-plomb*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18333

Guilbault, A. (2022). *Conception et fabrication de dispositifs photoniques à base de nitrure d'aluminium*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18984

Jellite, M. (2021). *Préparation d'un tampon poreux pour accommoder les contraintes mécaniques dans une hétérostructure épitaxiale de Ge/Si*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18627

Jubgang Fandio, D. J. (2021). *Étude des propriétés électroniques et de la dynamique des charges dans diverses nanostructures semi-conductrices par la spectroscopie térahertz*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18621

Kowalski, N. (2021). *Dopage, température critique et étude du modèle de Hubbard à trois bandes*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18438

Pahlevanzadeh Garjani, B. (2022). *Superconductivity and charge order in twisted bilayer graphene*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/19064

Paradis, C. (2021). *Compression d'états dans le bruit de grenaille d'une jonction tunnel photoexcité à deux fréquences*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18589

Reiher, V. (2021). *Contrôle optimal du régime d'opération d'une double boîte quantique à électron unique*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18661

Richan, E. (2021). *Visualisation de représentations perceptuelles du timbre musical avec réseaux de neurones profonds*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18379

Rivard, J. (2021). *Détection de charge par réflectométrie radio fréquence dans un transistor CMOS*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18391

Sauze, S. (2021). *Synthèse et caractérisation de nanocomposites à base de silicium ou de germanium mésoporeux carbonisés pour des applications thermoélectriques*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/19020

Simoneau, J. O. (2021). *Mesures temporelles large bande résolues en phase du bruit de grenaille photoexcité et statistique de photons d'un amplificateur paramétrique Josephson*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/17925

St-Hilaire, G. (2021). *Conception d'un circuit d'étouffement de SPAD faible puissance dédié aux expériences à gaz nobles liquéfiés cryogéniques pour la physique des particules*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18845

Vachon, F. (2021). *Conception de photodiodes à avalanche monophotonique sensibles aux photons ultraviolets pour les détecteurs de la physique des particules dans les gaz nobles liquéfiés*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18350

Vandier, Q. (2021). *Conception d'un circuit pour la lecture de capteurs de température et d'humidité à base de nanotube de carbone intégré au sein d'assemblages microélectroniques*. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/18540

## PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

Fontaine, R., ROSSIGNOL, J., & Bérubé-Lauzière, Y. (2021). *Pulsed x-ray imaging* (United States Patent Nº US20210369222A1). https://patents.google.com/patent/US20210369222A1/en

Lachance-Quirion, D., ROY-GUAY, D., Pioro-Ladrière, M., Brookes, G., & Bourassa, J. (2021). *System and method for sensing spin* (United States Patent Nº US20210208231A1). https://patents.google.com/patent/US20210208231A1/en

Oliver, W. D., Gustavsson, S., WINIK, R., LEROUX, C., PAOLO, A. D., & Blais, A. (2021). *Cancellation of unwanted interactions in a superconducting quantum architecture* (United States Patent Nº US20210272008A1). https://patents.google.com/patent/US20210272008A1/en

Pioro-Ladriere, M., ROCHETTE, S., GAMBLE, J. K., EYCK, G. A. T., Rudolph, M., & Carroll, M. (2021). *Electronic circuit for control or coupling of single charges or spins and methods therefor* (United States Patent Nº US10929769B2). https://patents.google.com/patent/US10929769B2/en